



<http://opn.to/a/lbroW>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Irrigation water productivity in selected crops from central region of Cuba

Productividad del agua de riego en cultivos seleccionados de la región central de Cuba

Dr. Omar González-Cueto^I, Ing. Abel Montaña-Valladares^I, Dr. Elvis López-Bravo^I, MSc. Sandra Sánchez-Valle^I, MSc. Diana Estefanía Zambrano-Casanova^{II}, MSc. Luisa María Macias-Martínez^{II}, Dr. Miguel Herrera-Suárez^{III}

^I Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{II} Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Departamento de Gestión Medioambiental, Manta, Ecuador.

^{III} Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Portoviejo, Ecuador.

ABSTRACT. The work was carried out in the Valle del Yabú Agricultural Company located in the municipality of Santa Clara, Villa Clara province with the objective of determining the efficiency in the use of irrigation water, in the aforementioned company, through the calculation of the productivity of the water applied to some crops of economic importance. The productivity of the water applied by irrigation, the productivity of the total water, and the total water applied (T), in the corn, potato, dasheen, beans and sweet potato crops were calculated. In the sweet potato the productivity of water applied by irrigation, 20 kg / m³, was higher than that of the rest of the crops. In the potato the average was 7.74 kg / m³, in the bean it reached values of 4.74 kg / m³, in the case of the dasheen it was 3.92 kg / m³ and the corn was 10.66 kg / m³. The results showed a low productivity and inefficiency in the use of water for potato, bean and corn crops, not the case of dasheen and sweet potato where water productivity values were obtained that show an efficient use of water in these crops.

Keywords: Water use Efficiency; Total Irrigation; Effective Rainfall.

RESUMEN. El trabajo se realizó en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú ubicada en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara con el objetivo de determinar la eficiencia en el uso del agua de riego, en la referida empresa, a través del cálculo de la productividad del agua aplicada a algunos cultivos de importancia económica. Se calculó la productividad del agua aplicada por riego, la productividad del agua total, y el agua total aplicada (T), en los cultivos maíz, papa, malanga, frijol y boniato. En el boniato la productividad del agua aplicada por riego, 20 kg/m³, fue superior a la del resto de los cultivos. En la papa el promedio fue de 7,74 kg/m³, en el frijol alcanzó valores de 4,74 kg/m³, en el caso de la malanga fue de 3,92 kg/m³ y el maíz fue de 10,66 kg/m³. Los resultados mostraron una baja productividad e ineficiencia en el uso del agua para los cultivos de papa, frijol y maíz, no el caso de la malanga y el boniato donde se obtuvieron valores de productividad del agua que muestran un uso eficiente del agua en estos cultivos.

Palabras clave: eficiencia en el uso del agua; norma total de riego; precipitaciones efectivas.

INTRODUCTION

Agriculture consumes 70% of fresh water withdrawals from rivers, lakes and aquifers; reaching up to 90% in some developing countries. The growing demand for food to meet the needs of the world's growing population is the main factor for increasing the consumption of water resources (UNESCO, 2009). In 2002, approximately 3 600 km³ of fresh

INTRODUCCIÓN

La agricultura consume un 70% de las extracciones de agua dulce que se realizan de los ríos, lagos y acuíferos; llegando a alcanzar hasta un 90% en algunos países en desarrollo. La creciente demanda de alimentos para satisfacer las necesidades de la población mundial, cada vez mayor es el principal factor que provoca el incremento en el consumo de recursos hídricos

water were used for human consumption, in all regions, with the exception of Europe and North America. Agriculture was the sector that consumed the most water, reaching 69% of all extraction (FAO, 2002).

In Cuba, agriculture is also the main consumer of available fresh water. The Statistical Yearbook of Cuba 2017 informs that, in this year, 6 661 million of m³ of fresh water were extracted and 3 420 million were consumed in agriculture, representing 51.3% of the total. From the 3 877 million m³ of the surface fresh water, 2 031 million m³ were used in agriculture, which represents 52.4%, a similar value to the consumption of groundwater that reached almost 50% of the total fresh water (ONEI, 2018a). Agriculture, as the main consumer of fresh water, works in reducing water consumption and one of the fundamental ways to achieve this propose is to increase the efficiency in the use of irrigation water to increasing water productivity.

The water volume demanded per ton of agricultural product, as well as the efficiency in its use during irrigation, are the main factors that condition the water consumption. Irrigation management determines when and how much to irrigate, based on crop water needs, soil characteristics and climatic conditions (Vázquez *et al.*, 2017). However, do not use an irrigation schedule adjusted to the climate, the soil and the characteristics of the crop are one of the main causes of excessive use of irrigation water. In addition, the production units face the decrease in the volumes of water available due to climate change and the increase in areas under irrigation and therefore, the augment in the demand for water from existing reservoirs. The dams for irrigation use should contain less water in the future, due to decrease in rainfall and increase in temperature, resulting in less water available for plant growth.

Cuban state has invested substantial financial resources in expanding the areas under irrigation. This increase in the water demand can be solved by increasing the productivity of the irrigation water used. The agronomic productivity of water is defined as the ratio between the mass of the product harvested and the volume of water provided by the irrigation to obtain the product. Its calculation can be obtained from the crop agricultural yield and the water applied by irrigation, the total water applied (irrigation + effective rainfall) or the crop evapotranspiration. (González *et al.*, 2015b).

Several authors have pointed out the importance that knowledge of water yield functions acquires in irrigation planning and operation (González *et al.*, 2010; González *et al.*, 2013, 2014; Duarte *et al.*, 2015; Herrera y González, 2015). According to these authors, from water yield functions, rules can be developed, with economic technical criteria for the distribution of available water among crops, in order to maximize production or economic gain in conditions of water deficit. This research was carried out with the objective of determining the efficiency in the use of irrigation water, based on the calculation of the agronomic water productivity of some selected crops in the central region of Cuba.

(UNESCO, 2009). Ya en el 2002, se consumían aproximadamente 3 600 km³ de agua dulce para consumo humano, en todas las regiones, con excepción de Europa y América del Norte, la agricultura fue el sector que más agua consumió, alcanzando el 69 por ciento de toda la extracción (FAO, 2002).

En Cuba, la agricultura es también el principal consumidor de agua dulce disponible. El Anuario Estadístico de Cuba 2017 refiere que en ese año se extrajo un volumen total de agua dulce de 6 661 millones de metros cúbicos y que de estos se consumieron en la agricultura 3 420 millones, lo que representa el 51,3% del total. En cuanto al agua dulce superficial de un total de 3 877 millones de metros cúbicos, se emplearon en la agricultura 2 031 millones, lo cual representa un 52,4%, valor similar al consumo de agua dulce subterránea que alcanzó casi el 50% del agua dulce total (ONEI, 2018a). La agricultura como principal consumidor de agua dulce trabaja en la disminución el consumo de agua y una de las vías fundamentales para lograrlo es el aumento de la eficiencia en el uso del agua de riego y en el incremento de la productividad del agua.

El volumen de agua demandado por tonelada de producto agrícola, así como la eficiencia en el uso de esta durante el riego, son los principales factores que condicionan su consumo. La gestión del riego determina cuándo y cuánto regar, sobre la base de las necesidades de agua de los cultivos, las características del suelo y las condiciones climáticas (Vázquez *et al.*, 2017). Sin embargo, la no utilización de una programación del riego ajustada al clima, el suelo y las características del cultivo son una de las principales causas de uso excesivo del agua de riego. Además, las unidades de producción se enfrentan a la disminución de los volúmenes de agua disponibles debido al cambio climático y al aumento de las áreas bajo riego y por lo tanto al incremento de la demanda de agua a los reservorios existentes. Las presas de las cuales se sirven deberán contener menos agua en el futuro, debido a la disminución de las precipitaciones y al incremento de la temperatura ambiente, por lo tanto, habrá menos agua disponible para el crecimiento de las plantas.

El estado cubano ha invertido cuantiosos recursos financieros en la ampliación de las áreas bajo riego, este incremento en la demanda de agua puede atenderse aumentando la productividad del agua de riego empleada. La productividad agronómica del agua se define como la razón entre la masa del producto cosechado y el volumen de agua aportada por el riego para la obtención del producto. Su cálculo se puede obtener a partir del rendimiento agrícola del cultivo y el agua aplicada por riego, el agua total aplicada (riego + precipitaciones efectivas) o la evapotranspiración del cultivo (González *et al.*, 2015b).

Diversos autores han señalado la importancia que adquiere en la planificación y operación del riego el conocimiento de las funciones agua rendimiento (González *et al.*, 2010; González *et al.*, 2013, 2014; Duarte *et al.*, 2015; Herrera y González, 2015). Según estos a partir de estas funciones pueden elaborarse reglas, con criterios técnicos económicos, para la distribución del agua disponible entre un grupo de cultivos a fin de maximizar la producción o la ganancia económica en condiciones de déficit hídrico. Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar la eficiencia en el uso del agua de riego, a partir del cálculo de la productividad agronómica del agua de algunos cultivos seleccionados en la región central de Cuba.

METHODS

The investigation was carried out in the months of January and March 2018, processing the information of different varieties of potato (*Solanum tuberosum*), bean (*Phaseolus vulgaris*) and dasheen (*Colocasia esculenta*), grown in brown soils with carbonates and brown soils without carbonates. The climatic variables such as minimum, average and maximum temperature, as well as the reference evapotranspiration and rainfall were obtained from the Agrometeorological Station “Valle del Yabú”, located at 22° 27’ 54” north latitude and 79° 59’ 51” west longitude.

The irrigation technologies evaluated were spraying, with central pivot machines. Information from the production units was used for water consumption; water applied by irrigation, rainfall water and crop yields obtained during the period. The efficiency in the water use was determined from the calculation of water productivity. This was determined for water applied by irrigation and for total water applied, meaning the irrigation water plus the effective precipitations in the period (González et al., 2010).

The irrigation water productivity was determined by the following equation:

$$WP_I (kg / m^3) = \frac{R(kg / ha)}{I(m^3 / ha)}$$

Where:

WP_I – irrigation water productivity (kg/m³);

R – crop yield (kg/ha);

I – gross irrigation water applied m³/ha

$$WP_T (kg / m^3) = \frac{R(kg / ha)}{T(m^3 / ha)}$$

Where:

WP_T – productivity of total water (total irrigation plus rainfall, kg/m³);

T - Total irrigation water applied (irrigation water applied plus effective rainfall) m³/ha.

Rainfall during the periods studied were converted to effective rainfall, using the Savo method, according Pacheco & Pérez (2010)..

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the crops analyzed, the total area planted, the agricultural yield (R), the irrigation water applied (I), the sowing and harvest dates.

MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en los meses de enero a marzo de 2018, procesando información a diferentes variedades de los cultivos papa (*Solanum tuberosum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y malanga (*Colocasia esculenta*), cultivados en suelos pardos con carbonatos y pardos sin carbonatos. Las variables climáticas como la temperatura mínima, media y máxima, así como la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones fueron obtenidas de la Estación Agrometeorológica “Valle del Yabú”, situada en los 22° 27’ 54” de latitud norte y 79° 59’ 51” de longitud oeste.

Las tecnologías de riego evaluadas fueron por aspersión, con el empleo de máquinas de pivote central eléctrico. Se utilizó información de las unidades de producción sobre los consumos de agua, agua aplicada por riego, precipitaciones y los rendimientos de los cultivos obtenidos durante el período analizado.

La eficiencia en el uso del agua se determinó a partir del cálculo de la productividad del agua. Esta se determinó para el agua aplicada por riego y para el agua aplicada total, es decir el agua de riego más las precipitaciones efectivas en el período, mediante las ecuaciones tomadas de (González et al., 2010).

Productividad del agua de riego aplicada

Se determinó mediante la siguiente ecuación

$$WP_I (kg / m^3) = \frac{R(kg / ha)}{I(m^3 / ha)}$$

donde:

WP_I - la productividad del agua de riego aplicada (kg/m³);

R - rendimiento agrícola de los cultivos (kg/ha);

I - norma total bruta de agua de riego aplicada m³/ha

$$WP_T (kg / m^3) = \frac{R(kg / ha)}{T(m^3 / ha)}$$

donde:

WP_T - es la productividad del agua total (norma total de riego más precipitaciones) (kg/m³);

T - Total de agua aplicada al cultivo m³/ha.

Las precipitaciones durante los períodos estudiados fueron convertidas a precipitaciones efectivas, mediante el método de Savo, según Pacheco y Pérez (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los cultivos analizados, el área total sembrada, el rendimiento agrícola (R), el agua de riego aplicada (I), las fechas de siembra y cosecha.

TABLE 1. Base data of each crop
TABLA 1. Datos base de cada uno de los cultivos

Crop	Irrigation water applied m ³ /ha	Sown area ha	Yield kg/ha	Date of sown	Date of harvest
Potato	4500	8	25 000	5/1/2018	9/4/2018
Bean	1363	6	1 700	15/1/2018	15/4/2018

Crop	Irrigation water applied m ³ /ha	Sown area ha	Yield kg/ha	Date of sown	Date of harvest
Potato	4800	8	29 900	28/12/2016	5/4/2017
Bean	3920	6	1 580	12/1/2017	12/4/2017
Potato	4800	14	27 600	26/12/2016	7/4/2017
Potato	4707.6	14	30 560	22/12/2016	20/3/2017
Potato	1126.7	11	17 880	8/1/2018	30/3/2018
Potato	3300	10	22 500	29/12/2015	20/3/2016
Dasheen	5100	10	20 000	20/3/2016	20/4/2017
Potato	3600	15	27 000	8/1/2014	10/4/2014
Bean	3600	12	1 210	11/2/2016	8/4/2016
Potato	3000	15	23 300	5/1/2018	31/3/2018

The relationship between yield and water applied by irrigation for the potato crop is shown in Figure 1, showing the tendency to increase yield with an increase in applied water. The determination coefficient $R^2 = 0.82$ of linear equation make suitable for predictions. González et al. (2010), found magnitudes of the determination coefficient from 0.45 to 0.72. These results coincide with similar values and trends in the papers of González et al. (2010); González et al. (2011b) y Herrera et al. (2011).

La relación entre el rendimiento agrícola y el agua aplicada por riego, para el cultivo de la papa, se muestra en la Figura 1. Aquí se aprecia una tendencia al incremento del rendimiento con un aumento del agua aplicada. El ajuste de la curva a una ecuación lineal con un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0,82 es adecuado para la realización de predicciones. González et al. (2010), encontró magnitudes del coeficiente de determinación desde 0,45 hasta 0,72; estos resultados coinciden con valores y tendencias similares en los trabajos de González et al. (2010); González et al. (2011b) y Herrera et al. (2011).

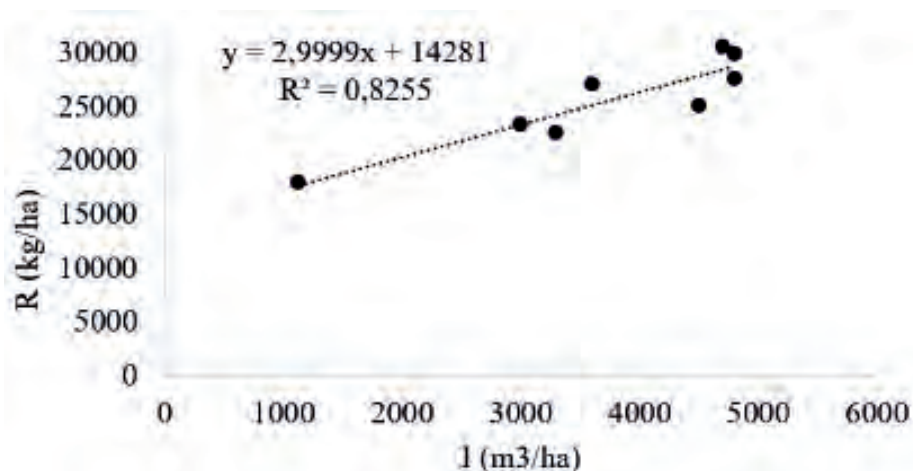


FIGURE 1. Relationship between agricultural crop yield (R) and water applied by irrigation (I) for potato crop.
 FIGURA 1. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua aplicada por riego (I) para el cultivo de la papa.

Table 2 shows the total water applied to all crops. Here it is observed an increase of the water applied in values of 478.8 to 1152.7 m³/ha due to the rain in potato and in bean an increase of 470.3 to 1106.3 m³/ha.

La Tabla 2 muestra el agua total aplicada a todos los cultivos. Aquí se aprecia un aumento del agua aplicada en valores de 478,8 a 1152,7 m³/ha debido a la lluvia en el cultivo de la papa y en el frijol se refleja un aumento de 470,3 a 1106,3 m³/ha.

TABLE 2. Rainfall in the period (P), water applied to the crop (I), effective rainfall (Pe) and total water applied to the crops (T)
 TABLA 2. Precipitaciones en el período (P), agua aplicada al cultivo (I), precipitaciones efectivas (Pe) y agua total aplicada a los cultivos (T)

Crop	I (m ³ /ha)	P (mm)	Pe (m ³ /ha)	T (m ³ /ha)
Potato	4500	149.9	1106.3	5606.3
Bean	1363	149.9	1106.3	2469.3

Crop	I (m ³ /ha)	P (mm)	Pe (m ³ /ha)	T (m ³ /ha)
Potato	4800	103.2	761.4	5561.4
Bean	3920	78.8	606.6	4526.6
Potato	4800	62.2	478.8	5278.8
Potato	4707.6	62.2	478.8	5186.4
Potato	1126.7	149.9	1106.6	2233.3
Potato	3300	176.1	1152.7	4452.7
Dasheen	5100	1026.5	6622.3	11722.3
Potato	3600	35.8	275.6	3875.6
Bean	3600	61.1	470.3	4070.3
Potato	3000	149.9	1106.6	4106.3

Relationship between yield and the total water applied is shown in Figure 2. Here an increase in yield can be seen with an increase in the total water applied to the crop. The curve fits a linear equation with a R² coefficient value equal to 0.63.

La relación entre el rendimiento agrícola del cultivo y el agua total aplicada se muestra en la Figura 2. Aquí se aprecia un incremento del rendimiento con un incremento del agua total aplicada al cultivo. La curva ajusta a una ecuación lineal con un valor de coeficiente R² igual a 0,63.

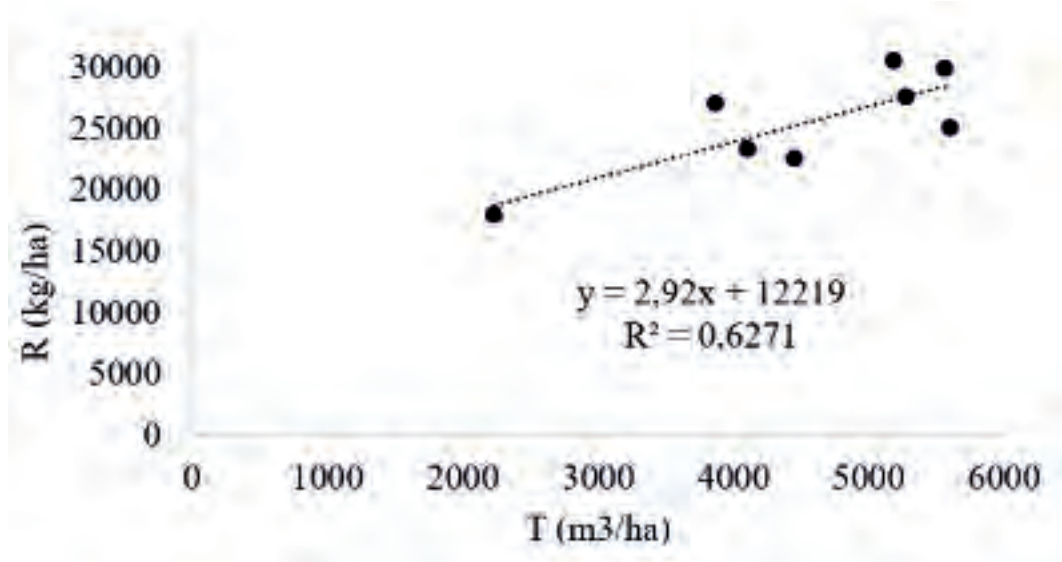


FIGURE 2. Relationship between agricultural crop yield (R) and total water applied to the crop (T), for potato crop.
 FIGURA 2. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua total aplicada al cultivo (T), para el cultivo de la papa.

The irrigation water for the potato of 90 day in Villa Clara is 4 100 m³/ha, proposed by Duarte et al. (2015). When analyzing the average water applied by irrigation, it was found that 3 729 m³/ha were applied, a value lower than the proposed by Duarte et al. (2015). However, if the total water is taken into account, a value of 4 537.4 m³/ha was obtained, higher than the proposed value. This indicates that there has been no efficient use of water, because the effective rainfall of the period was not taken into account during the application of water. The average agricultural yield of the crop reached 25 467.5 kg/ha, higher than the average obtained during 2017 in the country, which was 21 740.0 kg/ha (ONEI, 2018b) and also higher than those in the years from 2012 to 2017, as reported by the Statistical Yearbook of Cuba (ONEI, 2018b).

La norma netas de agua de riego para la papa de 90 días en Villa Clara propuesta por Duarte et al. (2015), es de 4 100 m³/ha. Al analizar la media del agua aplicada por riego encontramos que se le aplicaron 3 729 m³/ha, valor inferior al propuesto en la norma, sin embargo si se tiene en cuenta el agua total se obtuvo un valor de 4 537,4 m³/ha, superior a la norma de riego propuesta. Esto indica que no se ha hecho un uso eficiente del agua, debido a que no se tuvo en cuenta durante la aplicación del agua las precipitaciones efectivas del período. El rendimiento agrícola promedio del cultivo alcanzó los 25 467,5 kg/ha, superior al promedio obtenido durante el año 2017 en el país, que fue de 21 740,0 kg/ha (ONEI, 2018b) y superior también al de los años del 2012 al 2017, como reporta el Anuario Estadístico de Cuba (ONEI, 2018b).

The agronomic productivity of irrigation water in the potato crop was 6.82 kg/m^3 , but when considering the total water applied, the water productivity dropped to 5.61 kg/m^3 . Irrigation water productivity is within the range proposed by González et al. (2015a), who propose values between $6.25\text{-}26.7 \text{ kg/m}^3$ and within the one presented by González et al. (2015b) for field experiments. However, in addition to the irrigation water, that contributed by rainfall, the productivity achieved is lower than the one proposed by the previous authors, manifesting the application of water excess to the plants and, therefore, decrease in the water use efficiency.

Pacheco y Pérez (2010), in field experiments in this area, evaluated the irrigation efficiency in the potato crop and obtained that an excess of water was applied. The potato was irrigated frequently high, every 3.5 days. They also identified as a problem not to establish irrigation schedules or irrigation programming adjusted to the evapotranspiration of the plant and the water contributed by the rain. Water agronomic productivity values coincide with the range proposed by Doorenbos & Kassam (1979), however, they are lower than those proposed by (Herrera et al., 2011), for the conditions of Cuba. It should be noted that this result of lower water productivity is obtained despite the very good agricultural yield obtained which was almost 3000 kg/ha higher than the average of the country.

For beans crop the irrigation water proposed by Duarte et al. (2015), reaches $3\ 000 \text{ m}^3/\text{ha}$. The water applied by irrigation had a value of $2\ 961 \text{ m}^3/\text{ha}$, similar in magnitude to the proposal, complying with the irrigation water proposed. With the application of this water volume, the average agricultural yield reached $1\ 490 \text{ kg/ha}$ higher than $1\ 120 \text{ kg/ha}$ achieved on average in Cuba during 2017 (ONEI, 2018b).

The productivity of water irrigation applied was 0.50 kg/m^3 , which is similar to the range of 0.53 to 0.97 kg/m^3 found by (González et al., 2011a), in field experiments. Other similar values of water productivity, between 0.6 to 1.91 kg/m^3 , were reported by González et al. (2015a), and (Herrera et al., 2011). If during the period of crop establishment, the rainfall had been negligible, it could be said that an efficient use of the water was made, since the productivity obtained is very close to the proposal. However, when analyzing the total water that fell on the crop, it is found that an excessive application of water has been made ($688.7 \text{ m}^3/\text{ha}$ more than the standard proposed by Duarte et al. (2015), water productivity in this case dropped to 0.40 kg/m^3 , showing inefficiency in water use. Other studies on the use of water in bean crop have shown a similar water consumption (González et al., 2017), calculated the irrigation water needs for beans, for similar conditions and found that they were satisfied with $2\ 518 \text{ m}^3/\text{ha}$.

The norm of net irrigation for the cultivation of the dasheen according to Duarte et al. (2015), is $13\ 200 \text{ m}^3 / \text{ha}$, higher than $11\ 722.3 \text{ m}^3 / \text{ha}$ of total water applied to the crop. With this water deficit of $1\ 477.7 \text{ m}^3 / \text{ha}$, an agricultural yield of $20\ 000 \text{ kg} / \text{ha}$ was obtained, obtaining an agronomic water productivity of $1.7 \text{ kg} / \text{m}^3$, much lower than that of $5.9\text{-}11.3 \text{ kg} / \text{m}^3$ reported by (González et al. (2014) & González et al. (2015a),

La productividad agronómica del agua para riego, en el cultivo de la papa fue de $6,82 \text{ kg/m}^3$ y al considerar el agua total la productividad del agua desciende hasta $5,61 \text{ kg/m}^3$. La productividad del agua de riego está dentro del intervalo propuesto por González et al. (2015a), quienes proponen valores entre $6,25\text{-}26,7 \text{ kg/m}^3$ y dentro del presentado por González et al. (2015b), para experimentos de campo. Sin embargo, al considerar además del agua de riego, la aportada por las precipitaciones vemos que la productividad lograda es inferior a la propuesta por los anteriores autores, manifestándose la aplicación de un exceso de agua a las plantas y por lo tanto una disminución de la eficiencia en el uso del agua.

Pacheco y Pérez (2010), en experimentos de campo en esta propia zona, evaluaron la eficiencia del riego en el cultivo de la papa y obtuvieron que se le aplica un exceso de agua y que se le hacía el riego a la papa con una frecuencia alta, cada 3,5 días. Ellos identificaron también como un problema el no establecer calendarios de riego o programación de riego ajustada a la evapotranspiración de la planta y al agua aportada por la lluvia. Los valores de productividad agronómica del agua coinciden con el intervalo propuesto por Doorenbos y Kassam (1979), sin embargo son inferiores a los manejados por (Herrera et al., 2011), para las condiciones de Cuba. Hay que destacar que este resultado de productividad del agua inferior se obtiene a pesar del muy buen rendimiento agrícola obtenido superior casi en 3000 kg/ha al promedio del país.

Para el cultivo del frijol la norma neta de agua de riego propuesta por Duarte et al. (2015), alcanza los $3\ 000 \text{ m}^3/\text{ha}$. El agua aplicada por riego tuvo un valor de $2\ 961 \text{ m}^3/\text{ha}$, magnitud similar a la propuesta, cumpliéndose la norma neta de riego. Con la aplicación de este volumen de agua el rendimiento agrícola promedio alcanzó los $1\ 490 \text{ kg/ha}$ superior a los $1\ 120 \text{ kg/ha}$ logrados como promedio en Cuba durante el año 2017 (ONEI, 2018b). Por lo que se puede afirmar que se hizo un uso eficiente del agua.

La productividad del agua de riego aplicada fue de $0,50 \text{ kg/m}^3$ valor muy similar al del intervalo de $0,53$ a $0,97 \text{ kg/m}^3$ encontrado por (González et al., 2011a), en experimentos de campo. Otros valores similares de productividad del agua $0,6$ a $1,91 \text{ kg/m}^3$ fueron reportados por (González et al., 2015a) y (Herrera et al., 2011). Si durante el período de establecimiento del cultivo la lluvia caída hubiera sido despreciable, se pudiera decir que se hizo un uso eficiente del agua, dado que la productividad obtenida es muy cercana a la propuesta. Sin embargo, al analizar el agua total que cayó sobre el cultivo, entonces encontramos que se ha hecho una aplicación excesiva del agua ($688,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ más que la norma propuesta por Duarte et al. (2015). La productividad del agua en este caso desciende hasta $0,40 \text{ kg/m}^3$ mostrándose ineficiencia en el uso del agua. Otros trabajos realizados sobre el uso del agua en el cultivo del frijol han mostrado un consumo de agua similar al presentado aquí. (González et al., 2017), calcularon las necesidades hídricas del frijol, para condiciones similares y encontraron que se satisfacían con una norma neta de $2\ 518 \text{ m}^3/\text{ha}$.

La norma de riego neta para el cultivo de la malanga según Duarte et al. (2015), es de $13\ 200 \text{ m}^3/\text{ha}$, superior a los $11\ 722,3 \text{ m}^3/\text{ha}$ de agua total aplicada al cultivo. Con este déficit hídrico de $1\ 477,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ se obtuvo un rendimiento agrícola de $20\ 000 \text{ kg/ha}$, obteniéndose una productividad agronómica del agua de $1,7 \text{ kg/m}^3$, muy inferior a la de $5,9\text{-}11,3 \text{ kg/m}^3$ reportada por

however it is higher than that obtained from the calculation of water productivity from the average agricultural yield of the dasheen in Cuba, which is 15 280 kg / ha (ONEI, 2018b).

The relationship between total water applied and total water productivity is shown in Figure 3. This shows a decrease in total water productivity with an increase in total water applied. The adjustment of the curve to a polynomial equation with a value of the coefficient of determination R^2 of 0.50 shows an acceptable value of the model.

(González et al. (2014) y por González et al. (2015a), sin embargo es superior a la que se obtendría del cálculo de la productividad del agua a partir del rendimiento agrícola promedio de la malanga en Cuba, el cual es de 15 280 kg/ha (ONEI, 2018b).

La relación entre el agua aplicada por riego y la productividad del agua total se muestra en la Figura 3. En esta se observa un decrecimiento de la productividad del agua total con un incremento del agua total aplicada. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0,50 muestra un valor aceptable del modelo.

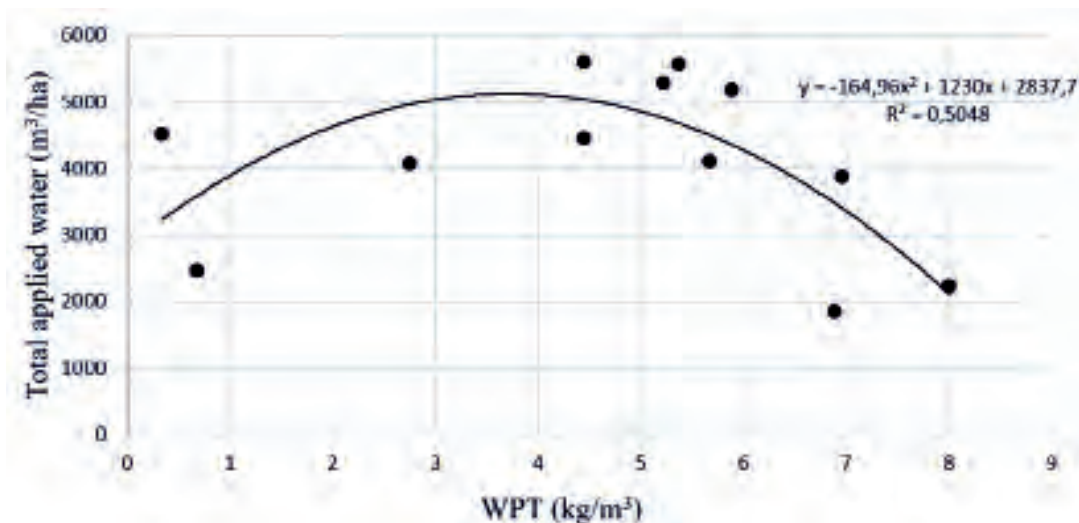


FIGURE 3. Relationship between total water productivity (WPT) and total water applied (T), for all crops.
 FIGURA 3. Relación entre la productividad del agua total (WP_T) y el agua aplicada total (T), para todos los cultivos.

In the production unit analyzed, fixed irrigation schedules are applied; it is that from time to time a standard net irrigation water is applied. It is about maintaining this compliance without taking into account the crops real water needs and without applying an irrigation calendar, calculated according to the climatic and evapotranspiration conditions of the region. These practices cause inefficiencies in the use of irrigation water.

CONCLUSIONS

- Inefficient use of water is made for crop irrigation; the total water applied was bigger than values proposed in the literature. In addition, water provided by the effective rainfall was not taken into account.
- The agronomic productivity of the irrigation water applied on potato was 5.61 kg/m³, on bean 0.50 kg/m³ and on dasheen 1.7 kg/m³, in all cases lower than the productivity of water reported in the literature, which allows stating the inefficient use of water for irrigation.

En las unidades de producción analizadas se aplican calendarios de riego fijos, es decir cada cierto tiempo se aplica una norma de riego neta. Se trata de mantener este cumplimiento sin tener en cuenta las necesidades hídricas reales de los cultivos y sin aplicar un calendario de riego calculado según las condiciones climáticas y de evapotranspiración de la región. Estas prácticas provocan ineficiencias en el uso del agua de riego, que hoy son suficientes, pero que en la medida en que se incrementen las áreas bajo riego y el efecto del cambio climático sea mayor, pueden comenzar a escasear.

CONCLUSIONES

- Se hace un uso ineficiente del agua para el riego de los cultivos debido a que el agua total aplicada está por encima de las normas netas propuestas en la literatura científica y no se tiene en cuenta el agua aportada por las precipitaciones efectivas para hacer las aplicaciones de riego.
- La productividad agronomica del agua de riego aplicada a la papa fue de 5,61 kg/m³, al frijol fue de 0,50 kg/m³ y en el cultivo de malanga obtuvo valores de 1,7 kg/m³, en todos los casos inferiores a la productividad del agua reportada en la literatura, lo cual permite afirmar que no se hace un uso eficiente del agua para el riego.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOORENBOS, J. y A. H. KASSAM: Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Ed. FAO, Rome, 1988.
- DUARTE, C.; J. HERRERA; T. LÓPEZ; F. GONZÁLEZ y E. ZAMORA: "Nuevas normas netas de riego para los cultivos agrícolas en Cuba", Revista Ingeniería Agrícola, 5(4): 46-51, 2015.

- FAO: Agua y cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura, Ed. FAO, Roma, 2002.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA y T. LÓPEZ: “Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(1): 65-72, 2010.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ y G. CID: “Productividad agronómica del agua”, *Ingeniería Agrícola*, 1(2): 76-81, 2011a.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ y G. CID: “Respuesta de los cultivos al déficit hídrico”, *Ingeniería Agrícola*, 1(2): 34-40, 2011b.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ y G. CID: “Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 5-11, 2013.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ y G. CID: “Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21-27, 2014.
- GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA; T. LÓPEZ; G. CID; R. DIOS-PALOMARES; M. HERNÁNDEZ; W. SALAZAR y A. ROMERO: “Uso de las Funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. “, *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1): 95-114, 2015a.
- GONZÁLEZ, F.; T. LÓPEZ y J. HERRERA: “Indicadores de productividad del agua por cultivos y técnicas de riego en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4): 57-63, 2015b.
- GONZÁLEZ, O.; B. ABREU; M. HERRERA y E. LÓPEZ: “Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1): 70-77, 2017.
- HERRERA, J. y F. GONZÁLEZ: “Estudio de las necesidades de agua de los cultivos, una demanda permanente, un nuevo enfoque”, *Ingeniería Agrícola*, 5(1): 52-57, 2015.
- HERRERA, J.; T. LÓPEZ y F. GONZÁLEZ: “El uso del agua en la agricultura en Cuba”, *Ingeniería Agrícola*, 1(2): 1-7, 2011.
- ONEI: “Anuario Estadístico de Cuba 2017”, Capítulo 2: Medio Ambiente, pp, La Habana: ONEI, 2018a.
- ONEI: “Anuario estadístico de Cuba 2017”, Capítulo 9. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, pp Ed. ONEI, La Habana: ONEI, 2018b.
- PACHECO, J.; N. ALONSO; P. PUJOL y E. CAMEJO: Riego y drenaje, Ed. Editorial Félix Varela, La Habana, 2006.
- PACHECO, J. y A. PÉREZ: “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.
- UNESCO: 3er Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. El agua en un mundo en constante cambio, Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, 2009.
- VÁZQUEZ, V., M.; L. MINJARES; E. CAMACHO; M. HERNANDEZ, L. y J. RODRIGUEZ, A.: “Uso del analisis Envoltente de Datos(DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los modulos del distrito No.041, Rio yanqui (Sonora Mexico)”, 49: 2017.

* Author for correspondence: Omar González-Cueto, e-mail: omar@uclv.edu.cu

Received: 10/02/2019.

Approved: 19/12/2019

Omar González-Cueto, Profesor Titular, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: omar@uclv.edu.cu

Abel Montaña-Valladares, estudiante, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, e-mail: omar@uclv.edu.cu

Elvis López-Bravo, Profesor Titular, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: elvislb@uclv.edu.cu

Sandra Sánchez-Valle, Profesora, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. e-mail: omar@uclv.edu.cu

Diana Estefanía Zambrano-Casanova, Profesora, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Departamento de Gestión Medioambiental, Manta, Ecuador, e-mail: dizamca@hotmail.com

Luisa María Macías-Martínez, Profesora, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Departamento de Gestión Medioambiental, Manta, Ecuador, e-mail: luisamacias0492@gmail.com

Miguel Herrera-Suárez^{III} Profesor Titular, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Portoviejo, Ecuador, e-mail: miguelhs2000@yahoo.com

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.