**AGROCENTRO 2019**

**IX SIMPOSIO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

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

***Irrigation water productivity in selected crops from the central region of Cuba***

**Dr. Omar González-Cueto1, Ing. Abel Montaña-Valladares2, Dr. Elvis López-Bravo3, Richard Xavier Cevallos Mera4, Dr. Miguel Herrera-Suárez4**

1 Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. E-mail: [omar@uclv.edu.cu](mailto:omar@uclv.edu.cu)

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

3. Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. E-mail: [elvislb@uclv.edu.cu](mailto:elvislb@uclv.edu.cu)

4. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador, [richardc358@gmail.com](mailto:richardc358@gmail.com)

5. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador, [miguelhs2000@yahoo.com](mailto:miguelhs2000@yahoo.com)

**Resumen.** El trabajo se realizó con el objetivo de determinar la eficiencia en el uso del agua de riego, en unidades de producción agropecuaria, 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 papa, malanga y frijol. La productividad del agua 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. Los resultados mostraron una baja productividad e ineficiencia en el uso del agua para los cultivos de papa y frijol y no el caso de la malanga donde se obtuvieron valores de productividad del agua que muestran un uso eficiente del agua en este cultivo.

**Palabras clave**: eficiencia en el uso del agua; calendario de riego; precipitaciones efectivas

***Abstract:*** The work was carried out in the Agricultural Company Valle del Yabú 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, by calculating the water productivity applied to some crops of economic importance. The productivity of the water applied by irrigation, the total water productivity, and the total water applied (T), in the potato, taro, and beans were calculated. The water productivity in the potato the average was 7.74 kg/m3, in the beans it reached values ​​of 4.74 kg/ m3, in the case of the taro it was 3.92 kg/m3 and the corn was 10.66 kg/m3. The results showed low productivity and inefficiency in the use of water for potato and bean, not the case of taro where water productivity values ​​were obtained that show an efficient use of water in these crops.

***Keywords:*** water use efficiency; irrigations scheduled; effective rainfall

.

**1. Introducción**

La agricultura consume un 70% de las extracciones de agua dulce que se realizan de los ríos, lagos y acuíferos; llegando a alcanza 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 ([UNESCO, 2009](#_ENREF_18)). 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](#_ENREF_3)).

En Cuba, la agricultura es también el principal consumidor de agua dulce disponible. [ONEI (2018a)](#_ENREF_14) refiere que en el año 2017 se extrajo un volumen total de agua 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%. Si se analiza la extracción de agua dulce superficial se encuentra que de un total de 3 877 millones de metros cúbicos, se emplearon en la agricultura 2 031 millones, lo cual representa un 52,4%, y del agua dulce subterránea se empleó en la agricultura casi el 50% del agua dulce total. Datos estos que muestran la importancia de la disminución del consumo de agua per cápita de cada cultivo en la agricultura y a su vez del necesario incremento del rendimiento agrícola de estos con el mínimo consumo de agua posible.

El alto consumo de agua provocado por la agricultura se debe, entre otros factores, a la gran demanda de agua por unidad de producción que tienen los productos agrícolas, y las eficiencias globales de riego. Una de las direcciones principales de trabajo, en cuanto al uso del agua, es lograr un uso racional del recurso agua de riego. Ello requiere de eficiencia en el manejo del agua, es decir, regar con el menor volumen de agua posible, de acuerdo a las condiciones climáticas de cada región, obteniendo buenos rendimientos agrícolas de los cultivos. La adecuada gestión del riego es la que determina cuándo y cuánto regar, sobre la base de las necesidades de agua de los cultivos, las características del suelo y las condiciones climáticas del entorno para optimizar la calidad y cantidad de la producción **(**[**Vázquez *et al.*, 2017**](#_ENREF_19)**)**.

Diversos autores han señalado la importancia que adquiere en la planificación y operación del riego y el conocimiento de las funciones agua rendimiento ([González *et al.*, 2010](#_ENREF_4); [González *et al.*, 2013](#_ENREF_7)[, 2014](#_ENREF_8); [Duarte *et al.*, 2015](#_ENREF_2); [Herrera y González, 2015](#_ENREF_12)). Según estos autores a partir de estas curvas 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.

El estado cubano ha invertido cuantiosos recursos financieros en la ampliación de las áreas bajo riego.La eficiencia en el uso del agua para el riego es fundamental, cuando 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. Una de las vías para lograr los objetivos propuestos es aumentar 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](#_ENREF_10)).

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 y de la respuesta en rendimiento agrícola de algunos cultivos seleccionados en la región central de Cuba.

**2. Metodología**

La investigación se llevó a cabo en los meses de enero a marzo de 2018. 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. Las precipitaciones durante los períodos estudiados fueron convertidas a precipitaciones efectivas, mediante el método de Savo, según **(**[**Pacheco *et al.*, 2006**](#_ENREF_16)**)**.

**3. Resultados y discusión**

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.

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.

Tabla 1. Datos base de cada uno de los cultivos.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CULTIVO | Agua de riego aplicada  m3/ha | Área sembrada  ha | Rendimiento  kg/ha | Fecha  de  siembra | Fecha  de  cosecha |
| Papa | 4500 | 8 | 25 000 | 5/1/2018 | 9/4/2018 |
| Frijol | 1363 | 6 | 1 700 | 15/1/2018 | 15/4/2018 |
| Papa | 4800 | 8 | 29 900 | 28/12/2016 | 5/4/2017 |
| Frijol | 3920 | 6 | 1 580 | 12/1/2017 | 12/4/2017 |
| Papa | 4800 | 14 | 27 600 | 26/12/2016 | 7/4/2017 |
| Papa | 4707,6 | 14 | 30 560 | 22/12/2016 | 20/3/2017 |
| Papa | 1126,7 | 11 | 17 880 | 8/1/2018 | 30/3/2018 |
| Papa | 3300 | 10 | 22 500 | 29/12/2015 | 20/3/2016 |
| Malanga | 5100 | 10 | 20 000 | 20/3/2016 | 20/4/2017 |
| Papa | 3600 | 15 | 27 000 | 8/1/2014 | 10/4/2014 |
| Frijol | 3600 | 12 | 1 210 | 11/2/2016 | 8/4/2016 |
| Papa | 3000 | 15 | 23 300 | 5/1/2018 | 31/3/2018 |

La relación entre el rendimiento agrícola y el agua aplicada por riego 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 polinómica con un valor del coeficiente de determinación R2 de 0,45 es aceptable según [**González *et al.* (2010)**](#_ENREF_4), y coincide con valores y tendencias similares en los trabajos de [**González *et al.* (2010)**](#_ENREF_4), [**González *et al.* (2011b)**](#_ENREF_6) y [**Herrera *et al.* (2011)**](#_ENREF_13).

Figura 1. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua aplicada por riego (I) para todos los cultivos.

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 1152,7m3/hadebido a la lluviaen el cultivo de la papa y en el frijol se refleja un aumento de 470,3 a 1106,3 m3/ha.

Tabla 2. Precipitaciones en el período (P), agua aplicada al cultivo (I), precipitaciones efectivas (Pe) y agua total aplicada a los cultivos (T).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Cultivos | I  (m3/ha) | P  (mm) | Pe  (m3/ha) | T  (m3/ha) |
| Papa | 4500 | 149,9 | 1106,3 | 5606,3 |
| Frijol | 1363 | 149,9 | 1106,3 | 2469,3 |
| Papa | 4800 | 103,2 | 761,4 | 5561,4 |
| Frijol | 3920 | 78,8 | 606,6 | 4526,6 |
| Papa | 4800 | 62,2 | 478,8 | 5278,8 |
| Papa | 4707,6 | 62,2 | 478,8 | 5186,4 |
| Papa | 1126,7 | 149,9 | 1106,6 | 2233,3 |
| Papa | 3300 | 176,1 | 1152,7 | 4452,7 |
| Malanga | 5100 | 1026,5 | 6622,3 | 11722,3 |
| Papa | 3600 | 35,8 | 275,6 | 3875,6 |
| Frijol | 3600 | 61,1 | 470,3 | 4070,3 |
| Papa | 3000 | 149,9 | 1106,6 | 4106,3 |

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 polinómica con un valor de coeficiente R2 igual a 0,5254 el cual es aceptable también, tal como lo expresan los autores mencionados anteriormente.

Figura 2. Relación entre el rendimiento agrícola del cultivo (R) y el agua total aplicada al cultivo (T), para todos los cultivos.

La norma netas de agua de riego para la papa de 90 días en Villa Clara propuesta por [**Duarte *et al.* (2015)**](#_ENREF_2) 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](#_ENREF_15)) y superior también al de los años del 2012 al 2017, como reporta el Anuario Estadístico de Cuba. La productividad agronómica del agua para riego fue de 6,82 kg/m3 y al considerar el agua total la productividad del agua desciende hasta 5,61 kg/m3. La productividad del agua de riego está dentro del intervalo propuesto por [**González *et al.* (2015a)**](#_ENREF_9), quienes proponen valores entre 6,25-26,7 kg/m3 y dentro del presentado por [**González *et al.* (2015b)**](#_ENREF_10) para experimentos de campo. Sin embargo, al considerar además del agua de riego, la aportada por las precipitaciones vemos que la productividad lograda de 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)**](#_ENREF_17) 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 lo cual provocaba el lavado excesivo del follaje. 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 (1988)**](#_ENREF_1), sin embargo son inferiores a los manejados por [**Herrera *et al.* (2011)**](#_ENREF_13), 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 alcanza los 3 000 m3/ha **(**[**Duarte *et al.*, 2015**](#_ENREF_2)**)**. La media del agua aplicada por riego tomó valores de 2 961 m3/ha cumpliéndose la norma neta de riego. El rendimiento agrícola promedio alcanzado, de 1 490 kg/ha superior a los 1 120 kg/ha alcanzados como promedio en Cuba durante el año 2017 ([ONEI, 2018b](#_ENREF_15)). La productividad del agua de riego aplicada fue de 0,50 kg/m3 valor muy similar al del intervalo de 0,53 a 0,97 kg/m3 encontrado por [**González *et al.* (2011a)**](#_ENREF_5) en experimentos de campo. Otros valores similares de productividad del agua 0,6 a 1,91 kg/m3 fueron reportados por [**González *et al.* (2015a)**](#_ENREF_9) y [**Herrera *et al.* (2011)**](#_ENREF_13). Si durante el período de establecimiento de los cultivos la lluvia caída hubiera sido despreciable, se pudiera decir que se hizo un uso eficiente del agua, dado que casi se cumplió con la productividad del agua que debía esperarse para el cultivo. 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 m3/ha más que la norma propuesta por **(**[**Duarte *et al.*, 2015**](#_ENREF_2)**)**). La productividad del agua en este caso desciende hasta 0,40 kg/m3 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)**](#_ENREF_11), calcularon las necesidades hídricas del frijol, para las condiciones de esta empresa y encontraron que se satisfacían con 2 518 m3/ha, teniendo en cuenta en ese caso las precipitaciones que ocurrieron durante el período analizado.

La norma de riego neta para el cultivo de la malanga según [**Duarte *et al.* (2015)**](#_ENREF_2) es de 13 200 m3/ha, superior a los 11 722,3 m3/ha de agua total aplicada al cultivo. Con este déficit hídrico de 1 477,7 m3/ha se obtuvo un rendimiento agrícola de 20 000 kg/ha, obteniéndose una productividad agronómica del agua de 1,7 kg/m3, muy inferior a la de 5,9-11,3 kg/m3 reportada por [**González *et al.* (2014)**](#_ENREF_8) y por [**González *et al.* (2015a)**](#_ENREF_9), 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](#_ENREF_15)).

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 aplicada por riego. El ajuste de la curva a una ecuación polinómica con un valor del coeficiente de determinación R2 de 0,50 muestra un valor aceptable del modelo. Al analizar los valores de las productividades del agua total encontramos que empeora los valores de la eficiencia en el uso del agua, dado que el incremento del uso del agua por encima de las normas de riego muestra la ineficiencia en el uso del agua.

Figura 3. Relación entre la productividad total del agua (WPT) y el agua aplicada total (T), para todos los cultivos.

## Los resultados presentados muestran como en las unidades de producción analizadas se aplican calendarios de riego que son 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.

**4. Conclusiones**

De forma general 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 agronómica del agua de riego aplicada a la papa fue de 5,61 kg/m3, al frijol fue de s cultivos de la 0,40 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.

**5. 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.

---: "Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 5-11, 2013.

---: "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 Bioeconomia 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.

---: "Anuario estadístico de Cuba 2017", *Capítulo 9. Agricultura, ganaderia, 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 Envolvente de Datos(DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los modulos del distrito No.041, Rio yanqui (Sonora Mexico)", 49: 2017.