



Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba

Irrigation water productivity of some agricultural crops in Cuba

Dr.C. Felicita González Robaina, Dr.C. Julián Herrera Puebla, Dr.C. Teresa López Seijas, Dr.C. Greco Cid Lazo
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, Cuba.

RESUMEN. Para el mejor uso económico y social del agua se requieren de métodos para evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible. Los administradores del agua para el riego necesitan identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia con vistas a fijar metas y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado y/o consumido. El objetivo de este trabajo fue presentar los indicadores de productividad agronómica del agua de 17 cultivos a partir de la información obtenida en más de 100 experimentos de campo disponibles en la base de datos sobre necesidades hídricas del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Se determinaron los rendimientos máximo y mínimo y sus respectivos valores de consumo, agua aplicada por riego y la productividad agronómica del agua aplicada para los 17 cultivos estudiados. Cultivos como los frijoles, maíz, boniato y los plátanos obtienen incrementos de rendimiento superiores al 100% cuando se aplica el agua necesaria para satisfacer su demanda hídrica, mientras que la yuca obtuvo valores menores del 50%. Los altos valores obtenidos de productividad en base al agua utilizada como riego no son un buen indicador del uso eficiente del agua por las plantas para las condiciones de la zona de estudio, donde se informan para los años analizados, porcentajes de lluvia aprovechable de hasta el 41%, supliendo ésta una parte importante de las necesidades de los cultivos agrícolas.

Palabras clave: rendimiento, irrigación, eficiencia del agua.

ABSTRACT. It is required of methods to evaluate water productivity for the best economic and social use of it, in order to make better decisions as for political and strategies of use in a sustainable way. Water irrigation user need to identify tendencies in the use patterns and levels of efficiency with a view to state goals and to improve the productivity for unit of used volume and/or consumed. The objective of this paper was to present the indicators of water productivity of 17 crops starting from the information obtained in more than 100 field experiments available in the database on water requirements of the Research Institute on Agricultural Engineering (IAgric). The maximum and minimum yields and their respective values of consumption, irrigation water applied and the irrigation water productivity for these crops were determined. Cultivations like the beans, corn, sweet potato and bananas obtain superior yield increments to 100% when the required water is applied to satisfy its water requirement, while cassava obtained values smaller than 50%. The high values obtained of productivity based on the irrigation water applied are not a good indicator of the efficient use of the water for the plants for the conditions of the study area, where they are informed for the analyzed years, percentages of profitable rain of until 41%, replacing this an important part of the needs of the agricultural crops.

Keywords: yield, irrigation, water efficiency.

INTRODUCCIÓN

Para el mejor uso económico y social del agua se requieren de métodos para evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible (FAO, 2003). Los administradores del agua para el riego necesitan identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia con vistas a fijar metas y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado y/o consumido y por unidad de superficie de suelo (Playan y

Mateos, 2006; Sánchez *et al.*, 2006).

Para las condiciones de suelo y clima de Cuba no existen publicados indicadores de productividad del agua utilizada en la producción agrícola que permitan evaluar si los rendimientos obtenidos están en correspondencia con la cantidad de agua utilizada en el riego, cuestión de vital importancia en el contexto actual de cambios en la política económica del país, donde el balance de agua constituye un indicador de peso en la economía (PCC, 2012).

Utilizando datos de más de 100 experimentos de campo disponibles en la base de datos sobre necesidades hídricas del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola se determinaron los rendimientos máximo y mínimo y sus respectivos valores de consumo (ET), agua aplicada por riego (I), precipitaciones y la productividad del agua aplicada por riego (WP_1) de los 17 cultivos seleccionados en las condiciones del sur de La Habana.

MÉTODOS

Se utilizó la información sobre los consumos de agua (ET), agua aplicada por riego (I), precipitaciones y los rendimientos de los cultivos obtenida en más de 100 experimentos de campo disponibles en la base de datos sobre necesidades hídricas del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (González *et al.*, 2012).

De acuerdo con la información recopilada en la base de datos de los 23 cultivos, fueron seleccionados 17, los que fueron divididos en cuatro grupos que son: granos (maíz, sorgo, frijol común, garbanzo, soya), hortalizas (tomate, pimiento, ajo, cebolla), viandas (papa, boniato, plátano, malanga, yuca) y frutas (piña, banano, papayo).

De un total de 117 experimentos, 84,6% corresponden a estudios realizados en suelos Ferralítico Rojo y de ellos el 79,5% corresponde a la zona del sur de La Habana. Esta zona forma parte de la llanura cársica Habana-Matanzas, muy plana, con una altura inferior a 30 metros del nivel del mar y donde la agricultura es la actividad económica fundamental, siendo la viandas, hortalizas y granos los principales cultivos (López *et al.*, 2009).

La mayoría de los experimentos de la zona sur de La Habana fueron realizados en la Estación Experimental del IIRD en Alquizar (64,9%), coordenadas: Latitud 22° 46' 50" N y Longitud 82° 36' 05" O, altura sobre el nivel medio del mar 6 m, 12 km de la costa. El resto en la Estación Experimental Hortícola "Liliana Dimitrova", ubicada hasta aproximadamente 1980 en Güira de Melena (coordenadas Latitud 22° 46' 48" N y Longitud 82° 30' 42" O, altura sobre el nivel medio del mar 11,3 m y a 12 km de la costa) y posteriormente en Quivicán (Latitud 22° 46' N y Longitud 82° 20' O, altura sobre el nivel medio del mar 11 m y a 15 km de la costa).

De manera general se puede señalar que el suelo Ferralítico Rojo presenta buenas condiciones de drenaje interno. Mientras que el clima se caracteriza por una media anual de precipitaciones que alcanza los 1 531 mm, de los cuales el 68% (1 044,4 mm) se distribuyen entre los meses de mayo y octubre, correspondientes al período lluvioso y el restante 32% (486,4 mm) corresponden al período seco, que se extiende desde el mes de noviembre hasta el mes de abril. Durante el período seco el balance de lluvia y evapotranspiración potencial de la zona es negativo por lo que el riego es imprescindible para la obtención de buenos rendimientos agrícolas.

La calidad del agua utilizada en los experimentos de riego responde a los estándares de no limitación para el riego y en particular la de los experimentos realizados en la estación del IIRD en Alquizar ha sido caracterizada por Duarte (2003).

El análisis exploratorio de datos consistió en la determina-

ción de los rendimientos máximo y mínimo y sus respectivos valores de ET, agua aplicada por riego y precipitaciones de todos los cultivos estudiados.

En el trabajo "Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos" de Doorenbos y Kassam (1986), editada por FAO por primera vez en 1979 (Boletín 33), se logró la unión de criterios, de puntos de vista y conceptos sobre la relación agua rendimiento. Por todas estas razones constituye en la actualidad un documento de referencia internacional y fue utilizado en este trabajo para comparar los resultados obtenidos de rangos de consumo de agua y rendimientos de los diferentes cultivos.

Posteriormente se calculó la productividad agronómica del agua aplicada (WP_1) para los 17 cultivos estudiados. Para el cálculo de la WP en este trabajo el numerador se expresó en términos de rendimiento del cultivo (kg), mientras que en el denominador se usó el agua utilizada por riego (m^3), ambos referidos a una hectárea, según muestra la siguiente ecuación (Molden *et al.*, 2003):

$$WP_1 (kg m^{-3}) = \frac{R (kg)}{I (m^3)} \quad (1)$$

donde:

WP_1 – productividad agronómica del agua utilizada por riego (I)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en los estudios sobre el régimen de riego, desarrollados desde 1971 hasta 2002 por el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje y otras instituciones de investigación en el país, se conformó la base de datos que constituye la fuente básica de información para este trabajo (González *et al.*, 2012).

Diversas teorías se han esbozado desde la segunda década del siglo XX sobre el valor óptimo de humedad del suelo que maximiza los rendimientos, sin embargo ya desde 1964, en la tercera edición de su obra que constituye un clásico en la literatura sobre el riego, Israelsen y Hansen (1964) puntualizaron que el mantener la humedad del suelo al 50% de la humedad aprovechable del mismo permitía maximizar los rendimientos, en contraposición a la teoría planteada por Veihmeyer y Hendrickson (1949, citado por Herrera, 1984) de que toda la humedad contenida en el suelo desde Capacidad de campo (Cc) hasta el punto de marchitez era igualmente utilizable y por tanto no se afectaba el rendimiento.

En concordancia con lo anterior y como era de esperar los máximos rendimientos en todos los cultivos se obtuvieron para los tratamientos donde se mantuvo la humedad alrededor del 85% de la Capacidad de campo (alrededor del 50% de la humedad aprovechable en el suelo), mientras que los mínimos coinciden con los tratamientos donde sólo se regó para garantizar la germinación o no se regó.

Como promedio, cuando se aplicó riego los cultivos fueron dos veces más productivos que cuando no se regó, lo que demuestra la necesidad del riego en las condiciones subtropicales de Cuba para la obtención de altos y estables rendimientos. Sin embargo, la respuesta al riego no fue similar en todos los

cultivos; lo cual se muestra en la Tabla 1 donde se agruparon los mismos según el incremento de rendimiento alcanzado con los mejores tratamientos de agua.

TABLA 1. Incremento de rendimiento (%) con relación al tratamiento de menor agua

Incremento de Rendimiento (%)	Cultivos
superior al 100%	soya (G-7R-315, primavera), cebolla (Red Creole), frijol (Negro/ Cueto259), maíz (T66), pimiento (Medalla de Oro), banano (Cavendish gigante), ajo, boniato (CEMSA 78-425, verano), boniato (CEMSA 78-425, invierno), malanga, papa (Desirée), papayo, plátano (Parecido al Rey y CEMSA ¾), tomate (Campbell 28)
50% - 100%	garbanzo, papa (Spunta, Baraka, Kondor, Claudia), pimiento (primavera), sorgo (Blanco C-21), banano (Tretaploide)
Inferior al 50%	piña, sorgo (Enana), yuca.

De este modo cultivos como los frijoles y el maíz, tradicionalmente cultivados en secano o considerados de poca demanda de riego, obtienen incrementos de rendimiento superiores al 100% cuando se aplica el agua necesaria para satisfacer su demanda hídrica.

Entre las viandas destacaron el boniato y los plátanos, que alcanzaron incrementos entre el 100 y el 200% cultivados bajo riego; mientras que la yuca obtuvo valores menores del 50%, lo que induce a considerar las ventajas o desventajas de la plantación de este cultivo en áreas donde se cuenta con facilidades de riego intensivo.

En la papa, en todos los casos el tratamiento más húmedo al ser comparado con el de menor humedad (ya que no fue posible realizar ensayos en secano en ningún año) obtiene incrementos de rendimiento entre el 66,4 y 91,3%; excepto la variedad Desirée con 193,8%. La producción de este cultivo en secano es imposible en las condiciones de Cuba, debido a la necesidad del riego frecuente para el enfriamiento del suelo (Roque, 1995).

La Tabla 2 muestra el consumo de agua para los tratamientos de riego óptimo y los rendimientos obtenidos con los mismos para los cinco cultivos, de los estudiados, que se pueden sembrar durante todo el año.

TABLA 2. Consumo de agua con nivel máximo de riego y rendimiento alcanzado por los cultivos estudiados en los dos períodos de siembra

Cultivos	ET (mm)	Rendimiento (t·ha ⁻¹)
Período Poco Lluvioso		
Maíz	390,6	8,30
Soya	327,3	2,05
Sorgo	412,7	4,53
Pimiento (noviembre-abril)	485,7	22,3
Pimiento (período tardío)	375,5	21,9
Boniato	362,4	22,0
Período Lluvioso		
Maíz	418,8	5,44
Soya	441,1	3,58
Sorgo	490,8	4,74
Boniato	545,3	42,8

La demanda evapotranspirativa del cultivo en la época poco lluviosa fue cubierta fundamentalmente por el riego, mientras

que en el período lluvioso correspondió a las lluvias el mayor aporte de agua. Considerando que el agua no fue deficitaria en ninguno de los dos períodos y que el resto de las labores agrotécnicas del cultivo y la fertilización fue óptima, puede notarse el efecto de la época sobre el consumo de agua y el rendimiento de los mismos.

Así, el maíz en el período lluvioso consumió 7% más de agua y produjo 34% menos que en el período poco lluvioso; lo que puede estar relacionado con las altas temperaturas del período lluvioso que proporcionan mejores condiciones para el desarrollo de un follaje más exuberante que propicia un mayor consumo de agua pero no favorece el llenado de los granos y posiblemente también el ataque de plagas y enfermedades que incidieron en la reducción del rendimiento.

La soya consumió 113,8 mm (34,7%) más de agua en la siembra de primavera que en la de seca, donde rindió un 46% menos. El ajuste en este cultivo entre el mayor consumo y el mayor rendimiento en la época de lluvias indica mejores condiciones para el desarrollo del mismo en esta estación, lo cual ha sido señalado con anterioridad por varios autores (Pujols *et al.*, 1985; Castellanos, 1988), siempre y cuando las condiciones de drenaje del suelo y del área favorezcan la no existencia de estrés por exceso de humedad (Herrera *et al.*, 2011).

El sorgo, cultivo reconocido como resistente tanto al estrés por exceso como por defecto de humedad (Montero *et al.*, 2009; Herrera *et al.*, 2011), con consumos de agua y rendimientos que no difieren en 15 y 4%, respectivamente entre ambas épocas, parece ser indiferente a las distintas condiciones ambientales de ambas estaciones en Cuba.

Un análisis general del comportamiento de estos granos, de importancia capital para la alimentación del ganado, indica que mientras el sorgo es indiferente a la época del año, y la soya obtiene sus mejores rendimientos en primavera, la producción de maíz se ve favorecida si es sembrado en la época de seca con riego.

El boniato, la única vianda de ciclo corto estudiada en ambas épocas del año, mostró superioridad en el rendimiento en un 48% en la época de lluvias con relación a la época de seca donde las temperaturas son más frías, y en consonancia con lo anterior, el consumo de agua del mismo se incrementó en 19%, lo que indica la ventaja de las siembras del mismo solo en primavera, sobre todo como cultivo en rotación para aquellas áreas que disponen de riego.

El pimiento consume y rinde más cuando se siembra entre noviembre y abril, llamado por muchos autores como el período óptimo, porque el comportamiento del clima en esa época se corresponde con las exigencias de este cultivo en cuanto a las temperaturas (León *et al.*, 1991; Boicet *et al.*, 2001).

La producción de hortalizas en Cuba es en extremo estacional y se ve limitada por diferentes factores climáticos que no favorecen el logro de los potenciales productivos de muchas especies y variedades durante gran parte del año. Para obtener buenos rendimientos en el pimiento en un período no óptimo de siembra y garantizar su consumo fresco, se necesita un suministro adecuado de agua y suelos relativamente húmedos durante todo el período vegetativo (Boicet *et al.*, 2001).

Los resultados mostrados en la Tabla 2 y lo señalado anteriormente enfatizan en la importancia de la época óptima de desarrollo del cultivo para la demanda de agua, el rendimiento

y la productividad del agua; de este modo cultivos como la soya y el boniato obtienen sus mayores beneficios de las mejores condiciones ambientales (para ellos) en la época de lluvias, de ahí que en una rotación dentro de áreas que poseen riego su siembra debería hacerse preferentemente en la primavera, mientras que el maíz y el pimiento deberían sembrarse en la época de seca y el sorgo es indiferente a la época. Estas decisiones, desde luego dependen de varios factores, cuya discusión está fuera del contexto de este trabajo.

Al establecer una comparación entre los rangos de consumo de agua y rendimientos para cultivos bajo riego publicados en el boletín 33 de la FAO (Doorenbos y Kassam, 1986) y los valores de la base de datos obtenida para las condiciones de Cuba se puede apreciar que los consumos de agua en el frijol, el sorgo y la cebolla, se encuentran en el rango de los obtenidos por estos autores; mientras que en plátano y piña están por encima y en el resto resultan inferiores (Tabla 3).

TABLA 3. Comparación del rango de consumo de agua y rendimiento de 11 cultivos bajo riego entre los obtenidos en la base de datos de Cuba y el boletín 33 de FAO (Doorenbos y Kassam, 1986)

Cultivos	Cuba		FAO (Boletín 33)	
	ET (mm)	R (t ha ⁻¹)	ET (mm)	R (t ha ⁻¹)
Maíz	290-420	3,9-8,3	500-800	6-9
Soya	215-450	1,16-3,86	450-700	2,5-3,5
Sorgo	331-490	3,89-4,95	450-650	3,5-5
Frijol	280-380	1,6-2,98	300-500	1,5-2,0
Pimiento	230-490	5,4-47,6	600-900	10-15
Tomate	300-350	30-63	400-600	45-65
Cebolla	250-450	15-20	350-550	35-45
Papa	130-435	19-38,5	500-700	15-25
Plátano	900-1 630	15,9-32,8	1 200/año	40-60
Banano	900-1 460	40-47,9	1 200/año	40-60
Piña	800-1 491	29-35	700-1 000	75-90

Para encontrar una explicación a este particular hay que tener en cuenta que los valores de consumos obtenidos por Doorenbos y Kassam (1986) son el resultado de múltiples experimentos donde se utilizaron variedades, épocas de siembra, duración del ciclo del cultivo y densidad de plantación que difieren en algunos casos de como ocurre en Cuba.

Así, según la literatura anterior, en la papa para obtener altos rendimientos, la evapotranspiración máxima varía entre 500 y 700 mm para un ciclo de 120 a 150 días en dependencia del clima (Doorenbos y Kassam, 1986; Onder *et al.*, 2005; Ferreira y Gonçalves, 2007) mientras que en las condiciones de Cuba, el ciclo no sobrepasan los 110 días, de ahí que los valores de evapotranspiración total que maximizan el rendimiento son menores.

No obstante lo anterior, los rendimientos alcanzados en este cultivo, así como en el frijol y pimiento, superan los rangos de rendimientos obtenidos por los autores anteriormente citados, lo cual indica la existencia de un buen potencial de rendimiento en estos cultivos en Cuba, si el agua y las demás condiciones agrícolas son satisfactorias.

En el caso de las hortalizas, en particular la cebolla, los

rendimientos están por debajo de los valores que deben alcanzarse bajo riego (35-45 t ha⁻¹) según lo publicado por Doorenbos y Kassam (1986) y otros autores (Ramos, 1999; Imtiyaz *et al.*, 2000; Lipinski y Gaviola, 2003; Acosta *et al.*, 2008).

Según Ramos (1999) para lograr buenos rendimientos en la cebolla debe garantizarse el enfriamiento del suelo durante el inicio de la fase de semillero, así como temperaturas ambientales que no superen los 26°C. Requiere además de clima seco (baja humedad relativa), mucha insolación y un porcentaje de agotamiento del agua útil menor del 25%; aunque es relativamente resistente a la sequía, no deberá faltar agua en las fases de germinación y desarrollo de raíces y bulbos (Vilas Boas *et al.*, 2011).

En Cuba las variedades estudiadas son originales de clima templado y aunque se cultivan en la época seca donde disminuyen las temperaturas, éstas son muy variables, la insolación es menor y la humedad relativa se mantiene alta, lo que, entre otros factores, podría incidir en que no se alcancen los rendimientos potenciales en la cebolla (Muñoz y Prats, 2004) y por tanto se manifiesta una disminución en la eficiencia de utilización del agua por este cultivo.

Como puede verse hasta aquí, hay una positiva respuesta al riego en todos los cultivos estudiados, y esta respuesta varía según el potencial de rendimiento y la adaptación del cultivo a las condiciones climáticas del país. Los consumos de agua dependieron de la longitud del ciclo y del cultivo, coincidiendo los mayores consumos con aquellos cultivos de más altas producciones.

Productividad agronómica del agua

Bajo este acápite se analiza la relación productiva existente entre el rendimiento del cultivo y el agua total aplicada como riego, esta relación es muy dependiente del comportamiento de las lluvias dentro de la temporada de riego y resulta difícil, al realizar los experimentos a campo abierto, separar el aporte de las lluvias, escasa o no, a la satisfacción de las necesidades de agua de los cultivos.

En la Tabla 4 se presentan los valores de productividad agronómica del agua aplicada por riego (WP_1) para los 17 cultivos estudiados.

A partir de los datos experimentales de maíz y utilizando la ecuación 1, en la Tabla 4, se encontró que el rango de productividad del agua utilizada como riego varió entre 2,03 y 16,43 $kg \cdot m^{-3}$. En la Figura 1 se muestra una comparación entre la productividad del agua utilizada y el rendimiento con relación a la cantidad de agua aplicada por riego por el maíz.

El valor máximo de la productividad para el maíz de 16,43 $kg \cdot m^{-3}$ se obtuvo en los experimentos conducidos en invierno (diciembre-marzo) y en los tratamientos donde se suspendieron los riegos después de la germinación (agua aplicada de 266,8 m^3) (Figura 1).

TABLA 4. Rangos de valores de productividad agronómica del agua aplicada por riego (WP_1) calculada para los 17 cultivos estudiados

Cultivo		WP_1 $kg \cdot m^{-3}$
Granos	Maíz	2,03-16,43
	Soya	0,69-12,2
	Sorgo	1,4-5,48
	Frijol	0,6-1,91
Hortalizas	Garbanzo	0,34-1,27
	Pimiento	3,1-26,2
	Tomate	12,9-45,4
	Cebolla	3,76-16,6
Viandas	Ajo	3,37-4,22
	Papa	6,25-26,7
	Boniato	10,3-88,5
	Malanga	5,9-11,3
	Plátano	1,37-33,01
Frutales	Yuca	10,5-18,5
	Banano	5,5-26,9
	Papayo	5,8-19,7
	Piña	4,4-11,2

Estos aspectos del riego deficitario si bien a nivel mundial (Rosadi *et al.*, 2007; Geerts y Raes, 2009; Nazeer y Alí, 2012) han sido objeto de amplios estudios, en el país han recibido muy poca atención (Cun y León, 1997; Martínez, 2013), y dado la

importancia de este manejo del riego en el uso eficiente del agua, sin lugar a dudas merece una mayor atención desde el punto de vista de la investigación y la práctica productiva.

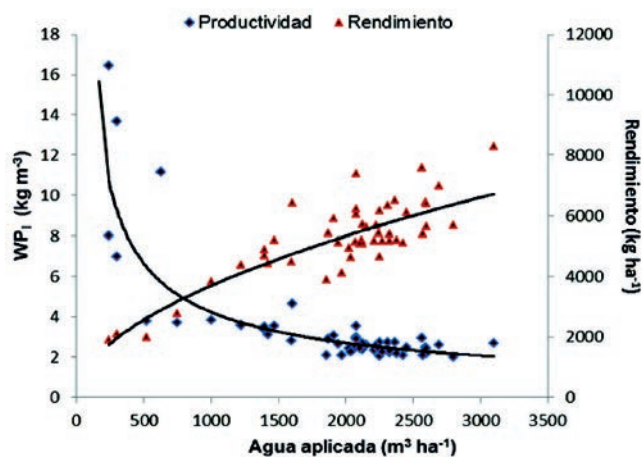


FIGURA 1. Relación entre la productividad del agua utilizada (WP_1), el rendimiento y la cantidad de agua aplicada por riego para el maíz.

La Figura 1 enfatiza el efecto enmascarador de la lluvia cuando se calcula la productividad del agua aplicada como riego basada en experimentos a campo abierto, así puede observarse en ella las mayores productividades (12-16 $kg \cdot m^{-3}$) con valores de riego que no alcanzarían a satisfacer el 50% de la evapotranspiración del cultivo, por ello estos altos valores de productividad en base al agua utilizada como riego no son un buen indicador del uso eficiente del agua por las plantas para las condiciones de la zona de estudio, donde se informan para los años analizados, porcentajes de lluvia aprovechable de hasta el 41%, supliendo ésta una parte importante de las necesidades de los cultivos agrícolas. Estos resultados sugieren utilizar en el cálculo de este indicador a la productividad del agua total donde está incluida la lluvia o a la productividad del agua consumida.

Para el cultivo de la papa, en la variedad Spunta regada con máquinas de pivote central, pero en condiciones no experimentales en la campaña 2010-2011 en la Empresa Agropecuaria Güira de Melena, se obtuvo que para el riego programado según la demanda evaporativa de la atmósfera la WP_1 fue de 4,53 $kg \cdot m^{-3}$, mientras que para el riego según los instructivos técnicos del MINAG (normas fijas a intervalos fijos) el valor fue inferior de 3,84 $kg \cdot m^{-3}$ (Aguilar, 2012).

Aunque este valor de productividad se encuentra muy por debajo de lo obtenido en los experimentos de campo (Tabla 4), está en el intervalo (4-7) propuesto por FAO. Según Aguilar (2012), aunque las normas netas promedio y totales, el intervalo y cantidad de riegos, no tienen una gran diferencia entre los dos métodos evaluados, se nota una disminución de más menos un 10% en el consumo de agua y un aumento del rendimiento agrícola en un 5%, lo que está relacionado directamente con la aplicación del riego en el momento oportuno.

Recientemente este indicador de productividad agronómica del agua fue utilizado por Chaterlán (2012) en la selección de los calendarios óptimos de riego para el ajo y la cebolla, logrando incrementos de la eficiencia del uso del agua para el riego agrícola de más del 20% como promedio para la zona estudiada.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo permitieron definir que cuando no se emplea el riego en las condiciones subtropicales de Cuba los rendimientos de los cultivos disminuyen en más del 50%.
- Los resultados enfatizan en la importancia de la época óptima de desarrollo del cultivo sobre la demanda de agua, el rendimiento y la posible eficacia del riego.
- De igual modo estos resultados definen que la demanda de agua de los cultivos varió en dependencia de la longitud del ciclo, el tipo de cultivo y la época de siembra.
- El uso del agua total o agua consumida como denominador en el cálculo de la productividad agronómica del agua en las condiciones de Cuba, permitirá un análisis más objetivo del uso eficiente del agua por el cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

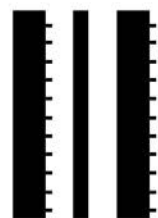
- ACOSTA, G. F. R.; FAVELA, M. L.; PARRA, R. A. "Crecimiento y rendimiento de cultivares de ajo en Delicias, Chihuahua, México", *Agricultura Técnica en México*, 34(2): 177-188, 2008.
- AGUILAR, S. E.: Precisión en la programación de riego para el cultivo de la papa, regada con máquinas de pivote central en la finca Girón de Güira de Melena, 56pp., Tesis (en opción al título de Especialista en Riego y Drenaje), Universidad de Ciego de Ávila, 2012.
- BOICET, T.; VERDECIA, J.; PUJOL, P.; ZAYAS, A.; BOUDET, A.D.: "Respuesta de producción del cultivo del pimiento (*Capsicum annum* L.) al riego deficitario en un período fuera de época", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(4): 75-78, 2001.
- CASTELLANOS, A. "Evapotranspiración real de la soya (*Glicine max*) sembrada en tres épocas del año", *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Riego y Drenaje*, 11(1): 73-86, 1988.
- CHATERLÁN, Y.: Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Caso de estudio: cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa, 156pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 2012.
- CUN, G. R.; LEÓN, F. M.: "Respuesta del tomate al riego deficitario controlado con la tecnología por goteo", *Revista Agrotecnia de Cuba*, 27 (2-3), mayo-diciembre: 158-163, 1997.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.: *Yield response to water*, 193pp., Irrigation and Drainage, Paper N° 33, FAO: Rome, Italy, 1986.
- FAO: *Descubrir el potencial del agua para la agricultura* Capítulo 3. Por qué la productividad del agua es importante para el desafío global del agua, Ed. Departamento de Desarrollo Sostenible, Roma, Italia, 2003.
- FERREIRA, T.C.; GONÇALVES, D.A.: "Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate", *Agricultural Water Management*, 90: 45-55, 2007.
- GEERTS, S.; RAES, D.: "Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas", *Agricultural Water Management*, 96: 1275-1284, 2009.
- GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P. J.; HERNÁNDEZ, B. O.; LÓPEZ, S. T.; CID, L. G.: "Base de datos sobre necesidades hídricas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 42-47, 2012.
- HERRERA, P. J.: *Régimen de riego de algunas gramíneas forrajeras de la región occidental de Cuba*, 100pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH), La Habana, Cuba, 1984.
- HERRERA, P. J.; PUJOL, R.; CID, G.; MÉNDEZ, M.; ALARCÓN, R.: "Problemas del drenaje agrícola en Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(1): 21-32, 2011.
- IMTIYAZ, M.; MGADLA, N.P.; CHEPETE, B; MANASE, S.K.: "Response of six vegetable crops to irrigation schedules", *Agricultural Water Management*, 42: 331-342, 2000.
- ISRAELSEN, O. W.; HANSEN, V. E.: *Principios y aplicaciones del riego*, 301pp., Ed. Reverté, Barcelona, España, 1964.
- LEÓN, M.; DERIVET, R.; LEÓN, M.: "Necesidades hídricas del pimiento (*Capsicum annum*) variedad Medalla de Oro, cultivado en periodo no óptimo", *Revista Agrotecnia de Cuba*, 23(3-4): 33-41, 1991.
- LIPINSKI, V. M.; GAVIOLA, S.: "Ajo nieve INTA, densidad de plantación y fertirrigación nitrogenada", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 35(2), 2003.
- LÓPEZ, T.; HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.; CID, G.; CHATERLÁN, Y.: "Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3): 1-6, 2009.
- MARTÍNEZ, V. R.: "Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2): 51-55, 2013.
- MONTERO, L.; CUN, R.; PÉREZ, J; RICARDO, M.P; HERRERA, J.: "Riego con aguas residuales a los cultivos del sorgo y maíz como alternativa para la producción de alimento animal", *Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(4): 44-48, 2009.
- MUÑOZ, L.; PRATTS, A.: "Caribe 71 una variedad de cebolla para clima tropical", *Cultivos Tropicales*, 25(3): 59-62, 2004.
- NAZEER, M.; ALÍ, H.: "Modeling the response of onion crop to deficit irrigation", *Journal of Agricultural Technology*, 8 (1): 393-402, 2012.
- ONDER, S.; CALISKAN, M.E.; ONDER, D.; CALISKAN, S.: "Different irrigation methods and water stress effects on potato yields and yield components", *Agricultural Water Management*, 73: 73-86, 2005.
- ORAMAS, G; TORRES, M.C.; DÍAZ, M.; SÁNCHEZ, M.; RODRÍGUEZ, E.: *Nueva colección de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para diferentes fines, producción de cultivos en condiciones tropicales*, 160pp., Ed. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", MINAG, La Habana, Cuba, 1998.
- PCC: *Resolución sobre los lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*, 78pp., Editora Política, La Habana, Cuba, 2012.

- PLAYAN, E.; MATEOS, L.: "Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity", *Agricultural Water Management*, 80: 100-116, 2006.
- PUJOLS, R.; HERRERA, J.; SOTOLONGO, B.; ESPINOSA, E.: *Resistencia del cultivo del sorgo al exceso de humedad*. 40pp, Ed. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba, 1985.
- RAMOS, C. G.: "Determinación de funciones de producción y comportamiento del cultivo de la cebolla bajo diferentes láminas de riego y dosis de fertilización fosforada en San Juan de Lagunillas, Mérida, Venezuela", *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 16: 38-51, 1999.
- REY, R.; CASTELLANOS, A.: *El riego de la soya*, Informe inédito, IIRD [s.n.], Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, Cuba. 1984.
- ROSADI, R. A. B.; AFANDI; SENGE, M.; ITO, K.; ADOMAKO, J. T.: "The Effect of Water Deficit in Typical Soil Types on the Yield and Water requirement of Soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) in Indonesia", *JARQ*, 41(1): 47-52, 2007.
- ROQUE, R. R.: *Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) al riego en suelos Ferralíticos Rojos del occidente de Cuba*, 100pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, La Habana, 1995.
- SÁNCHEZ, C.I.; CATALÁN, V.E.; GONZÁLEZ C.G.; ESTRADA, A.J.; GARCÍA, A.D.: "Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura", México, *Agric. Téc. Méx*, 32(3): 1-13, 2006.
- VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A.H.: "Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soil", *Soil Sci.*, 68: 75-94, 1949.
- VILAS BOAS, R.C.; PEREIRA, G.M.; DE SOUZA, R.J.; CONSONI, R.: "Desempenho de cultivares de cebola em função do manejo da irrigação por gotejamento", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(2):117-124, 2011.

Recibido: 13 de febrero de 2014.

Aprobado: 22 de julio de 2014.

Felicita González Robaina, Investigador y Prof. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana., Cuba, Teléfono: 691-2665, Correo electrónico: dptoambiente4@iagric.cu



GIAF