



IMPACTOS DE TECNOLOGÍAS AGRARIAS

ARTÍCULO ORIGINAL

Eficiencia en el uso del agua de riego en el cultivo de la papa (*solanum tuberosum* L.) en el occidente de Cuba

Water use efficient in potato crop (solanum tuberosum L.) in the western of Cuba

Dr.C. Reynaldo Roque Rodés¹, M.Sc. Felicita González Robaina¹, Dr.C. Julián Herrera Puebla¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Grupo AzCuba, Boyeros, La Habana, Cuba.

¹Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Se presentan los resultados de las funciones agua-rendimiento y la productividad agronómica del agua en el cultivo de la papa expresada en kilogramos por metro cúbico de agua total aplicada y de agua consumida (evapotranspiración). Se utilizó el diseño de la línea central de aspersores para obtener diferentes niveles de agua contra rendimiento. Los resultados demuestran que los rendimientos en tubérculos frescos de papa superiores a las 25 t·ha⁻¹ obtenidos tanto experimentalmente como en condiciones de producción garantizan valores de productividad del agua superiores a los 4 kg·m⁻³, las que se corresponden con los reportes de la FAO para regiones climáticas similares.

Palabras clave: funcion agua rendimiento, evapotranspiración.

ABSTRACT. This paper show the results about water-yield functions and the water productivity in potato crop express in kg·m⁻³ of water applied and water consumed (evapotranspiration). It was used the sprinkler line source design to obtain different water levels vs yield. The results prove that fresh potato tubers yields more than 25 t·ha⁻¹ obtained in experimental plots and production fields guarantee efficiencies of 4 kg·m⁻³ of water, this corresponding to FAO reports with similar climatic regions.

Keywords: crop water production function, evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del cultivo de la papa en Cuba es óptimo en los meses menos calurosos del año, debido a que el resto del tiempo las altas temperaturas (más de 25 °C) y elevada humedad relativa (más de 80%), limitan la tuberización de la planta y favorecen el desarrollo de plagas y enfermedades. Igualmente las exigencias edafológicas de este determinan que se escojan los suelos más productivos donde los Ferralíticos Rojos ocupan un lugar principal. Estas condiciones naturales obligan a la dependencia del riego como única alternativa para el logro de cosechas económicamente productivas.

En los últimos años de la pasada centuria y principios de la actual el Ministerio de la Agricultura (MINAG) realizó grandes inversiones para modernizar las tecnologías de riego existentes y adquirir máquinas de pivote central eléctricas con el objetivo de incrementar la eficiencia del riego y disminuir los grandes consumos de combustible diesel. En los estudios

y comparaciones para la definición de las inversiones en las tecnologías de riego se ha tomado al cultivo de la papa como guía o patrón dadas sus altas exigencias hídricas comparado con otras raíces, tubérculos y granos.

La disponibilidad de agua del país es limitada por lo que es imprescindible contar con índices de consumo expresados como agua utilizada/producción obtenida para una adecuada planificación y control del agua de riego. De las expresiones más utilizadas en la obtención de estos índices se destacan la función agua rendimiento y la productividad agronómica del agua.

La función agua-rendimiento permite definir los mecanismos fisiológicos y agronómicos que gobiernan las relaciones entre las entradas (agua) y las salidas del cultivo (rendimiento). La naturaleza de las funciones de producción está dada por las peculiaridades del cultivo, el tipo de suelo y de las tecnologías de producción empleada.

En los sistemas agrícolas la productividad agronómica del agua (**WP**) es definida como la relación entre la producción real del cultivo y el agua utilizada o consumida, expresada en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Molden *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2009).

La productividad agronómica del agua referida a la evapotranspiración (**WP_{ET}**) y al agua total aplicada (**WP_T**) muestran considerables variaciones entre cultivos. En la Tabla 1 se muestra un resumen de los rangos de rendimiento y productividad del agua referida a la evapotranspiración (**WP_{ET}**) para 14 cultivos publicados por Doorenbos y Kassam (1986) como resultado de la evaluación de numerosos experimentos en Europa, USA y el medio Oriente.

TABLA 1. Rendimientos y productividad del agua reportados por FAO para 14 cultivos bajo riego publicados en el Boletín # 33 de FAO, Doorenbos y Kassam (1986)

Cultivo	Rendimiento ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Productividad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Papa	15 - 25	4 - 7
Arroz	3,5 - 5	0,6 - 1
Banana	40 - 60	3,5 - 6
Col	25 - 35	12 - 20
Cebolla	35 - 45	8 - 10
Caña de azúcar	110 - 150	5 - 8
Frijol	1,5 - 2	0,3 - 0,6
Girasol	2,5 - 3,5	0,3 - 0,5
Maíz	6 - 9	0,8 - 1,6
Maní	3,5 - 4,5	0,8 - 0,8
Tabaco	2 - 2,5	0,4 - 0,6
Tomate	25 - 35	10 - 12
Sorgo	3,5 - 5	0,6 - 1
Cítricos	20 - 40	2 - 5

Estos autores plantean que unos buenos rendimientos en papa bajo riego para una plantación de 120 días en climas templados y subtropicales están en el orden de las 25 a 35 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de tubérculos frescos y en climas tropicales los rendimientos son de 15 a 25 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. La productividad del agua para el rendimiento cosechado con tubérculos que tienen de un 70 a un 75% de humedad es de 4 a 7 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de agua. Sin embargo, para las condiciones de suelo y clima de Cuba no existe un reporte de indicadores de productividad que permita evaluar si los rendimientos obtenidos están en correspondencia con los potenciales para cada cultivo bajo riego.

En el presente trabajo se exponen resultados experimentales y de la producción para determinar la función agua rendimiento y la productividad del agua en el cultivo de la papa en la región de la llanura Habana-Matanzas, a partir de los resultados experimentales de cuatro años sobre suelos del tipo Ferralíticos Rojos compactados.

MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en áreas de la Estación Experimental de Riego y Drenaje, localizada en el municipio Alquizar, coordenadas: Latitud 22° 46' " N y Longitud 82° 36' " W, al sur (12 km de la costa) de la provincia de La Habana, y a una altitud de seis metros sobre el nivel medio del mar. La

Estación se encuentra dentro de la región correspondiente a la llanura roja Habana-Matanzas, o llanura Cárcica Meridional de Colón y el suelo se clasifica como Ferralítico rojo, sub-tipo compactado, en la clasificación vigente en Cuba (Hernández *et al.*, 1999). El diseño experimental utilizado fue el de la línea central de aspersores, descrito por Hanks *et al.* (1976). Los tratamientos consistieron en la combinación de diferentes variedades de papa y con diferentes cantidades de agua aplicada en cada riego. El agua aplicada por los riegos se midió a través de pluviómetros plásticos del tipo caña colocados sobre soportes metálicos por encima del follaje de las plantas.

Para determinar el momento de riego se tuvo en cuenta los valores de la tensión del agua en el suelo a las profundidades de 20 cm y 40 cm en dependencia de la fase del cultivo. El valor de 30 cbrs fue el criterio tomado como valor límite de la tensión del agua en el suelo para aplicar el riego, teniendo en cuenta estudios anteriores que demuestran su validez como límite inferior óptimo de la reserva de humedad del suelo a mantener durante el ciclo de este cultivo (Roque, 1995).

Las variedades estudiadas fueron Spunta, Desirée, Baraka y Kondor, todas de procedencia holandesa. Se consideró el manejo del riego recomendado para el cultivo (IIRD, 1998), se aplicaron 350 m^3 en el riego antes de la plantación (mine del terreno) y un valor medio de norma neta de 170 m^3 en los riegos al cultivo.

A través del análisis de regresión se determinaron las posibles relaciones entre los valores de rendimiento (**R**) con el agua total aplicada (riego+lluvia) y la evapotranspiración (**ET**). En todos los casos analizados se tuvo en cuenta, para la selección del modelo de mejor ajuste, la significación de los coeficientes de regresión estimados (95% de confiabilidad), el error estándar de estimación, así como los coeficientes de determinación (**R²**). Este coeficiente describe la proporción de la varianza que es explicada por el modelo y varía entre 0 y 1, indicando mejores ajustes cuanto más próximo a 1 sea su valor.

Para el cálculo de la **WP** en este trabajo el numerador será expresado en términos de rendimiento del cultivo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que en el denominador se usará la evapotranspiración o el agua total aplicada por riego ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (Molden *et al.*, 2003). Por tanto se calculará productividad agronómica del agua utilizada o aplicada por riego (**WP_T**) y la productividad agronómica del agua evapotranspirada (**WP_{ET}**).

Se analizan y comparan los datos de rendimiento y producción (rendimiento) de tres campañas de papa (1998-1999, 1999-2000 y 2000-2001) consideradas como exitosas por los récords productivos y volúmenes de producción obtenidos. Estos resultados fueron obtenidos en áreas con similares suelos y clima a las condiciones de la Estación Experimental, localizadas en la llanura Habana-Matanzas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de regresión para la relación agua total aplicada y el rendimiento en el conjunto de todas las variedades, resultó en una ecuación lineal (Figura 1), donde la máxima cantidad de agua aplicada fue de 450 mm.

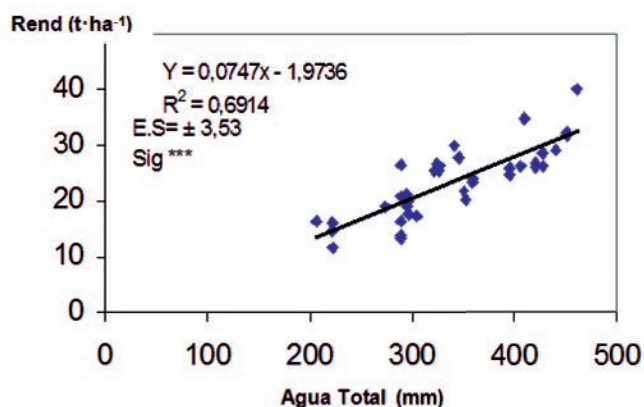


FIGURA 1. Función Agua total aplicada–Rendimiento (todas las variedades).

Es evidente que rendimientos superiores a las 20 t·ha⁻¹ están asociados a valores de agua aplicada superiores a los 275 mm, mientras que en el rango de 300 a 450 mm los rendimientos son del orden de 25 a 35 t·ha⁻¹, lo cual representa una productividad del agua utilizada (**WP₁**) de 8,3 y 7,7 kg·m⁻³, respectivamente.

La naturaleza lineal de la función, coincide con los resultados obtenidos por Shalhevet *et al.* (1983), quienes encontraron para la papa una relación lineal hasta valores aproximados de 500 mm de agua aplicada, a partir de este valor no hubo incremento en los rendimientos.

Ferreira y Gonçalves (2007) en clima seco y caliente de Portugal encontraron incrementos lineales del rendimiento

de la papa con el aumento del agua total aplicada entre 69 y 91 kg·ha⁻¹·mm⁻¹, valores similares a los informados para ambientes cálidos pero comparativamente bajos a los de zonas templadas (120-250 kg·ha⁻¹·mm⁻¹) y que estos autores explican fundamentalmente por las altas pérdidas por evaporación del suelo entre la plantación y emergencia que ocurren en esa región.

Los valores de **WP₁** para estas cuatro variedades estudiadas oscilaron entre 6,25 y 15,4 kg·m⁻³, siendo la variedad Spunta la que presentó los mayores valores de productividad de agua aplicada. Similares rangos de productividad (5,7-14,2 kg·m⁻³) fueron obtenidos por Erdem *et al.* (2006) para la variedad Satina en Turquía con valores de rendimiento entre 34 y 46 t·ha⁻¹, mientras que Fabeiro *et al.* (2001), Onder *et al.* (2005) y Kandil *et al.* (2011) obtuvieron valores de productividad entre 11 y 14 kg·m⁻³.

Al relacionar el rendimiento de las distintas variedades y la evapotranspiración, el resultado fue una función lineal (Tabla 2). Lo cual coincide con gran parte de la literatura consultada (Krogman y Torfason, 1973; Martin y Miller, 1983; Kanematsu, 1983; Kleinkopf, 1983; Darwish *et al.*, 2006; Ferreira y Gonçalves, 2007). Esta relación lineal permite definir la eficiencia del agua evapotranspirada de cada variedad así como los requerimientos mínimos de evapotranspiración total antes de que se alcance rendimiento alguno.

De los modelos lineales propuestos en la Tabla 2, se puede inferir que en las diferentes variedades estudiadas las eficiencias del agua consumida variaron entre 86,4 y 137 kg·ha⁻¹ para cada milímetro de incremento de agua consumida.

TABLA 2. Funciones evapotranspiración–rendimiento obtenidas experimentalmente

Variedad	Función	R2	Error estándar	Significación
Spunta	R= 0,0868 ET - 0,3614	0,78	± 3,023	***
Desirée	R= 0,0864 ET - 2,274	0,66	± 3,68	***
Baraka	R= 0,137 ET - 14,34	0,60	± 5,15	***
Kondor	R= 0,108 ET - 4,77	0,74	± 2,27	***
Todas las Variedades	R= 0,0968 ET - 2,94	0,78	± 2,99	***

En la Figura 2 se puede observar la relación evapotranspiración–rendimiento de todas las variedades como promedio, donde la ecuación lineal resultó altamente significativa (**R = 0,0968 ET - 2,94**) con un coeficiente de determinación de 0,78. Es de destacar que hasta el nivel de agua consumida no se apreció depresión en los rendimientos en las variedades estudiadas. Como promedio para estas variedades se requieren sobre los 30 mm de evapotranspiración total antes de que se alcance rendimiento alguno y pueden ser producidos 96,8 kg·ha⁻¹ de papa por cada milímetro de incremento de agua consumida.

Eficiencias de agua consumida muy similares a las mostradas en este trabajo para el cultivo de la papa fueron publicadas por Ferreira y Gonçalves (2007). Estos autores para la variedad Desirée en clima cálido y seco de Portugal con un ciclo de 140 días, encontraron una relación lineal entre el rendimiento y la evapotranspiración y que alrededor de 84 kg·ha⁻¹ de tubérculos frescos pueden ser producidos por cada milímetro de agua consumida. Oweis *et al.* (1988) en climas más secos que el de Cuba, como es el Valle de Jordan, obtuvieron 60 kg·ha⁻¹ por cada milímetro de agua consumida por encima de los 28,2 mm.

Por otra parte, el punto de equilibrio entre gastos e ingresos se obtuvo a partir de las 26,3 t·ha⁻¹ y a partir de un consumo o evapotranspiración de 282 mm, donde se obtiene la mayor productividad agronómica del agua evapotranspirada (**WP_{ET}**) con 9,3 kg m⁻³. Estos valores de productividad son muy superiores a los recomendados por FAO para la papa (Tabla 1).

Los valores de **WP_{ET}** para estas cuatro variedades estudiadas oscilaron entre 5,9 y 9,3 kg·m⁻³, similares resultados (5-9,5 kg·m⁻³) fueron obtenidos por Erdem *et al.* (2006) para el cultivar Satina en clima semiárido de Turquía.

Si consideramos el rendimiento máximo correspondiente a la **ET_{max}** obtenida en lisímetro con pleno abastecimiento de agua, puede afirmarse que cuando se consumen alrededor de 400 mm de agua, el cultivo está próximo a su máximo potencial de rendimiento (37 t·ha⁻¹) para nuestras condiciones edafoclimáticas.

Siguiendo este razonamiento, al aplicar los valores de la función se encuentra que los rendimientos mínimos económicamente aceptable para nuestro país (20 t·ha⁻¹), se alcanzan con valores de consumo superiores a los 225 mm de agua evapotranspirada. Este valor de rendimiento según la función de

la Figura 1 (agua total aplicada vs rendimiento), requiere de la aplicación de 3250 m³.ha⁻¹.

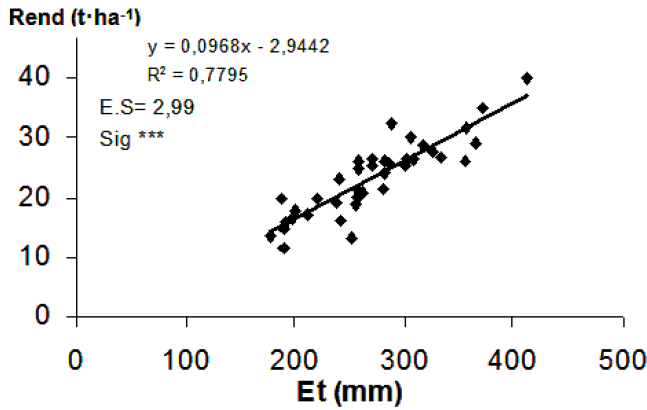


FIGURA 2. Función Evapotranspiración (ET)–Rendimiento (todas las variedades).

Para satisfacer una demanda del cultivo de 400 mm con los pivotes eléctricos significaría la aplicación de alrededor de 5000 m³.ha⁻¹ de agua bruta, considerando una eficiencia de aplicación del 80%.

Si tenemos en cuenta la eficiencia de aplicación de la técnica (70% como promedio para las máquinas de pivote central hidráulicas del tipo Fregat) (González *et al.*, 2001), para obtener un rendimiento cercano a las 30 t·ha⁻¹ (8850 qq cab⁻¹), es necesario disponer de un volumen de agua neto superior a los 5700 m³.

En la Figura 3, se comparan los rendimientos por provincias con el número de riego aplicado en la campaña 2000-2001, apreciándose una correspondencia entre la cantidad de riego aplicados y el rendimiento principalmente en las provincias occidentales Habana, Matanzas y Cienfuegos donde se emplean las técnicas de riego más eficientes (pivotes central con bajantes y boquillas), los suelos más productivos y las condiciones climáticas son más favorables para el cultivo.

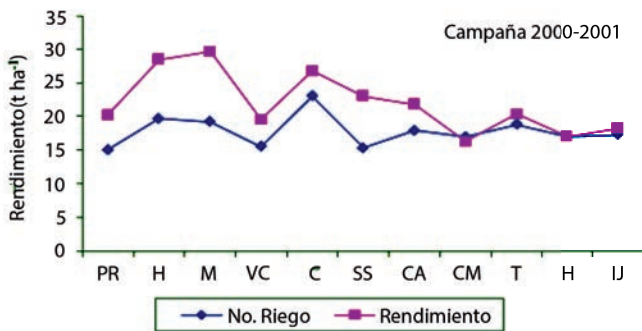
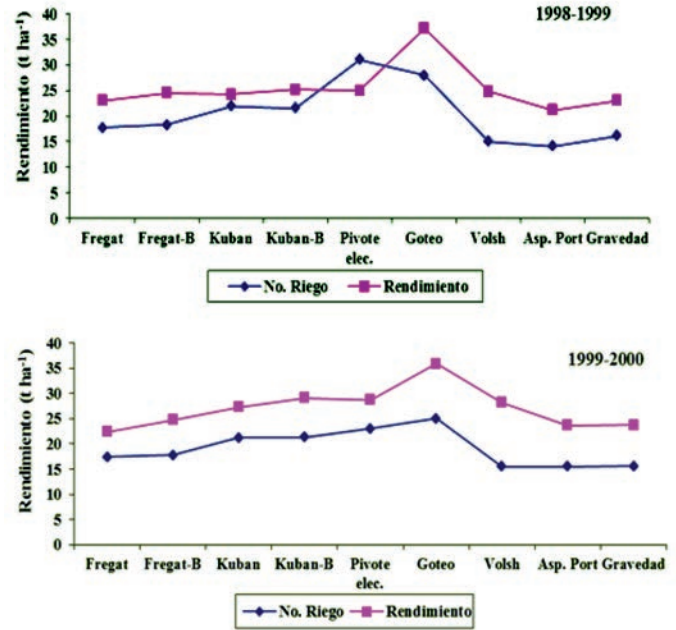


FIGURA 3. Comparación del número de riego vs rendimiento por provincia.

Al comparar el rendimiento contra el número de riego por técnicas utilizadas en las campañas de riego 1998–1999 y 1999–2000 (Figura 4) es evidente que las máquinas de riego por aspersión tienen una mayor respuesta en rendimiento que la aspersión portátil y la gravedad.

En la Figura 4, se observa como un número de riego excesivo no implica un elevado rendimiento como fue el

caso del pivote eléctrico en su primer año. Otras causas pueden incidir en los bajos rendimientos pero en los casos analizados fueron años donde se rompieron los récords productivos y de rendimiento en la mayoría de las unidades productivas. El goteo tuvo una alta respuesta en rendimiento pero su elevada inversión inicial y costos por reposición lo hacen inviable para su uso en el cultivo de la papa en las condiciones de Cuba.



Fregat-B: Máquina Fregat con bajantes y boquillas.
Kuban-B: Máquina Kuban con bajantes y boquillas.
FIGURA 4. Comparación del número de riego vs rendimiento por técnicas de riego.

CONCLUSIONES

- La respuesta del cultivo de la papa al agua total aplicada y consumida (evapotraspirada) fue lineal con coeficientes de correlación de 0,69 y 0,78 respectivamente para las cuatro variedades estudiadas.
- Las eficiencias del agua consumida en las variedades Spunta, Desirée, Baraka y Kondor variaron entre 86,4 y 137 kg·ha⁻¹ por cada milímetro de incremento de agua consumida.
- Cuando se aplicaron entre 18 y 22 riegos en la región occidental, se obtuvieron rendimientos entre las 20 y 25 t·ha⁻¹ que se corresponde con lo estimado internacionalmente para la ubicación geográfica de Cuba.
- Los valores de WP_1 para las variedades Spunta, Desirée, Baraka y Kondor oscilaron entre 6,25 y 15,4 kg·m⁻³, siendo la variedad Spunta la que presentó los mayores valores de productividad de agua aplicada. Mientras que los valores de WP_{ET} para estas cuatro variedades estudiadas oscilaron entre 5,9 y 9,3 kg·m⁻³.
- Con las técnicas de riego por aspersión con máquinas de pivote y uso de bajantes y boquillas se obtuvieron los mayores rendimientos en los años estudiados con valores entre las 18 y 25 t·ha⁻¹, solo superados por la técnica de goteo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DARWISH, T.M.; ATALLAH, T.W.; HAJHASAN, S.; HAIDAR, A.: "Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato", *Agricultural Water Management*, 85: 95-104, 2006.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.: *Yield response to water*. Irrigation and Drainage, Paper 33, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 193 pp., 1986.
- ERDEM, T.; ERDEM, Y.; ORTA, H.; OKURSOY, H.: "Water-yield relationships of potato under different irrigation methods and regimens", *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 63(3), Piracicaba, May/June, 2006.
- FABEIRO, C. C.; MARTIN DE SANTA OLALLA, M. F.; DE JUAN, J.A.: "Yield and size of deficit irrigated potatoes", *Agricultural Water Management*, 48: 255-266, 2001.
- 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.
- GONZÁLEZ, P.; STINCER, J.; ROQUE, R.: "Algunas consideraciones para el diseño, explotación y adquisición de máquinas de pivote central", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 59-66, 2001.
- HANKS, R.J.: "Line source sprinkler for continuous variable investigation for production studies", *Soil Science Society of America Journal*, 40 (3): 426-429, 1976.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.: *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, 64pp., Ed. AGRINFOR, Ministerio de la Agricultura, La Habana, 1999.
- IIRD: Informe técnico regimen de riego de la papa, 32pp., Ed. IRRD, La Habana, Cuba, 1998.
- KANDIL, A.A.; ATTIA, A.N.; BADAWI, M.A.; SHARIEF, A.E.; ABIDO, W.A.H.: "Effect of Water Stress and Fertilization with Inorganic Nitrogen and Organic Chicken Manure on Yield and Yield Components of Potato", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9): 997-1005, 2011.
- KANEMASU, E.T.: "Irrigation in the Great Plains", *Agricultural Water Management*, 7: 157-178, 1983.
- KLEINKOPF, G.E.: *Potato*. En *Crop-Water Relations*. New York: John Willy, pp.287-305, USA, 1983.
- KROGMAN, K.K.; TORFASON, W. E.: "Frequent low-volume on sprinkler irrigation on potatoes", *American Potato Journal*, 50(4): 133-137, 1973.
- MARTIN, M.W.; MILLER, D. E.: Cultivar reaction to gradually declining irrigation rates or interruptions irrigations. Washington: Proceeding Washington State Potato Conference and Trade Fair (25): 105-112, USA, 1986.
- MOLDEN, D.; MURRAY-RUST, H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN, I.: *A water productivity framework for understanding and action*. In: J.W. Kijne, R. Barker, and D. Molden (eds.) *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, CABI Publishing, pp. 1-18, Wallingford, UK. 2003.
- 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(1): 73-86, 2005.
- OWEIS, T. Y.; GHAWI, I. O.; SHATANAWI, M.R.: "Irrigation production function and crop coefficients of potato in the Jordan Valley", *Dis-sarat*, XV (10): 43-55, 1988.
- PEREIRA, L.S.; PAREDES, P.C.; CHOLPANKULOV, E.D.; INCHENKOVA, O.P.; TEODORO, P.R.; HORST, M.G.: "Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia", *Agricultural Water Management*, 96: 723-735, 2009.
- 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, Cuba, 1995.
- SHALHEVET, J.; SHIMSHI, D.; MEIR, T.: "Potato irrigation requirements in a hot climate using sprinkler and drip methods", *Agronomy Journal* (Madison) 75 (1): 13-16, 1983.

Recibido: 18 de octubre de 2012.

Aprobado: 5 de septiembre de 2013.

Reynaldo Roque Rodés, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CAI "Martínez Prieto" km 2 ½, Boyeros, La Habana, Cuba, Correo electrónico: roquerodes@inica.azcuba.cu