



Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana

Crop water production functions for 14 crops in south of Havana conditions

M.Sc. Felicita González Robaina, Dr.C. Julián Herrera Puebla, Dr.C. Teresa López Seijas, Dr.C. Greco Cid Lazo

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

RESUMEN. El estudio de las funciones agua rendimiento y su uso dentro de la planificación del uso del agua es una vía importante para trazar estrategias de manejo que contribuyan al incremento en la producción agrícola. Utilizando los datos de consumo de agua, agua aplicada por riego, precipitaciones y los rendimientos obtenidos en más de 100 experimentos de campo realizados fundamentalmente en suelo Ferralítico Rojo de la zona sur de La Habana y con ayuda de herramientas de análisis de regresión en este trabajo se estiman las funciones rendimientos versus agua aplicada para 14 cultivos agrícolas. Respuestas de tipo lineal fueron encontradas para los cultivos de frijol, sorgo, ajo, cebolla, boniato, malanga y piña al relacionar el rendimiento con el agua aplicada por riego. Para los cultivos soya, pimiento, tomate, papa, plátano y banano esta relación se explica mejor a través de funciones cuadráticas. Para el caso particular del maíz, se propone la función por partes con un punto de ruptura alrededor de los 185 mm como mejor opción para explicar la respuesta al riego. Las funciones obtenidas pueden servir como herramientas para alcanzar los rendimientos potenciales de los cultivos estudiados y en la toma de decisiones cuando el recurso agua está limitado.

Palabras clave: punto de ruptura, riego, planificación.

ABSTRACT. The study of the crop water production functions for planning water use is an important approach for making crop management strategies to increase yield. Using a data base in more than 100 field experiments carried out fundamentally in Red Ferralitic soils of south of Havana province, and regression tools, it was estimated the crop water production functions for 14 crops. A lineal tendency was obtained for bean, sorghum, garlic, onion, sweet potato, taro and pineapple. For the cultivations soybean, pepper, tomato, potato, banana and plantains this relationship is explained better through quadratic functions. For corn it was found a combination of linear functions with a breaking point in 185 mm of applied water as a best option for describes the irrigation water response. The developed functions can be used as a tool for taking decision in limited irrigation water conditions.

Keywords: breaking point, irrigation, planning

INTRODUCCIÓN

La utilización eficiente del agua en la agricultura sólo puede lograrse cuando la planificación, el proyecto y la operación de suministro de este recurso estén orientados a atender en cantidad y tiempo, incluyendo los períodos de escasez de agua, las necesidades de agua de un cultivo, imprescindibles para un crecimiento óptimo y altos rendimientos (Billib *et al.*; 2009).

Diversos autores han señalado la importancia que adquiere en la planificación y operación del riego el conocimiento de las funciones agua rendimiento (Ortega *et al.*, 1999; Molden *et al.*, 2003; Dehghanisani *et al.*, 2009). 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.

Si bien desde la década del 60 del pasado siglo se han realizado trabajos en Cuba para la definición de las necesidades de agua de los cultivos, en muy pocos de ellos se ha definido explícitamente la respuesta al agua de éstos y se han publicado pocas expresiones de la función agua rendimiento para las condiciones de suelos y clima del país.

En Cuba existe información experimental de más de 30 años sobre estudios de manejo del riego y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos agrícolas, fundamentalmente de la

región del sur de La Habana, la cual representa del área agrícola bajo riego de Cuba, la zona que posee la más importante infraestructura de regadío del país, con un área bajo riego de aproximadamente 43 920 ha (MINAG, 2010).

En esta región, donde predominan los suelos del agrupamiento Ferralítico (más del 70%), se cultiva gran parte de la producción de granos, viandas y hortalizas del país, por tanto, el manejo eficiente del agua en ella para obtener rendimientos agrícolas óptimos constituye una cuestión de vital importancia en la economía nacional (López, 2009).

Por todo lo antes expuesto el objetivo de este trabajo es obtener, utilizando la información de más de 100 experimentos de campo en suelo Ferralítico Rojo de la zona sur de La Habana, las funciones rendimientos versus agua aplicada por riego para 14 cultivos que son de gran interés agrícola para esta región.

MÉTODOS

Se utilizó la información sobre los consumos de agua, agua aplicada por riego, 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). Los cultivos utilizados para el análisis aparecen en las Tablas 1 y 2.

Del total de la información, el 84,6% corresponde a experimentos realizados en suelo Ferralítico Rojo (Hernández *et al.*, 1999) de la zona 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 las viandas, hortalizas y granos los principales cultivos. La caracterización edafo-climática de esta zona fueron realizadas por Cid *et al.* (2011) y Chaterlán *et al.* (2013) respectivamente.

A través del análisis de regresión se determinaron las posibles relaciones entre los valores de rendimiento (**R**) y el agua aplicada por riego (**I**). 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), los coeficientes de determinación (**R**²), la desviación estándar de los errores (**S**), así como el comportamiento de los residuos (**e_i**).

El coeficiente **R**² 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, mientras **S** muestra el grado de dispersión de los valores observados sobre la línea de regresión estimada.

El análisis del comportamiento de los residuos se realizó según lo descrito por Tranchefort (1974), el cual incluye la verificación de las siguientes premisas: los errores se distribuyen normal con media cero y varianza constante y son independientes entre sí. Las dos primeras se verificaron a través de la comprobación gráfica de que el 95% de los residuos estuvieron comprendidos en una banda cercana al valor central cero en un intervalo [-1,96 **S**; + 1,96 **S**] si el número de observaciones es grande; y en el intervalo [-**t S**; + **t S**] si el número de observaciones es inferior a 30 (**t**, valor de la *t* student para (**n-2**) grados de libertad,

n- número de observaciones).

La prueba estadística de Durbin-Watson (**DW**) se utilizó para comprobar que los residuos eran independientes entre sí (covarianza nula, $E(e_i, e_j)=0$, si $i \neq j$) y ésta se apoya en el cálculo del estadígrafo **d**, según la ecuación siguiente:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^{i=n} (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{i=n} e_i^2} \tag{1}$$

El valor de **d** varía entre 0 y 4. Su cercanía a 0 denota correlación positiva entre los residuos, mientras que valores cercanos a 4 correlación negativa. Cuando este valor oscila alrededor del 2 garantiza no rechazar la hipótesis de independencia de los errores (Tranchefort, 1974). Para el procesamiento de la información se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus versión 5 (2000), que además plantea que valores del estadígrafo **d** superiores a 1,4 significan que no hay autocorrelación significativa entre los residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La función agua–rendimiento cuando el agua es expresada como riego o riego más lluvia toma formas diferentes según el tipo de cultivo y la cantidad en que esta agua aplicada sea capaz de satisfacer plenamente las necesidades de consumo o sobrepasarlas. De este modo en la Tabla 1 se muestran respuestas de tipo lineal para los cultivos frijol, sorgo, ajo, cebolla, boniato, malanga y piña al relacionar el agua aplicada por riego con el rendimiento.

TABLA 1. Rangos de agua aplicada, modelos rendimiento-agua aplicada por riego, coeficiente de determinación (R²), desviación estándar de los errores (S) y prueba Durbin Watson (d) de los modelos propuestos para los cultivos estudiados

Cultivo	I (mm)	Modelo R=a I +b	R ²	S	d
Frijol	33–350	R = 0,0084 I	0,87	0,33	1,56
Sorgo	82-301	R = 0,0051 I + 2,89	0,73	0,31	2,54
Ajo	80-292	R=0,0378 I	0,94	0,66	1,68
Cebolla	100-370	R = 0,056 I - 0, 904	0,93	1,36	2,37
Boniato	0-200	R= 0,057 I + 13,94	0,69	3,07	1,61
Malanga	17–566	R= 0,0435 I + 10,26	0,71	5,5	2,4
Piña	0-1813	R= 0,0085 I + 85,8	0,98	1,09	2,16

a y b coeficientes de regresión, a-pendiente de la recta, b-intercepto, R-rendimiento real (t/ha); I-riego (mm).

En cada uno de los modelos seleccionados como de mejor ajuste, los coeficientes de regresión resultaron significativos a un nivel de confianza del 95%. Los modelos obtenidos fueron capaces de explicar en más del 70% la variabilidad total del rendimiento. Los valores de la desviación estándar de los errores no mostraron grandes dispersiones de los valores observados sobre la línea de regresión estimada. La malanga fue el de mayor dispersión, lo que pudiera explicarse por la menor cantidad de experimentos realizados para este cultivo. Se comprobó visualmente para cada modelo el comportamiento

de los residuos. Los valores del estadígrafo *d* en la prueba de Durbin Watson estuvieron por encima de 1,4 y próximos a 2 en todos los modelos propuestos, lo que significa que no hay autocorrelación entre los residuos, dando cumplimiento a la premisa de independencia de los errores.

Los suelos Ferralíticos Rojo en general presentan alta retención de humedad y buenas condiciones de drenaje interno (Cid *et al.* 2011), por tanto la naturaleza lineal obtenida para estos cultivos induce a pensar que existe un potencial para el aumento de los rendimientos sobre la base de un incremento de la cantidad de agua aplicada y de la eficiencia de la técnica empleada.

En el caso de la cebolla y la piña, cuyos rendimientos están por debajo de los reportados como potenciales internacionales por Doorenbos y Kassam (1986) se enfatiza la necesidad de un estudio más profundo de estos cultivos, dado la potencialidad de un rendimiento mayor.

Chaterlán (2012) en el caso específico de los cultivos de ajo y cebolla estimó, a través de la simulación del calendario óptimo de riego utilizando el modelo WINISAREG (Pereira *et al.*, 2003), la necesidad de incrementar en 66% y 24%, respectivamente, las normas totales de riego. Lo que según este autor tendría un efecto sobre el incremento de los rendimientos de 30% en el ajo y de 15% en la cebolla y una reducción de las pérdidas por percolación como promedio del 25%; todo lo cual permitiría un incremento de la productividad del agua aplicada de más de 20%.

Por lo general, la función rendimiento versus agua aplicada es lineal solo cuando se considera en un rango de riego deficitario, donde toda el agua aplicada es usada como ET y puede existir entonces similitud con la función rendimiento versus ET (Al-Jamal *et al.*, 2000).

En la Figura 1 se muestra la respuesta lineal al riego del frijol y se puede comprobar su semejanza con la función que describe la relación entre el rendimiento y la evapotranspiración obtenida en un trabajo anterior (González *et al.*, 2011) para este cultivo ($R = 0,0071$ ET, $R^2=0,86$). La máxima cantidad

de agua aplicada mediante el riego fue de 350 mm, un 6,3 % menor que el valor de la evapotranspiración total máxima como consecuencia del aporte de la lluvia; a partir de este valor no hubo incremento en los rendimientos.

Como se observa en la Figura 1 los rendimientos por encima de 3 t ha⁻¹ están asociados a valores de agua aplicada cercanos a los 370 mm, lo cual no fue considerado en ninguno de los tratamientos de riego preestablecido. El frijol es un cultivo que para estas condiciones muestra una alta sensibilidad al exceso de humedad, puede perder hasta 20% de su rendimiento con solo 24 horas y hasta 30% con 48 horas de inundación (Herrera *et al.*, 2011); su productividad dependerá entonces en gran medida del buen manejo que se haga del riego.

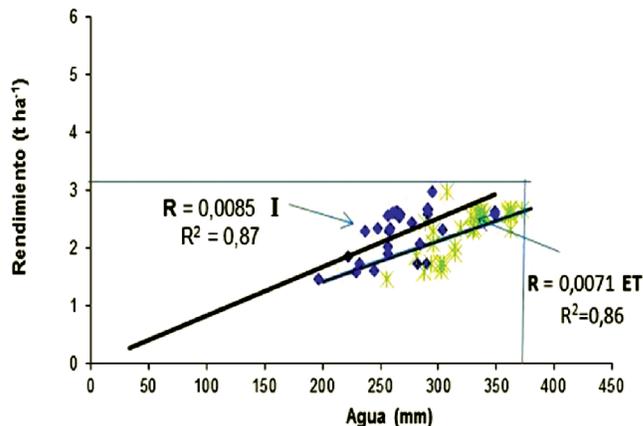


FIGURA 1. Comparación entre las funciones rendimiento/agua aplicada (I) y rendimiento/evapotranspiración total (ET) para el frijol.

Los trabajos de Hexem y Heady (1978), Al-Jamal *et al.* (2000), Martín de Santa Olalla y Valero (1993) y Kumar *et al.* (2007) señalan al polinomio de segundo orden como el de mejor ajuste para las relaciones rendimiento/agua aplicada por riego.

Para los cultivos maíz, soya, pimiento, tomate, papa, plátano y banano la relación entre rendimiento y agua aplicada como riego se explicó mejor a través de funciones cuadráticas (Tabla 2).

TABLA 2. Rangos de agua aplicada, modelos no lineales rendimiento-agua aplicada por riego, coeficiente de determinación (R²), desviación estándar de los errores (S) y prueba Durbin Watson (d) de los modelos propuestos para los cultivos estudiados en las diferentes épocas

Cultivos	I (mm)	Modelo R= c I ² + d I + e	R ²	S	d
Maíz invierno	20-310	R= -0,00007 I ² + 0,042 I	0,64	0,77	1,46
Maíz primavera	180-230	R= -0,000098 I ² + 0,046 I	0,79	0,44	1,52
Soya invierno	30-260	R= -0,000067 I ² + 0,024 I	0,96	0,39	1,87
Soya primavera	25-135	R= -0,00047 I ² + 0,078 I	0,74	1,01	1,44
Soya verano	15-160	R= -0,00032 I ² + 0,067 I	0,82	0,83	1,56
Pimiento (noviembre-abril)	55-422,4	R= -0,00015 I ² + 0,12 I - 2,5	0,94	1,6	2,83
Pimiento (marzo- mayo)	66-228,2	R= -0,00028 I ² + 0,16 I	0,88	1,1	1,44
Tomate	17,5-290	R=-0,0008 I ² + 0,45 I	0,96	1,83	1,97
Papa	70-378,2	R=-0,00033 I ² + 0,191 I	0,78	4,07	1,65
Plátano	0-1260	R=-0,000035 I ² + 0,058 I	0,84	5,9	1,93
Banano	90 - 724	R=-0,00016 I ² + 0,16 I	0,95	2,02	1,45

c, d y e- coeficientes de regresión, R- rendimiento real (t/ha), I-riego (mm)

El análisis estadístico muestra coeficientes de determinación superiores a 0,74, con excepción del maíz de invierno que solo alcanzó 0,64. La desviación estándar de los errores mostró mayor dispersión en la soya de primavera, papa y plátano. Los valores del estadígrafo *d* en la prueba de Durbin Watson fueron superiores a 1,4 en todos los modelos estimados, lo que indica que no hay autocorrelación entre los residuos, por lo tanto se acepta la hipótesis de independencia de los errores.

La respuesta no lineal en estos cultivos indica que no toda el agua fue usada por el cultivo, y una parte de la misma se pierde por drenaje libre (Hexem y Heady, 1978) (Figura 2). En estos casos, que se reportan funciones cuadráticas, es posible estimar los niveles óptimos de riego para maximizar los rendimientos.

Tal es el caso de la papa, donde la función cuadrática $R = -0,00033 I^2 + 0,2 I$ fue la de mejor ajuste, con valores óptimos de riego y rendimiento de 298,5 mm y 30,3 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 2). Esta función cuadrática, para el caso específico de este cultivo en las condiciones de Cuba, refleja que la necesidad de mantener una temperatura adecuada

en el suelo obliga a aplicar más agua sin que se traduzca en un incremento en los rendimientos.

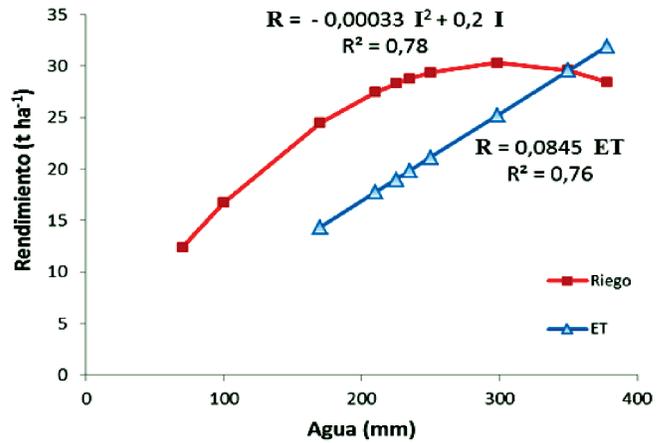


FIGURA 2. Comparación entre las funciones rendimiento/agua aplicada (I) y rendimiento/evapotranspiración total (ET) para la papa.

Por otra parte, como se muestra en la Tabla 2, la relación entre el rendimiento de grano y el agua aplicada (I) para el maíz cultivado en invierno podría explicarse a través de un polinomio de segundo orden, pero con un coeficiente de determinación bajo. Sin embargo, como puede observarse en la Figura 3, hasta los 185 mm el rendimiento crece linealmente con el aumento de la cantidad de agua aplicada mediante el riego, a partir de este valor el aumento del rendimiento tiende a oscilar entre 4 y 7,6 t ha⁻¹ sin llegar a existir un decrecimiento importante que permita establecer los valores óptimos de agua y rendimiento.

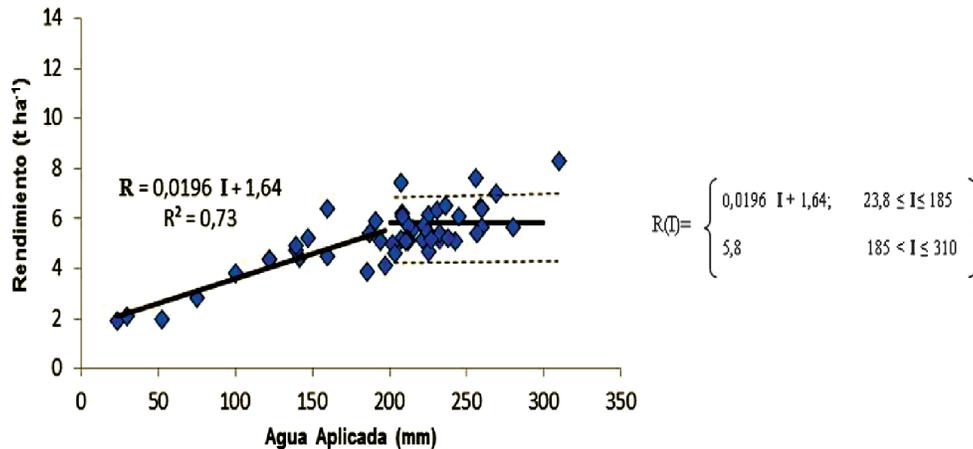


FIGURA 3. Relación entre el rendimiento y el agua aplicada por riego (I) para el maíz.

Esto indica la posibilidad de explicar mejor este comportamiento a través de una función por partes con un punto de ruptura alrededor de los 185 mm, que por un polinomio de segundo orden (Figura 3); tal y como se ha señalado por Oosterbaan *et al.* (1990) y Geerts y Raes (2009), que destacan la posibilidad de usar estas funciones para una mejor descripción de las funciones de producción.

En la Figura 4 se resume una comparación entre las funciones rendimiento versus agua aplicada para maíz, soya, sorgo, cebolla, ajo y pimiento. Los resultados experimentales obtenidos de funciones rendimiento versus agua aplicada conducen a una gama amplia de funciones con trazados gráficos muy diferentes, que dependieron en gran medida de las cantidades de agua aplicada en cada experimentación.

Si los aportes de agua van desde una cantidad moderada

hasta aportes excesivos, parece posible explicar la correlación por una curva sigmoideal que presenta las tres fases de consumo: moderado, óptimo y excesivo; en caso contrario, es imposible obtener valores óptimos (Farré y Faci, 2006).

Musick y Dusek (1971) obtuvieron una relación sigmoideal entre la producción de grano y el agua aplicada por riego para el maíz en ambientes áridos, donde los consumos de agua son elevados. Según estos autores, a medida que aumenta la aplicación de agua por riego, el suplemento de cosecha que se obtiene por cada unidad de agua disminuye, hasta llegar a un punto en que todo incremento de la aplicación no se traduce en suplemento alguno de la cosecha, e incluso puede producir una disminución de la producción y no cubrir el gasto adicional en agua.

Stewart y Hagan (1973) afirmaron que si la eficiencia del riego fuera del 100% (el volumen de agua de riego se utiliza-

ría totalmente en el proceso de ET), las funciones rendimiento versus ET y rendimiento versus agua aplicada por riego serían idénticas. La forma convexa de la función rendimiento versus agua aplicada pone de manifiesto la disminución de la eficiencia del riego a medida que se aumenta las aplicaciones de agua.

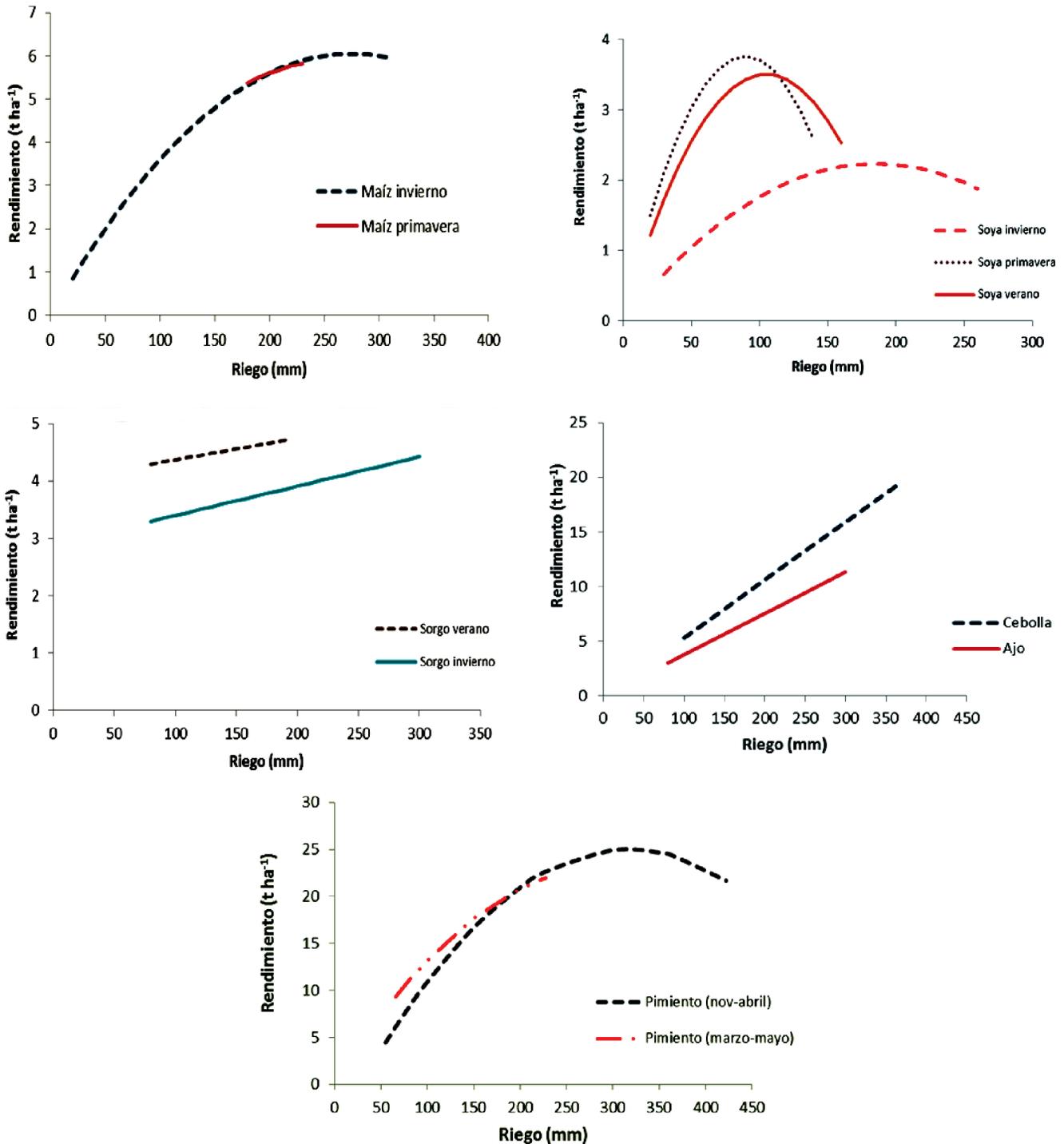


FIGURA 4. Comparación entre diferentes funciones rendimiento versus agua aplicada de maíz, soya, sorgo, cebolla, ajo y pimienta en las diferentes épocas analizadas.

Kumar *et al.* (2007) presentaron al polinomio de segundo orden como la mejor opción para describir la relación entre el agua aplicada por riego y el rendimiento de la cebolla cultivada en suelo arenoso con condiciones semiáridas en la India en dos años de investigación. Sin

embargo, el efecto lineal en las ecuaciones obtenidas siempre fue positivo, mientras que el efecto cuadrático fue negativo. Estos resultados indican que el incremento en el rendimiento de la cebolla no fue proporcional al incremento de la cantidad de agua.

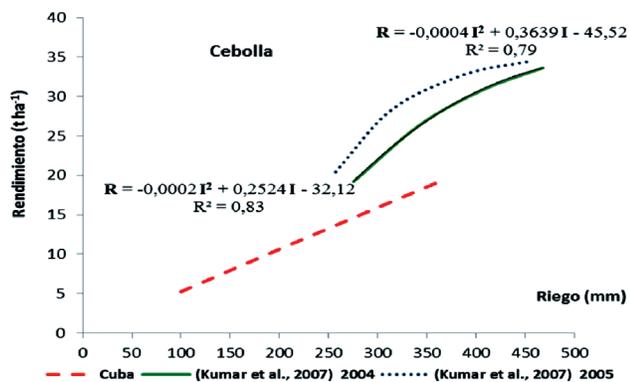


FIGURA 5. Comparación de los resultados obtenidos en Cuba con los de Kumar *et al.* (2007) para la cebolla cultivado en los años 2004 y 2005 en regiones semiáridas en la India.

Al comparar los resultados de estos autores con la relación lineal obtenida para la cebolla en Cuba en este trabajo (Figura 5), se puede apreciar, primeramente, que el rango de agua aplicada por riego es inferior (100-370 mm), lo que está asociado fundamentalmente a los mayores aportes de las precipitaciones al balance en las condiciones de Cuba, mientras que los rendimientos están por debajo de los valores que deben alcanzarse bajo riego (35-45 tha^{-1}) según lo publicado por Doorenbos y Kassam (1986).

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, 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.

En Cuba las variedades estudiadas son originales de clima templado y aunque se cultivan en la época seca donde dismi-

nuyen 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 una disminución en la eficiencia de utilización del agua por esta legumbre.

No obstante, el empleo de otras herramientas como los modelos de simulación matemática permite abarcar un rango mayor de agua aplicada y obtener mayor claridad de su efecto sobre el rendimiento para la definición de sus valores óptimos, cuestión que se dificulta en la experimentación agrícola, donde por lo general no se aplican riegos superiores a los potenciales o críticos por la rentabilidad del cultivo (López *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

- Los resultados experimentales obtenidos de funciones rendimiento versus agua aplicada por riego conducen a una gama amplia de funciones con trazados gráficos muy diferentes, la respuesta dependerá en gran medida de la amplitud de los rangos del agua aplicada.
- Para las condiciones de estudio las relaciones de mejor ajuste entre el rendimiento y el agua aplicada como riego responden a funciones de tipo lineal para los cultivos frijol, sorgo, ajo, cebolla, boniato, malanga y piña con valores del coeficiente de determinación entre 0,69 y 0,98.
- Para los cultivos soya, pimiento, tomate, papa, plátano y banano la relación entre rendimiento y agua aplicada como riego se expresa mejor a través de funciones cuadráticas, capaces de explicar en más del 78% la variabilidad total del rendimiento.
- Para el maíz fue posible explicar mejor la relación rendimiento/agua aplicada como riego a través de una función por partes con un punto de ruptura alrededor de los 185 mm, que por un polinomio de segundo orden.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-JAMAL, M.S.; SAMMIS, T.W.; BALL, S.; SMEAL, D.: "Computing the crop water production function for onion", *Agricultural Water Management*, 46: 29-41, 2000.
2. BILLIB, M; BARDOWICKS, K.; ARUMÍ, J.L.: "Integrated water resources management for sustainable irrigation at the basin scale". *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(Suppl.1): 69-80, December, 2009.
3. CHATERLAN, 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*. 101pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, 2012.
4. CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; J. HERRERA Y RUÍZ, M. E.: "Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, 2011.
5. DEGHANISANI, H.; NAKHJAVANI, M.; TAHIRI, A. Z.; ANYOJI, H.: "Assessment of wheat and maize water productivities and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions", *Irrig. And Drain*, 58: 105-115, 2009.
6. DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.: *Yield response to water*. Irrigation and Drainage Paper N° 33. FAO: Rome; 193 pp, 1986.
7. FARRÉ, I.; FACI, J.M.: "Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment", *Agr. Water Manage*, 83: 135-143, 2006.
8. GEERTS, S. Y RAES, D.: "Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas", *Agricultural Water Management*, 96: 1275-1284, 2009.
9. 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.
10. GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T. y CID, L.G.: "Respuesta de los cultivos al déficit hídrico", *Ingeniería Agrícola*, 1(1): 19-23, 2011.

11. HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D. y L. RIVERO: *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, 64pp., Ed. AGRINFOR, Ministerio de la Agricultura, La Habana, 1999.
12. HERRERA, P. J.; PUJOL, R.; CID, G.; MÉNDEZ, M.; ALARCÓN, R.: "Problemas del drenaje agrícola en Cuba", *Ingeniería Agrícola*, 1(1): 21-32, 2011.
13. HEXEM, R. W; HEADY, E. O.: *Water production functions for irrigation agricultura*. State University Press: Ames, Iowa, 1978.
14. KUMAR, S.; IMTIYAZ, M.; KUMAR, A; SINGH, R.: "Response of onion (*Allium cepa L.*) to different levels of irrigation water", *Agricultural Water Management*, 89: 161-166, 2007.
15. LÓPEZ, T.; HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.; CID, G.; Y.CHATERLÁN: "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.
16. LÓPEZ, T.; HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.; CID, G.: "Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica", *Ingeniería Agrícola*, 1(1): 24-29, 2011.
17. MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. Y J. A. VALERO. En: *Agronomía del riego*. Capítulo VII. Las funciones de producción versus agua, pp. 448-519. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España, 1993.
18. MINAG. Balance de uso del agua para el riego. Informe anual, La Habana, 2010.
19. 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, Wallingford, UK. pp. 1-18, 2003.
20. MUÑOZ, L.; A. PRATTS.: "Caribe 71 una variedad de cebolla para clima tropical". *Cultivos Tropicales*, 25(3): 59-62, 2004.
21. MUSICK, J.T.; DUSEK, D.A.: "Grain sorghum response to number, timing and size of irrigations in the Southern High Plains", *Trans. of the ASAE*, 14: 401-410, 1971.
22. OOSTERBAAN, R.J.; SHARMA, D.P.; SINGH, K.N.; K.V.G.K., RAO.: *Crop production and soil salinity: evaluation of field data from India by segmented linear regression with breakpoint, [en línea]*. *Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions, Vol. 3, Session V, pp.373-382, Cairo, Egipto. 1990. Disponible en: <http://www.waterlog.info> [Consulta: 20 de agosto 2012]*.
23. ORTEGA, J. F.; DE JUAN, J.A.; TARJUELO, J.M.; MERINO, R. y VALIENTE M.: "Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: Aplicación a la agricultura de regadío de la provincia de Toledo", *Invest. Agr.: Prot. Veg.*, 14 (3): 325-354. 1999.
24. PEREIRA, L.S; TEODORO, P.R.; RODRIGUES, P.N; TEIXEIRA J.L.: *Irrigation Scheduling Simulation: the Model ISAREG*. In: Rossi, G, Cancelliere, A, Pereira, LS, Oweis, T, Shatanawi, M, Zairi, A (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180, 2003.
25. 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.
26. STATGRAPHICS Plus versión 5.0, 2000.
27. STEWART, J. I; HAGAN, R. M.: "Functions to predict optimal irrigation programs", *Proc. Am. Soc. Civ. Eng., Journal Irrig. and Drain Div.*, 99: 241-439, 1973.
28. TRANCHEFORT, J. *La Régression application à l'agronomie*. Bureau d'Études Statistiques de l'I.T.C.F. Paris, Décembre, 1974.

Recibido: 26 de noviembre 2012.

Aprobado: 14 de junio de 2013.

Felicita González Robaina, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGric), Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) (7) 645-1731 y 645-1353, Correo electrónico: felicita@iagric.cu

*Todos nuestros servicios
a su disposición*

BIBLIOTECA ANTONIO MACHADO RUIZ

UNIVERSIDAD DE GRANMA (UGR)