



Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias

ISSN: 1010-2760

paneque@isch.edu.cu

Universidad Agraria de La Habana Fructuoso

Rodríguez Pérez

Cuba

González Robaina, Felicita; Herrera Puebla, Julián; López Seijas, Teresa
Factor de respuesta al agua de cultivos de interés agrícola en suelo Ferralítico Rojo del sur de La
Habana

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 18, núm. 3, 2009, pp. 7-13

Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215944002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Factor de respuesta al agua de cultivos de interés agrícola en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana

Water response factor of some crops planted in ferralitic soils at south of Havana

Felicita González Robaina¹, Julián Herrera Puebla² y Teresa López Seijas²

RESUMEN. El mundo se enfrenta a un reto superior en este siglo, producir mas alimento con menos agua; esta meta será posible solamente si se desarrollan estrategias que permitan un uso más eficiente del agua en la agricultura. Una de las estrategias debe ser el incremento de la productividad del agua. Utilizando una base de datos de más de 30 años de experimentación agrícola conducidos en suelo Ferralítico Rojo compactado en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje y con ayuda de herramientas de análisis de regresión se estimó la productividad del agua (WP) y el factor de respuesta del rendimiento (Kr) para los cultivos maíz, soya y garbanzo. Se encontraron rangos de productividad del agua más amplios en comparación con los reportados por la FAO y relaciones lineales entre la evapotranspiración y el rendimiento de los cultivos. El rango de WP (0,9-2,5 kg/m³) para el maíz y (0,4-1,2 kg/m³) para la soya indican una mayor oportunidad de aumentar la producción agrícola con menos agua. Para el garbanzo la WP se ubica entre 0,25-0,71 kg/m³. Por cada metro cubico de agua utilizado el maíz produce como promedio 1,61 kg, mientras que la soya 0,89 kg y el garbanzo 0,38 kg. El maíz y la soya mostraron similar respuesta al déficit hídrico; la pérdida relativa de rendimiento es más que proporcional al déficit hídrico (Kr>1,2). La aplicación de riego deficitario en el garbanzo (Kr>1,08) será más productivo que para el maíz y la soya, y puede ser atribuido a la mayor sensibilidad del maíz al déficit de agua.

Palabras clave: productividad del agua, maíz, soya, garbanzo, déficit hídrico.

ABSTRACT. World is facing a higher challenge, guarantee food security, this goal is only possible if it is developed strategies that permit a more efficient agriculture water use, principally increasing water productivity. Using a data base of more than 30 years of experimental results in crop's water requirements at the Irrigation and Drainage Research Station located in Alquizar at south of Havana Province (red ferralitic soils), it was estimated the crop water productivity (WP) and the crop water yield response factor (Kr) for maize, soybean and chickpea. It was found a linear relationship between the crops yield (grain) and the crop evapotranspiration. WP values for maize (0,9-2,5 kg/m³) and Soybean (0,4-1,2 kg/m³) indicated a best opportunities in these crops to increase the agriculture production with less water. In chickpea WP values varied between 0,25 to 0,71 kg/m³. Every cubic meter of water used in maize yield 1,61 kg while in soybean and chickpea it was obtained 0,89 and 0,38 respectively; soybean and maize showed similar response to water deficit and the relative yield losses was proportional (Kr>1,2), deficit irrigation practices in chickpea (Kr>1,08) would be more productive than in maize and soybean, possible because the high sensibility to water deficit in these crops.

Keywords: water productivity, maize, soybean, chickpea, deficit irrigation.

INTRODUCCIÓN

La reducción de la disponibilidad de agua, cada día más acelerado, el incremento de la población y el aumento de las necesidades en otros sectores de la producción imponen una utilización más eficiente de este elemento. El mundo se enfrenta a un nuevo reto de producir más alimento con menos agua. Una de las estrategias más importantes en este sentido es

el incremento de la productividad del agua en la agricultura a través del estudio de las funciones agua rendimiento (Molden *et al.*, 2003; Dehghanisanij *et al.*, 2009)

Las diferentes formas que puede tomar la curva de la función agua/rendimiento en dependencia de la forma en que se exprese el agua (ET, riego, agua total) ha sido discutida por Santa Olalla (1993) quien realizó una completa revisión sobre el tema y también llegó a la conclusión de que la forma de la

Recibido 20/01/09, aprobado 22/07/09, trabajo 34/09, investigación.

¹MSc. Inv., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), Apdo. Postal 6090; La Habana, Cuba, E-✉: felicita@iird.cu

²Dr.C. Inv. Tit., IIRD, La Habana, Cuba.

función y la pendiente de la misma son únicas para cada cultivo y variedad y no se pueden aplicar a otras áreas distintas de aquellas en que se han obtenido. Este autor, al igual que Stewart *et al.* (1977) y Doorenbos y Kassam (1979), plantean que la expresión de estos datos en forma relativa permite un análisis más general del problema, la transferibilidad de la funciones de producción en distintas áreas y comparar diferentes cultivos entre ellos.

Como ha sido ya demostrado ampliamente en trabajos experimentales (Puech y Hernández, 1973; Puech *et al.*, 1976) existen, en las condiciones agronómicas de cultivo al aire libre, relaciones generalmente lineales y relativamente estables, que ligan la producción total (R) con la evapotranspiración relativa (ET/ET_m) de una especie. Con ayuda de estas relaciones se puede estimar el potencial de producción para una especie o variedad dada a partir de datos experimentales de cultivos obtenidos durante varios años, así como calcular la productividad agronómica del agua, un elemento clave en el planeamiento del suministro de agua a los cultivos.

Doorenbos y Kassam (1979) proponen utilizar la relación entre el estrés hídrico y la pérdida de rendimiento como función de producción agua rendimiento (CWPF). Esta relación según Kipkorir *et al.* (2002) es siempre lineal con una pendiente llamada factor de respuesta del rendimiento (Kr). Los valores de Kr reportados por estos autores fueron obtenidos de la evaluación de numerosos experimentos en Europa, USA y el medio Oriente y no incluyen resultados más cercanos a nuestra área geográfica.

Dada la importancia tanto de la función agua rendimiento como del factor de respuesta del cultivo en el planeamiento, diseño y operación del suministro de agua a los cultivos, lo que cobra actualidad y gana en importancia en un horizonte futuro de escasez de agua para todos los usos y la disponibilidad de datos para este cálculo que existe en el país, resulta importante y necesario la puesta al día de esta información en una forma capaz de cumplir las expectativas de los usuarios de la misma.

Este trabajo está basado en la obtención de la productividad del agua y del factor de respuesta del rendimiento (Kr) en maíz, soya y garbanzo, los cuales fueron objeto de investiga-

ción durante más de 30 años de trabajo del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó una base de datos de experimentos agrícolas conducidos en suelo Ferralítico Rojo compactado (Instituto de Suelos, 1996) (Rhodic Ferralsol según la clasificación FAO/UNESCO) en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), localizada en el sur de La Habana (22°47' N, 82° 36' W).

El suelo de la estación se caracteriza por la homogeneidad del perfil en cuanto a sus características texturales y su funcionamiento hídrico. Por su contenido de arcilla el suelo se clasifica como arcilloso (Cid, 1995).

El clima de la zona (Chaterlán *et al.*, 2007) está influenciado principalmente por las lluvias y su régimen de distribución dentro del año; con un valor de lluvia media anual de 1 432 mm, de los cuales el 78% (1 116,7 mm) corresponden al período lluvioso (mayo-octubre) y los 315,3 mm restantes al período seco (nov-abril).

Otros factores como la temperatura y sus variaciones no ejercen mayor influencia en la caracterización climática del territorio en estudio ya que éstas no presentan grandes diferencias durante el año. La curva de la evapotranspiración potencial mantiene una tendencia similar a la evaporación. En los meses de seca es relativamente baja pero aumenta rápidamente en el inicio de la época de lluvia. El promedio anual es de 1 682,7 mm y los máximos y mínimos corresponden a los meses de abril y mayo (175,2 y 181,0 mm) y diciembre y enero (93,9 y 98,0 mm) respectivamente.

Una descripción detallada de los procedimientos experimentales para la estimación de los consumos de agua aparecen en los trabajos publicados por los autores de los cuales se utilizaron los datos (Tabla 1 y Tzenova, 1976).

Se procesaron los datos acorde con la metodología propuesta por Doorenbos y Kassam (1979) y se realizaron los análisis de correlación y regresión correspondientes.

TABLA 1. Resumen de la información de los experimentos de campos utilizados

Cultivo	Años de estudios	Época	Tratamientos de riego	Autor
Maíz (<i>Zea Mays</i>)	1980-1988	Invierno Verano	85% Cc 75% Cc 85% germinación-espigamiento, 75% resto 75% germinación-espigamiento, 85% resto Secano a partir de la germinación	Giralt T E. (1984) Sánchez, A. M. (1988)
Soya (<i>Glycine max</i>)	1981-1984	Invierno Primavera Verano	42% agua aprovechable 70% agua aprovechable secano	Castellanos A. <i>et.al.</i> (1984) Castellanos A. (1988)
Garbanzo	1998-2000	Invierno	Riego cada 3días Riego cada 7días Riego cada 15días Riego cada 21días	Giralt T E. (2000)

Productividad del agua

Mediante la expresión (1) se estimó el potencial de producción para cada cultivo estudiado, a partir de datos experimentales obtenidos durante varios años.

$$R = a(ET/ETm) \pm b \quad (1)$$

Donde:

- R-rendimiento o producción total (t/ha);
- ET -evapotranspiración (ET) (mm/día);
- ETm -evapotranspiración máxima (mm/día);
- a y b -coeficientes de regresión.

Cuando las condiciones están cerca del óptimo ($ET/ETm=1$) la producción es: $R=a \pm b$. En los sistemas agrícolas la productividad agronómica del agua evapotranspirada (WP) se define como la cosecha producida por unidad de agua consumida por el cultivo (t/m^3 o kg/m^3) y varía con la demanda climática (traducida por la ETm) y puede aumentar, disminuir o permanecer constante en un mismo año en dependencia de que se riegue o no el tipo de cultivo (Santa Olalla, 1993). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento del cultivo (kg/ha), mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración o el agua aplicada entre otros. En este trabajo usaremos la siguiente definición de WP (Power, 1983):

$$WP\left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{R(kg)}{ET\left(\frac{m^3}{m^2}\right)} \quad (2)$$

Dicha relación es susceptible de variar con los años climáticos, según el valor de la evapotranspiración que se obtenga; la eficiencia disminuye en aquellos años de fuerte demanda evaporativa de la atmósfera, pero es invariable a lo largo de un mismo año.

Factor de respuesta del rendimiento

Cuando el suministro de agua no cubre las necesidades hídricas del cultivo, la evapotranspiración (ET) es inferior a la evapotranspiración máxima (ETm). En estas condiciones, se desarrolla una penuria de agua en la planta que afecta adver-

samente el crecimiento del cultivo y finalmente el rendimiento ($R < Rm$). La magnitud y duración del déficit de agua se expresa como déficit de evapotranspiración relativa ($1-ET/ETm$). La relación R/Rm se conoce con el término de rendimiento relativo y la pérdida relativa del rendimiento o disminución del rendimiento relativo se expresa como $(1-R/Rm)$, donde Rm es el rendimiento máximo del cultivo alcanzado en condiciones no limitado de agua y nutrientes.

Para cuantificar el efecto del estrés hídrico utilizamos la relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración, que se relacionan a través de un factor empírico denominado factor de respuesta del rendimiento (Kr):

$$(1 - Rr/Rm) = Kr(1 - ETr/ETm) \quad (3)$$

Donde:

- Rr-Rendimiento real;
- Rm-Rendimiento máximo;
- Kr-Factor de respuesta del cultivo;
- ETr-Evapotranspiración real;
- ETm-Evapotranspiración máxima.

La magnitud del déficit hídrico se refiere al déficit en relación con las necesidades de agua del cultivo durante todo su ciclo vital. Doorenbos y Kassam (1979) ubican a los diferentes cultivos en cuatro grupos en dependencia del valor del factor de respuesta del rendimiento (Kr)

Grupo I: $Kr=0,7-0,8$; Grupo II: $Kr=0,85-0,95$; Grupo III: $Kr=1,05-1,15$; Grupo IV: $Kr \geq 1,2$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de rendimiento del maíz se encontraron entre 1,98 y 8,3 t/ha, para la soya entre 0,79 y 3,6 t/ha, mientras que el garbanzo fue entre 0,56 y 1,27 t/ha. Los menores valores de rendimiento coinciden con los tratamientos de secano. El valor del coeficiente de correlación lineal entre el rendimiento y la ET en los tres cultivos es alto. En el caso de la soya y el garbanzo $r^2=0,9$ en el maíz $r^2=0,96$ (Figura 1), demostrando la linealidad de esta relación.

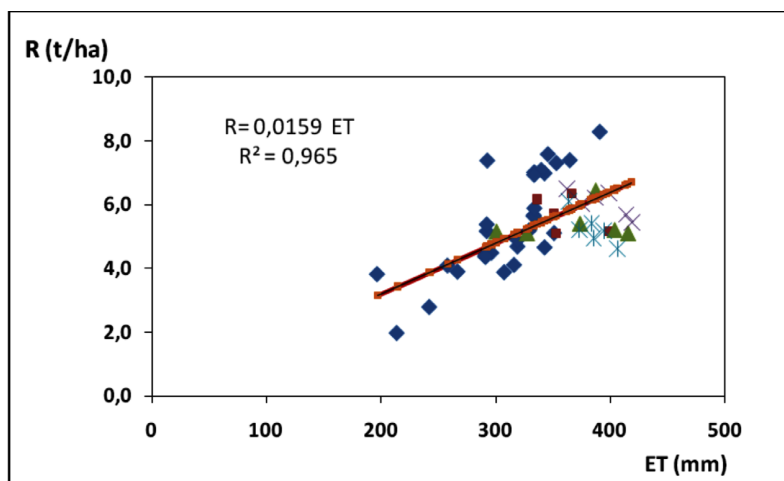


FIGURA 1. Relación entre el rendimiento del maíz (R) y la evapotranspiración (ET).

En la Tabla 2 se resumen los estadígrafos media, máximo, mínimo y coeficiente de variación de la evapo-transpiración y el rendimiento para cada cultivo estudiado.

TABLA 2. Media, valor mínimo, máximo, y coeficiente de variación de la evapotranspiración (ET) y del rendimiento (R) en cada uno de los cultivos estudiados

Cultivo	ET (mm)				R (t/ha)			
	Media	Mínimo	Máximo	C.V.	Media	Mínimo	Máximo	C.V.
Maíz	340,4	196,8	418,8	14,8	5,46	1,98	8,3	22,1
	Media	Mínimo	Máximo	C.V.	Media	Mínimo	Máximo	C.V.
Soya	260,6	178,4	321,8	20,01	2,39	0,786	3,62	44,05
	Media	Mínimo	Máximo	C.V.	Media	Mínimo	Máximo	C.V.
Garbanzo	216,8	158,6	292,6	21,4	0,8	0,56	1,27	27,2
	Media	Mínimo	Máximo	C.V.	Media	Mínimo	Máximo	C.V.

Los requerimientos de agua para obtener una producción máxima en el maíz y la soya están por debajo de lo reportado en la literatura (entre 500-800 mm y 450-700 mm/cosecha, respectivamente).

Para un análisis más general del problema, los datos se procesaron en forma relativa. En la Tabla 3 se presentan las funciones de producción versus evapotranspiración relativa para el maíz, la soya y el garbanzo. Los coeficientes de determinación que se obtienen en cada caso son superiores al 90%, demostrando la calidad predictora de los mismos al ser capaces de explicar un alto porcentaje de la variación total.

TABLA 3. Modelos obtenidos que relaciona la producción total con la evapotranspiración relativa, coeficientes de determinación, productividad del agua consumida (WP) calculados para cada cultivo y valores obtenidos por FAO

Cultivo	Ecuación $R \sim ET/ET_m$ ⁽¹⁾	Coeficiente de determinación (%)	WP kg/m ³	
			Experimentos	FAO 33
Maíz	$R = 6,41 ET/ET_m$	96,9	0,9- 2,5 Media = 1,61	0,8-1,6 10-13% humedad
Soya	$R = 3,04 ET/ET_m$	93,3	0,44 – 1,2 Media= 0,89	0,4-0,7 6-10% humedad
Garbanzo	$R = 1,04 ET/ET_m$	90,4	0,25 – 0,71 Media= 0,38	No reportado

Las ecuaciones ajustadas para los tres cultivos pasan por el origen. El valor de la pendiente de estas rectas coincide con el potencial de producción de cada especie. En el caso del maíz la producción podría llegar a ser de 6,41 t/ha si las condiciones están cerca del óptimo ($ET/ET_m=1$). Si las disponibilidades hídricas son limitadas, todo aumento o mantenimiento del rendimiento puede lograrse aumentando la ET por medio del riego o disminuyendo la ET_m , por ejemplo, mediante el uso de cortavientos, obteniéndose obviamente una mejora de la productividad agronómica del uso del agua (Santa Olalla, 1993). Para la soya la producción máxima se calcula en 3,04 t/ha, mientras que para el garbanzo 1,04 t/ha.

Usando la ecuación 2 se obtuvieron los diferentes rangos de WP. Por cada metro cúbico de agua utilizado el maíz produce como promedio 1,61 kg, mientras que la soya 0,89 kg y el garbanzo 0,38 kg.

En el cultivo del maíz el rango de WP encontrado 0,9 a 2,5 kg/m³ es más amplio que 0,8 a 1,6 kg/m³ reportado por Doorenbos y Kassam (1979) lo que puede explicarse por las diferentes condiciones climáticas y el manejo del riego.

Dehghanisanij *et al.* (2009) encontraron para el maíz un rango de WP entre 0,3–2,3 kg/m³, superior en amplitud con relación al reportado por FAO. La mayor amplitud de estos rangos indica según estos autores mayores oportunidades de incrementar la producción agrícola con menos agua. La productividad del agua consumida por los cultivos se espera ade-

más que aumente con el incremento de la latitud (Zwart y Bstiaanssen, 2004).

En el maíz la productividad fue superior al resto de los cultivos. La WP del maíz fue de 2,53 kg/m³ para una ET de 2 927,6 m³, para la soya fue de 1,20 kg/m³ con 2 691 m³ y el garbanzo 0,71 kg/m³ con 1 270 m³. Estos valores de WP pueden considerarse como niveles óptimos para la producción de estos cultivos (Figura 2).

López *et al.* (2001) obtuvieron a través de la simulación matemática en el caso del maíz una productividad del agua consumida igual a 1,1 kg/m³ para un consumo óptimo de 4 800 m³.

En la Tabla 4 se presentan los modelos obtenidos que relacionan la disminución relativa del rendimiento con el déficit relativo de evapotranspiración. Los mejores resultados se dieron para modelos lineales que pasan por el origen y los coeficientes de determinación superaron el 80% en los cultivos de maíz y soya mientras que el garbanzo no supera el 65%; lo que pudiera explicarse por la menor cantidad de datos disponible.

La pendiente (K_r) en la función de producción encontrada para el maíz fue de 1,52 (Grupo IV, $K > 1,2$), encontrándose en el rango calculado por Doorenbos y Kassam (1979), ($k=1,25$).

En la Figura 3 se muestra la tendencia de esta relación para el cultivo del maíz, donde es más que proporcional al déficit hídrico al resultar K_r superior a 1.

Thevenet y Couvreur (1978) obtuvieron en Francia para el maíz valores de K_r de 1,75 superiores a los obtenidos en este trabajo.

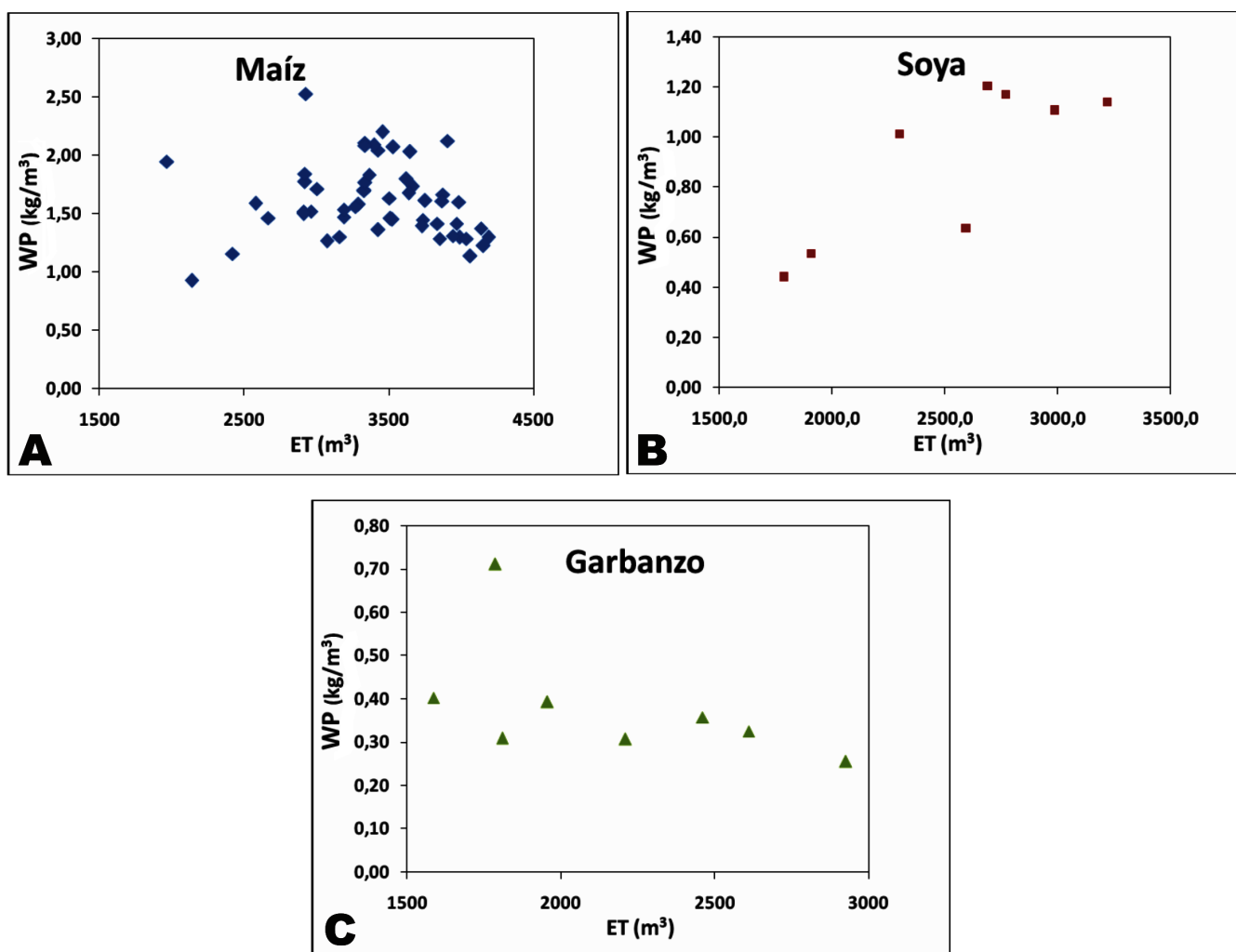


FIGURA 2. Relación entre la productividad del agua calculada (WP) y la evapotranspiración (ET) para a: maíz, b: soya y c: garbanzo.

TABLA 4. Modelos obtenidos que relacionan la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración y los correspondientes coeficientes de determinación para cada cultivo

Cultivo	Ecuación (1-R/Rm)~(1-ET/ETm) ⁽³⁾	Coefficiente de determinación (%)
Maíz	(1-R/Rm) = 1,52 (1-ET/ETm)	82,4
Soya	(1-R/Rm) = 1,68 (1-ET/ETm)	86,6
Garbanzo	(1-R/Rm) = 1,08 (1-ET/ETm)	63,7

Dehghanisani *et al.* (2009) encontraron en 5 regiones de Irán valores de Kr para el cultivo del maíz que oscilaron entre 1,03 – 1,46. En el caso del cultivo de la soya el valor de Kr= 1,68 es el mas alto de los tres cultivos en estudio y muy superior al propuesto por Doorenbos y Kassam (1979), que lo ubican en el grupo II (Kr<1). Por los resultados de este trabajo el garbanzo se puede ubicar en el grupo III (K=1,08)

La Figura 4 esquematiza las diferentes tendencias obtenidas entre la pérdida relativa de rendimiento y el déficit de evapotranspiración para los tres cultivos estudiados.

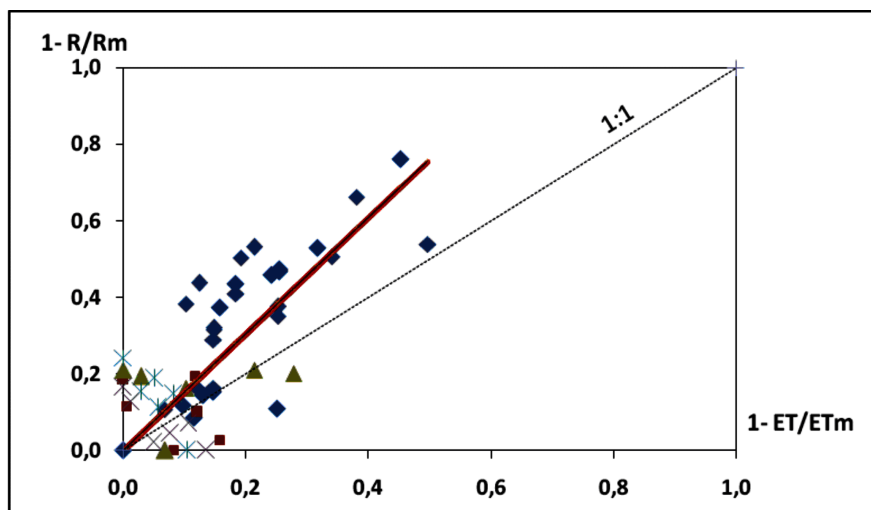


FIGURA 3. Relación entre la pérdida relativa del rendimiento y el déficit de evapotranspiración relativa del maíz.

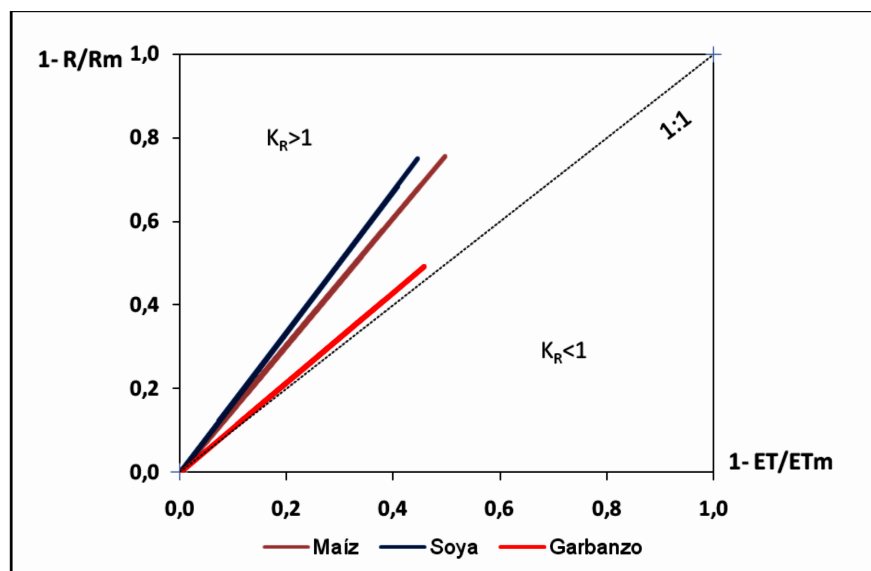


FIGURA 4. Tendencias encontradas entre la disminución del rendimiento relativo y el déficit de evapotranspiración relativa de los cultivos estudiados.

En el maíz y la soya, la pérdida relativa de rendimiento es más que proporcional al déficit hídrico ($K_R > 1$), mientras que aumenta proporcionalmente para el cultivo del garbanzo. La aplicación de riego deficitario en el garbanzo ($K_R = 1,08$) será más productivo que para el maíz y la soya, y puede ser atribuido a la mayor sensibilidad del maíz al déficit de agua. Ninguno de los cultivos sobrepasa el déficit de agua de entre 0-0,5, supuesto por Doorenbos y Kassam (1979) como rango válido para la relación lineal encontrada entre el déficit hídrico y la pérdida relativa de rendimiento.

CONCLUSIONES

- La mayor amplitud del rango de productividad del agua consumida (WP) para el maíz (0,9-2,5 kg/m³) y para la soya (0,44-1,2 kg/m³) indican una mayor oportunidad de aumentar la producción agrícola con menos agua. Los rangos encontrados en este estudio para ambos cultivos fueron superiores a los publicados por la FAO, lo que puede explicarse por el clima, el manejo del riego o las épocas de siembra. Para el garbanzo la WP se encontró entre 0,25-0,71 kg/m³. Por cada metro cúbico de agua utilizado el maíz produce como prome-

dio 1,61 kg, mientras que la soya 0,89 kg y el garbanzo 0,38 kg. En el maíz la productividad fue superior al resto de los cultivos. La WP del maíz fue de 2,53 kg/m³ para una ET de 2927,6 m³, para la soya fue de 1,20 kg/m³ con 2691 m³ y el garbanzo 0,71 kg/m³ con 1270 m³. Estos valores de WP pueden considerarse como niveles óptimos para la producción de

estos cultivos. El maíz y la soya mostraron similar respuesta al déficit hídrico; la pérdida relativa de rendimiento es más que proporcional al déficit hídrico ($K_r > 1,2$). La aplicación de riego deficitario en el garbanzo ($K_r = 1,08$) será más productivo que para el maíz y la soya, y puede ser atribuido a la mayor sensibilidad del maíz al déficit de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIDA, M. S.; E. RAMÍREZ: "Evapotranspiración máxima y coeficientes bioclimáticos del maíz sembrado en primavera", *Cienc. Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 11(1): 23-34, La Habana, 1988.
- CASTELLANOS, A.; R. REY; R. AMORO.: "Efecto del riego sobre el rendimiento de la soya", *Cienc. Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 7(2): 39-51, La Habana, 1984.
- CASTELLANOS, A.: "Evapotranspiración real de la soya (Glicine max) sembrada en tres épocas del año", *Cienc. Tec. Agric. Riego y Drenaje*, 11(1): 73-85, La Habana, 1988.
- CID, G: *Introducción de métodos y metodologías para la caracterización de las propiedades hidrofísicas así como, las variaciones espacio temporales*, Informe del Contrato 004-17 IIRD-MTCMA, 1995.
- CHATERLÁN, Y.; C. DUARTE; M. LEÓN; L. S. PEREIRAL; P. TEODORO; R. REY: Coeficientes de cultivo de cebolla y su determinación con el modelo ISAREG. In: **Taller Internacional Modernización de Tecnologías de Información**, La Paz, Bolivia, sep. 2007). CYTED and PROCISUR/I. Montevideo, pp. 23 – 25 + CD – Rom paper 1.4, 2007.
- DEHGHANISANIJ, H; M. NAKHJAVANI; A. Z. TAHIRI; H. ANYOJI: "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.
- DOORENBOS, J.; A.H KASSAM: *Yield response to water*, 193pp., Irrigation and Drainage Paper N° 33. FAO: Rome; 1979.
- GIRALT, T. E.: *Respuesta del cultivo del maíz sembrado en primavera a diferentes niveles de humedad en el suelo*, 20pp., Informe técnico, IIRD, La Habana, 1984.
- GIRALT, T. E.: *Respuesta del cultivo del garbanzo a diferentes niveles de humedad en el suelo*, 12pp., Informe técnico, IIRD, La Habana, 2000.
- INSTITUTO DE SUELOS, MINAG: *Nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, 102pp., Editorial Academia, La Habana, 1996.
- KIPKORIR, E.C; D. RAES; B. MASSAWE: "Seasonal water production function and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya", *Agricultural Water Management*, 56(3): 229-240, 2002.
- LOPEZ, T.; G. DUEÑAS; J. SIERRA; H. OZIER-LAFONTAINE; F. GONZALEZ; E. GIRALT; Y. CHATERLAN; G. CID: "Simulación del manejo del riego y la fertilización nitrogenada del maíz sobre suelo Ferralítico del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 59-66, 2001.
- MOLDEN D.; H. MURRAY-RUST; R. SAKTHIVADIVEL; I. MAKIN: A water-productivity framework for understanding and action. In: *Water Productivity in Agriculture*, 1-18, Limits and Opportunities for Improvement. Wallingford/Colombo, 2003.
- POWER, J. F.: *Soil management for efficient water use: soil fertility*. In: *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, 461-470, H.M., Taylor et al. (eds.). ASA, CSSA, and SSSA. Madison, W. I., 1983.
- PUECH, J.; M. HERNANDEZ: "Evapotranspiration comparée de différents cultures et étude de quelques facteurs influencant les rythmes de consommations", *Ann. Agron*, 24(4): 437, 1973.
- PUECH, J.; J.R MARTY; C. MARTENS: "Efficiency de l'eau consommé par divers végétaux et application de l' irrigation", *B.T.I.*, 306: 41-53, 1976.
- SANTA OLALLA MAÑAS, M; J.A.J. VALERO: *Las funciones de producción versus agua*, Capítulo VII. En: *Agronomía del riego*, pp. 448-519, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España, 1993.
- STEWART, J. I.: *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Utah Water Res. Lab., Utah State University, Logan. Pub. N°. PRNG 151-1, 1977.
- TZENOVA, L.E.: *Sobre la evapotranspiración y métodos para su determinación*. Serie I. Ing. Agronómica. Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Habana, Cuba, 1976.
- THEVENET, E.; F. COUVREUR: "Ble et mais responses à un déficit en eau", *Persp. Agricoles*, 16: 37-50, 1978.
- ZWART, S. J.; W.G. BSTIAANSSEN: "Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize", *Agricultural Water Management*, 69(2): 115-133, 2004.