

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Factores que afectan la respuesta de los cultivos al agua

Factors for crop water response

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), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. En este trabajo se analiza la influencia de los factores variedad, época de siembra y suelo en la respuesta al agua de cultivos de importancia agrícola, para ello se utilizó la información obtenida en más de 100 experimentos de campo realizados en Cuba en más de 20 cultivos, 6 suelos y un rango amplio de manejos de riego y se utilizaron además las funciones agua rendimiento obtenidas en estudios antecedentes. El factor variedad se analizó para los cultivos de maíz y pimiento comparando los resultados de la función evapotranspiración-rendimiento para diferentes variedades en un mismo tipo de suelo, Ferralítico Rojo Compactado. El efecto de la época de siembra se analizó comparando los resultados de la soya (verano, primavera, invierno), sorgo (verano, invierno) y pimiento (noviembre-abril, marzo-mayo), todos en suelo Ferralítico Rojo Compactado. El factor suelo se analizó comparando los resultados obtenidos en el pimiento en dos suelos: Ferralítico Rojo y Aluvial y en el boniato para tres suelos: Ferralítico Rojo, Aluvial y Pardo con carbonatos. El análisis realizado evidencia que aunque se encontraron diferencias particulares entre variedades, épocas de siembra y/o tipos de suelos, al considerar los valores absolutos de rendimiento y evapotranspiración o agua aplicada, el modelo de respuesta fue similar en todas las condiciones estudiadas, de ahí que sea posible obtener un modelo más generalizable en condiciones diversas.

Palabras clave: funciones agua rendimiento, evapotranspiración, variedad, época de siembra, suelos

ABSTRACT. In these work, it is analyzed the influence of different factor as variety, planting date and soil type in the water response of main agricultural crop based using available information obtained from more than 100 field experiments due in Cuba; its include 20 crops, 6 different soils types and water management and it was also used the water yield functions obtained in antecedent studies. The variety factor was analyzed for corn and pepper comparing results of yield water functions for different varieties in the same type of soil, Ferrasol. The planting date factor was analyzed comparing results for soybean in summer, spring and winter season, for sorgo crop in summer and winter season and for pepper in november- april and march-may planting date. The soil factor was analyzed comparing results in pepper crop for two soil type, Ferrasol and Aluvial soil and in the sweet potato in three soil type, Ferrasol, Aluvial and Pardo soils. The analysis showed evidences that although it was found particulars differences between varieties, plant season and soil types considering the absolute values of yield and evapotranspiration or water applied, the response model was similar in all conditions studied indicating in this way, that it is possible to obtain a general model for different conditions where the model is applicable.

Keywords: Yield water functions, evapotranspiration, variety, plant season, soils

INTRODUCCIÓN

El tipo, la variedad y la etapa de desarrollo del cultivo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de plantas que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en la resistencia a la transpiración, la altura del cultivo y las características radicales del mismo, la cobertura y la capacidad de retención de humedad del suelo, dan lugar a diferentes niveles de evapotranspiración (ET) aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas (Allen *et al.*, 2006; Covarrubias, 2007).

Es un hecho ampliamente conocido la sensibilidad particu-

lar que cada fase de desarrollo de un cultivo presenta a los factores ambientales. Particularmente en el caso de ocurrencia de falta de humedad en el suelo que pueda ocasionar estrés hídrico, la fase de floración parece ser la más sensible en la mayor parte de los cultivos en que su producto final lo constituyen granos o frutos; lo cual ha sido ampliamente documentado en estudios recientes de Farré y Faci (2006) y De La Casa y Ovando (2007).

El efecto del contenido en agua del suelo en la ET está determinado por la magnitud del déficit hídrico. También el exceso de humedad en el suelo es causa de la disminución de la

ET del cultivo al dañar el sistema radical de la planta y reducir su capacidad de extraer agua del suelo por la inhibición de la respiración (Cid *et al.*, 2006).

Esta disminución de la capacidad de satisfacer la demanda de ET ante exceso o déficit de humedad lo explica la función agua-rendimiento al relacionar el rendimiento con la evapotranspiración del cultivo. De este modo, muchos autores al estudiar esta función han utilizado como variable independiente la humedad del suelo, puesto que es el nexo de unión entre la ET y el agua aplicada mediante el riego, y es más fácil de medir directamente que la ET (Luis y Cabrera, 1994; Kang, *et al.*, 2004).

Generalmente, el efecto ambiental, ocasionado por la influencia de distintos factores climáticos y edáficos en distintas etapas del cultivo, explica la mayor parte de las variaciones del rendimiento del mismo (Yan *et al.*, 2000; Dardanelli *et al.*, 2006).

La agricultura es una industria a cielo abierto y, por tanto, el producto que sale de sus parcelas está limitado por factores ambientales como la calidad del suelo donde se produce, las variaciones climáticas en el tiempo y el espacio, además de factores antrópicos como la calidad de la preparación del suelo, respeto de las épocas de siembra, calidad de las semillas, y la selección del cultivo adecuado para cada sitio, entre otros.

En este conjunto de factores, el agua constituye uno más y su importancia varía en función de las variaciones que tengan los demás, limitando el rendimiento máximo posible a alcanzar, como postula la ley del mínimo (Russell y Russell, 1954), aquel que se encuentre por debajo de su requerimiento mínimo. De ahí que se puede disponer de toda el agua necesaria, pero si la preparación del suelo no es buena, falta el fertilizante, la semilla no es de calidad o no se escoge la época de siembra adecuada, el rol del agua es mínimo y por tanto la productividad se reduce en dependencia del efecto del otro factor limitante. Es por ello que las áreas de regadío, debido a lo costoso de esta inversión, para su sostenibilidad económica, requieren de una atención agrotécnica diferenciada.

El objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de los factores variedad, época de siembra y suelo en la respuesta al agua de cultivos de importancia agrícola, teniendo como base la información de más de 100 experimentos de campo y las funciones agua rendimiento obtenidas en estudios antecedentes en Cuba.

MÉTODOS

Se utilizó 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 que comprende estudios realizados en: más de 20 cultivos, diferentes suelos, un rango amplio de manejos de riego (desde el límite superior de la reserva fácilmente utilizable hasta tratamientos de secano) y las funciones agua rendimiento publicadas por González *et al.* (2011, 2013).

La caracterización del suelo y el comportamiento del clima

fueron detallados en las publicaciones respectivas para cada experimento. En particular, para los experimentos realizados en la estación del IIRD en Alquizar, Cid *et al.* (2006, 2011), realizaron un minucioso estudio sobre las características del suelo, mientras que Bernal¹ y más recientemente Chaterlán² reseñaron las principales características del clima del área para cada uno de esos momentos.

Se analizó la influencia de los factores variedad, época de siembra y suelo en la respuesta de los cultivos al agua. En el factor variedad se comparan los resultados de la función evapotranspiración-rendimiento para los cultivos de maíz, en las variedades: T66, A-7931, A-7926, P-7928, Suwan 8126, y de pimiento en las variedades Medalla de Oro y California Wonder, ambos en suelo Ferralítico Rojo.

Para el análisis del efecto de la época de siembra en la relación evapotranspiración-rendimiento se compararon los resultados de la soya (verano, primavera, invierno), sorgo (verano, invierno) y pimiento (noviembre-abril, marzo-mayo), todos en suelo Ferralítico Rojo.

En el factor suelo se compararon los resultados obtenidos de la función evapotranspiración-rendimiento en el pimiento (variedad California Wonder) porque fue estudiado en dos suelos: Ferralítico Rojo y Aluvial y en el boniato (clon CEMSA) para tres suelos: Ferralítico Rojo, Aluvial y Pardo con carbonato, según la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba³ que se corresponde con Ferralsol, Fluvisol y Cambisol, respectivamente, según FAO/UNESCO⁴. Para esta comparación se utilizaron los valores de la curva tensión humedad, ajustados según el modelo de Van Genuchten (1980) por López *et al.* (2010), para mostrar la variación de la humedad ($\Delta\theta$) en el rango de la reserva fácilmente utilizable a la profundidad de 40 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien el agua es considerada como el factor que más incide en la producción de alimentos en el mundo, no es el único y constituye un desafío constante para la investigación conocer cómo la genética vegetal, el clima, el suelo y el manejo cultural, pueden ser combinados para aumentar la eficiencia del uso del agua por los cultivos (Micucci, 2015).

Un factor de gran importancia es la fertilización, que aunque no se discute en este trabajo por considerar que en todos los experimentos se ejecutó de forma óptima según los instructivos técnicos aprobados para cada cultivo, una aplicación de la dosis óptima asegura que la planta se nutra adecuadamente para que no haya en ella excesos ni deficiencias de nutrientes y se eviten pérdidas por lixiviación y escorrentía.

Las diferentes condiciones en que se desarrollaron los experimentos, permiten discutir los efectos de algunos factores como variedad, época de siembra y suelo en la respuesta de los cultivos al agua.

¹ BERNAL, P.L.: Caracterización agroclimática de la estación experimental de riego y drenaje (IIRD). Informe técnico, 32 pp., 1995.

² 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.

³ INSTITUTO DE SUELOS DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA: Segunda Clasificación Genética de los Suelos Cubanos, 1978.

⁴ FAO-UNESCO. Definitions of Soil Units for the Soil Map of the world. World Soil Resources Reports 33, Roma, 72pp., 1968.

Efecto de la variedad

Se ha demostrado que la respuesta de las variedades, aún dentro de la misma especie de cultivo, depende de las características genéticas de las mismas, así como de los mecanismos de adaptación que desarrollan las plantas (incremento de la longitud del sistema radical, acumulación activa de solutos, rápido cierre estomático, distribución de fotoasimiladores entre órganos fuentes y sumideros), los cuales permiten la continuidad de procesos de crecimiento y fisiológicos (Taiz y Zeiger, 2006; Omae *et al.*, 2007; Tofiño *et al.*, 2007; Rosabal, 2014).

En la Figura 1 se muestra la tendencia lineal del rendimiento en grano con el aumento del consumo de agua de todas las variedades de maíz estudiadas en invierno (T66, A-7931, A-7926, P-7928, Suwan 8126).

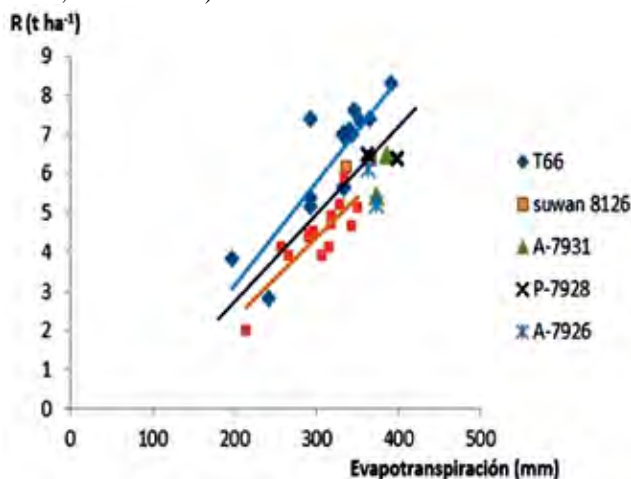


FIGURA 1. Función agua consumida (ET)-rendimiento de todas las variedades de maíz analizadas en la época de invierno.

Para un intervalo de consumo entre los 190 y 400 mm, el modelo lineal $R=0,0172 ET$ (González *et al.*, 2011) fue el estimado para todas las variedades como promedio. Sin embargo, la variedad T66 tuvo una mayor respuesta al agua ($R = 0,0264 ET - 2,13$; $R^2=0,73$) en comparación con el resto de las variedades, que para obtener rendimientos entre 6 y 6,5 t ha⁻¹ necesitaron entre 360-390 mm, mientras que esta variedad con 390,6 mm rindió 8,3 t ha⁻¹.

Similar situación se observa al comparar dos variedades de pimiento sembradas en época óptima (noviembre-abril) en

suelo Ferralítico Rojo del Sur de La Habana (Figura 2).

La variedad Medalla de Oro fue más eficiente y alcanzó un rendimiento de 29,8 t ha⁻¹ cuando se regó al 85% de la capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo (26,5% superior a la variedad California Wonder).

Como puede observarse en los ejemplos anteriores, existe un efecto de la variedad en su respuesta particular al agua consumida, pero en todos los casos hay un efecto general común expresado como una tendencia lineal al incremento del rendimiento con el aumento del consumo de agua.

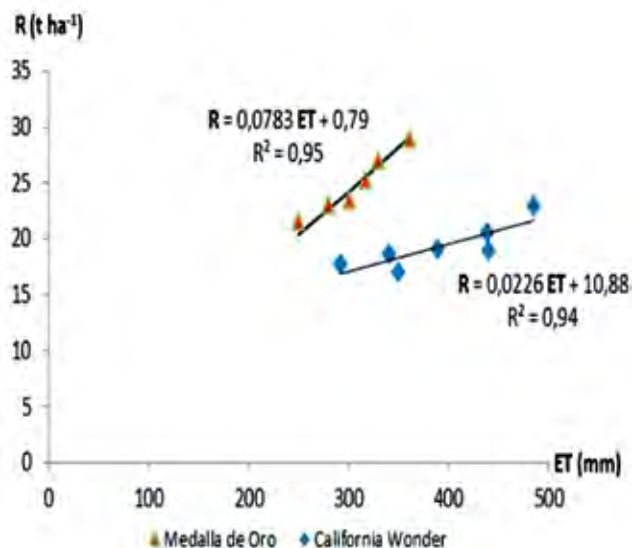


FIGURA 2. Comparación entre dos variedades de pimiento sembradas en época óptima (noviembre-abril) en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana.

Efecto de la época de siembra

Al analizar el efecto de la época de siembra en la relación agua consumida-rendimiento se utilizaron los cultivos que pudieron sembrarse en diferentes estaciones. En el caso de la soya, (Figura 3 A), no se encontraron diferencias al comparar los resultados del verano con la primavera, mientras que, en el invierno, a pesar de que los consumos de agua se mantuvieron en el mismo rango, los rendimientos estuvieron por debajo.

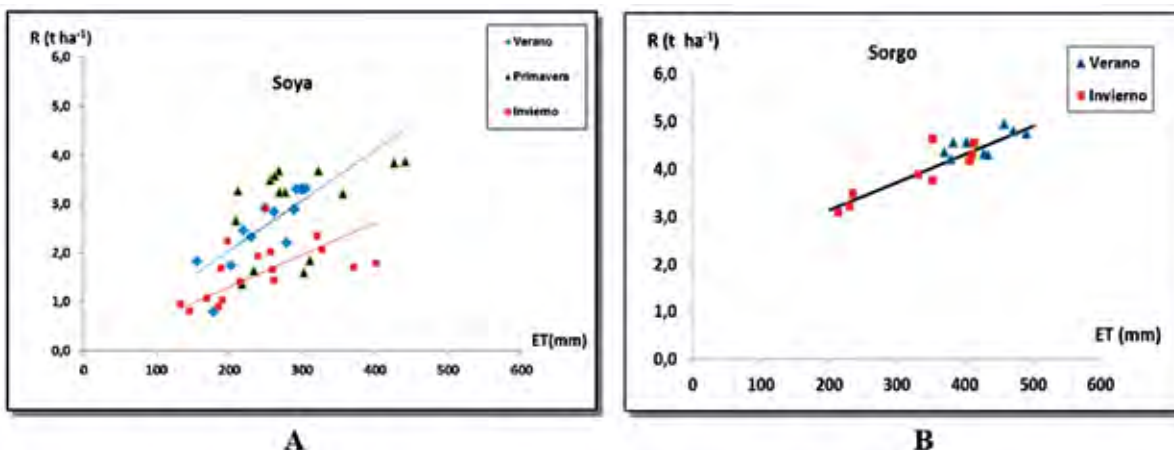


FIGURA 3. Relación entre el rendimiento (R) y la evapotranspiración (ET) para la soya (A) y el sorgo (B) en las diferentes épocas estudiadas.

Lo anterior indica que este cultivo es menos eficiente en cuanto al uso del agua en esta época de siembra. Estas variaciones pudieran atribuirse a la respuesta del cultivo a las diferentes condiciones climáticas de cada época de siembra (en particular temperatura y longitud del día); en coincidencia con los resultados de Bacigaluppo y colaboradores⁵. Sin embargo, la relación estudiada en el sorgo fue similar en ambas épocas y las rectas que relacionan el rendimiento con el consumo tuvieron similar pendiente en invierno y verano. El valor del coeficiente de correlación lineal entre el rendimiento del grano de sorgo y la ET fue alto ($r=0,9$) (Figura 3 B) lo que permite afirmar la existencia de una tendencia lineal entre estas dos variables.

En invierno el sorgo consume menos agua y puede alcanzar rendimientos del orden de $4,64 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que en verano para obtener una producción de $4,95 \text{ t ha}^{-1}$ consumió $458,3 \text{ mm}$, es decir $106,1 \text{ mm}$ más de agua, lo que reitera además de la proporcionalidad existente entre el consumo y el rendimiento, la influencia de la época en el comportamiento productivo del cultivo.

Por otra parte, al comparar la respuesta al agua de una misma variedad de pimiento (Medalla de Oro) en diferentes fechas de siembra (Figura 4), se observa que en el período considerado como óptimo (noviembre-abril), se alcanzan rendimientos superiores en un 24,2% al período no óptimo o tardío (marzo-mayo) para similares niveles de satisfacción de la demanda evapotranspirativa, lo que hace que en el período óptimo se obtenga una eficiencia de uso del agua mayor que en el no óptimo.

Sin embargo, al observar el comportamiento de las funciones que relacionan la ET con el rendimiento en ambos períodos (Figura 4) se nota una mayor pendiente para el período marzo-mayo, donde con diferencias en el consumo de $57,5 \text{ mm}$ se alcanzan gradientes de rendimiento en el orden de las $10,9 \text{ t ha}^{-1}$, contra $3,6 \text{ t ha}^{-1}$ en el período óptimo.

Lo anterior indica que en el período marzo-mayo, si no hay disponibilidad de agua, el rendimiento se verá afectado en mayor cuantía que en el período óptimo. Resultados que coinciden con los obtenidos por Boicet *et al.* (2001), que además afirman que el riego es posiblemente el factor de producción que más importancia tiene en la producción y calidad del pimiento cultivado en este período.

Boicet *et al.* (2001) encontraron que la reducción de los aportes hídricos durante la fase de floración-fructificación en el pimiento indujo un claro descenso de los rendimientos, mientras que la suspensión del riego durante la fase de maduración-cosecha fue capaz de ahorrar agua sin afectaciones significativas en la producción total.

Estos resultados están en concordancia con el hecho de que, independientemente de la época de siembra, la mayor tasa de evapotranspiración de los cultivos se produce en las fases de floración y maduración, que son las etapas de desarrollo de

mayor actividad fisiológica.

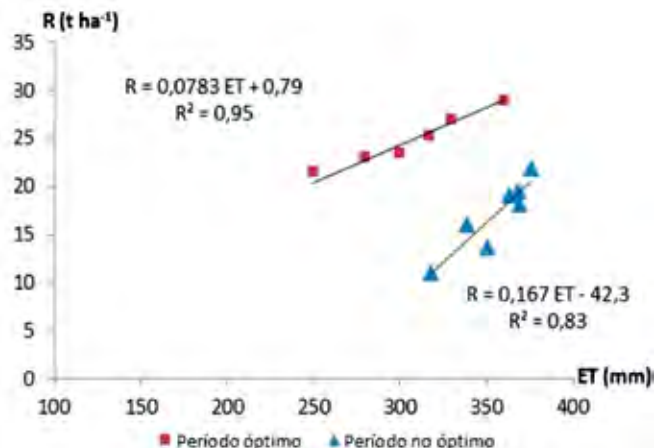


FIGURA 4. Pimiento variedad Medalla de Oro sembrado en dos épocas en suelo Ferralítico Rojo compactado, La Habana.

Efecto del tipo de suelo

La comparación de la función evapotranspiración-rendimiento del pimiento, variedad California Wonder, sembrado en período óptimo (noviembre-abril) entre suelo Ferralítico Rojo en La Habana y suelo Aluvial en Granma (Figura 5), refleja un comportamiento bien diferenciado entre ambos experimentos.

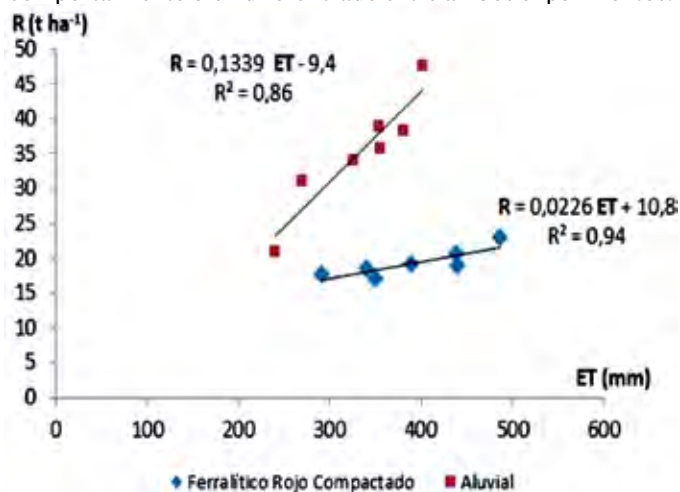


FIGURA 5. Comparación de la función evapotranspiración-rendimiento del pimiento, variedad California Wonder.

El papel del suelo en el consumo de agua por las plantas está muy relacionado con el funcionamiento hidráulico del mismo. Atendiendo a este funcionamiento de los suelos de Cuba, Herrera y colaboradores⁶ y Cid⁷ incluyen a los suelos Ferralítico Rojo Compactado y Aluviales en un mismo grupo.

Tomando los valores de la curva tensión humedad, ajustados según el modelo de Van Genuchten (1980) por López *et*

⁵ BACIGALUPPO, S.; ANDRIANI, J.; GERSTER, G.; DARDANELLI, J.; BALZARINI, M.; BODRERO, M.; QUIJANO, A.; ENRICO, J.; MARTIGNONE, R.: Variación del rendimiento de soja en función del contenido de agua útil a la siembra del cultivo, en sistemas de siembra directa del sur de Santa Fe, INTA EEA Oliveros, pp. 11, 2007.

⁶ HERRERA, P. J.; CID, G.; LLANOS, M.A. Relaciones tensión-humedad para algunos suelos cubanos. En Suelo y Agua. Actas del Seminario de La Habana. Editorial ORSTOM, París, 1986.

⁷ CID, G.: Efecto de la contracción-dilatación sobre las transferencias de agua y aire en suelos con arcillas dilatables del Valle del Cauto, 116 pp., Tesis (en Opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas), La Habana, Cuba, 1992.

al. (2010), en la Tabla 1 se muestran los valores de la variación de la humedad ($\Delta\theta$) en el rango de la reserva fácilmente utilizable equivalente a la lámina de riego para estos dos suelos a la profundidad de 40 cm.

TABLA 1. Valores de tensión y humedad en el rango de la reserva fácilmente utilizable (RFU) para un perfil de 0-40 cm de los suelos Ferralítico Rojo (FR) y Aluvial

Suelo	Tensión, h (kPa)	Humedad, θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	$\Delta\theta$ en RFU ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
FR	30	0,479	0,0341
	100	0,445	
Aluvial	30	0,345	0,0337
	100	0,311	

A pesar de que las curvas tensión-humedad en el rango de tensiones analizado para estos dos suelos, muestran que para un mismo valor de tensión se tienen valores de humedad diferentes en un 29% (Figura 6); al calcular la variación de las humedades en el rango de la reserva fácilmente utilizable equivalente a la lámina de riego, estos valores resultan similares, por lo que coincidiendo con Herrera *et al.* (1986) y Cid (1992), se puede asumir que el funcionamiento hídrico de estos dos suelos es similar.

Estos resultados sugieren que independientemente del tipo de suelo, si se mantiene la humedad en el mismo a un nivel que corresponda con la reserva fácilmente utilizable por las plantas, la respuesta del cultivo podría ser igual, es decir el tipo de suelo no es el único factor que define este comportamiento.

El efecto del exceso de humedad sobre la función agua-rendimiento (como expresión de la ET) fue estudiado por Herrera *et al.* (1988), quienes en tres tipos de suelos loam-arenosos en Pinar del Río, encontraron diferentes formas de respuestas al agua, debido a diferencias en la capacidad de retención e infiltración del suelo, así en el suelo Arenoso Cuarácico (alta capacidad de infiltración y baja retención) con horizonte Gleyzado por debajo de los 60 cm la respuesta fue lineal, mientras que en los suelos Gley Ferralíticos Cuarácicos se obtuvo una respuesta no lineal, indicando en estos últimos un fuerte efecto del exceso de humedad, para niveles similares de riego en ambos.

Rosadi *et al.* (2007) en un estudio sobre la influencia del déficit de agua en el rendimiento de la soya (*Glycine max*), en Indonesia, obtuvieron una disminución significativa cuando el déficit estuvo por encima del 40-60% del agua total disponible, tanto en el suelo Ultisol como en el Latosol.

Otro estudio relacionado es el de Ramos (1999) quien, en un área semiárida de Venezuela con temperatura media diaria de 22°C, humedad relativa de 62% y donde los suelos se clasifican como franco arenosos, obtuvo una función lineal entre el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa*) y el porcentaje de humedad antes del riego. Para estas condiciones los rendimientos se incrementaron en función de la lámina de riego, con valores máximos de 22 t ha⁻¹ para una lámina de riego de 298 mm ciclo⁻¹.

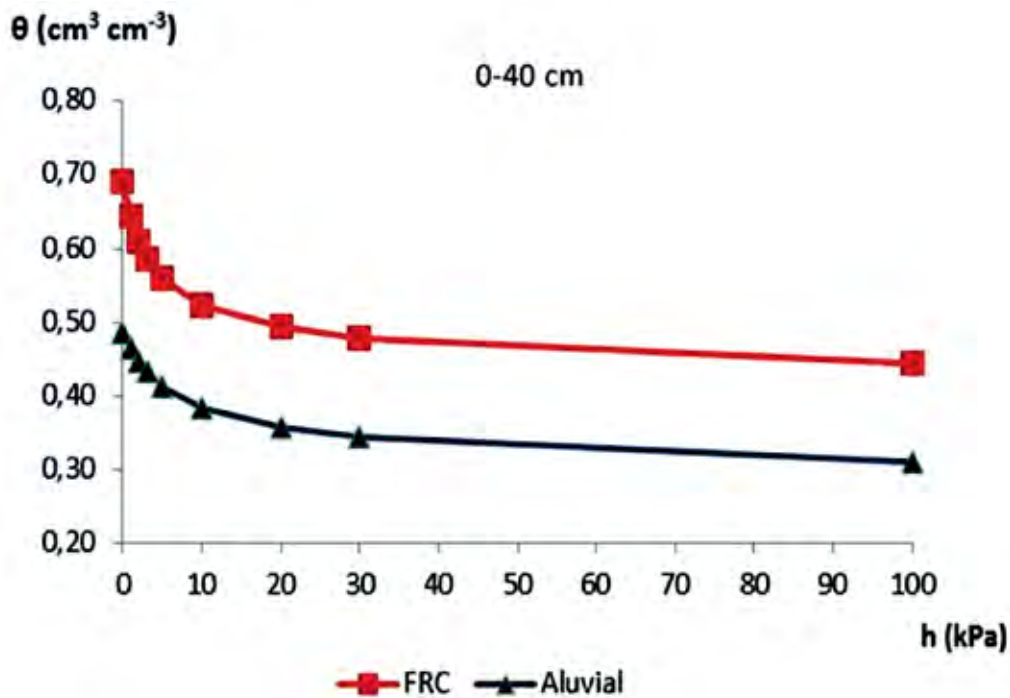


FIGURA 6. Curvas tensión humedad para los suelos Ferralítico Rojo compactado (FRC) y Aluvial en el rango de 0 a 100 kPa.

Por otra parte, Orozco y Pérez (2006) en clima semiárido en el Estado de Colima, México, encontraron una relación lineal con pendiente negativa ($R = 55,9 - 0,52 X$) entre tensión de humedad del suelo y el rendimiento del plátano (*Musa sp.*) cultivado en suelo franco arcilloso, demostrando la influencia negativa del déficit de agua en la altura de las plantas, diámetro del seudo-

tallos, longitud del racimo y masa del racimo del plátano cv. *Gran Enano*.

De esto se puede inferir que en el caso de los datos mostrados en la Figura 5 donde se comparan resultados de pimiento sembrados en suelo y regiones diferentes, al parecer es el clima el que influye en la respuesta diferenciada del pimiento y no el tipo de suelo.

Dehghanisani *et al.* (2009) encontraron en 5 regiones de Irán, marcadas diferencias en la productividad de trigo (*Triticum aestivum*) y maíz (*Zea Mays*) y lo atribuyen fundamentalmente al efecto de las temperaturas y a las erráticas y mal distribuidas precipitaciones que caracterizan el clima de esta región.

Otro ejemplo de respuesta diferenciada al agua es el boniato, clon CEMSA; estudiado en tres zonas del país (occidental, central y oriental) en la época de invierno. La demanda climática no es igual en las tres zonas comparadas, sobre todo la temperatura y la evaporación, que son más elevadas en la zona oriental⁸, sin embargo el consumo y los rendimientos son mayores en esta zona, mientras que la eficiencia del agua consumida no difiere de manera significativa (9%) y estuvieron entre 58,5 y 64,7 kg ha⁻¹ (Figura 7).

En los suelos Pardos con carbonatos en la zona central los resultados están en el mismo rango de los Ferralíticos Rojo de la zona occidental. Al parecer las condiciones climáticas de la región oriental favorecen a este cultivo tropical.

Es importante enfatizar que en todos los casos se considera que el riego se aplicó siempre en el momento oportuno, pues no es solo la cantidad total de agua aplicada para satisfacer la ET lo importante, sino que el cultivo no sufra déficit en el momento crítico de demanda de agua.

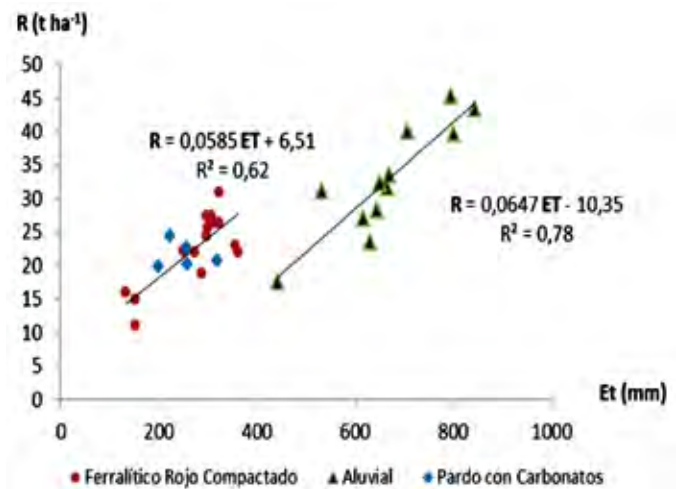


FIGURA 7. Comparación de la función evapotranspiración-rendimiento del boniato, Clon- CEMSA, en invierno en tres zonas del país.

CONCLUSIONES

- Se evidencia la necesidad de profundizar en el conocimiento de los diferentes factores que influyen en la respuesta al agua de los cultivos, y en la medida de lo posible trabajar con valores relativos de estas variables para poder comparar cultivos y extrapolar los resultados a otras áreas.
- Los resultados anteriores mostraron que si bien hay una diferencia particular entre variedades, épocas de siembra y/o tipos de suelos, al considerar los valores absolutos de rendimiento y evapotranspiración o agua aplicada, el modelo de respuesta fue similar en todas las condiciones estudiadas, de ahí que sea posible obtener un modelo más general utilizable en condiciones diversas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, 299pp., Ed. Estudio FAO Riego y Drenaje 56, Ed. FAO, ISBN-92-5-304219-2, Roma, 2006.
- 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*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 10(4): 75-78, 2001.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.: “Parámetros fundamentales para la caracterización hidropedológica general de los suelos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 15(4): 42-47, 2006.
- 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*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 20(2): 42-46, 2011.
- DEHGHANISANI, 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”, *Irrigation and Drainage*, ISSN: 1531-0353, 58: 105-115, 2009.
- GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P. J.; LÓPEZ, S. T.; CID, L. G.: “Respuesta de los cultivos al déficit hídrico”, *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, 1(1): 19-23, 2011.
- GONZÁLEZ, R. F.; HERRERA, P. J.; LÓPEZ, S. T.; CID, L. G.: “Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 22(3): 5-11, 2013.
- COVARRUBIAS, A. A. R.: “Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua”, *Biotecnología*, 14 CS3.indd: 253-262, 2007.

⁸ MÉNDEZ, J. A.: *Contribución metodológica para la estimación de la evapotranspiración de referencia mediante técnicas de teledetección espacial y redes neuronales artificiales*, 141pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Instituto de Ingeniería Agrícola, La Habana, 2011.

- DARDANELLI, J.; BALZARINI, M.; MARTÍNEZ, M.J.; CUNIBERTI, M.; RESNIK, S.; RAMUNDA, S.F.; HERRERO, R.; BAIGORRI, H.: "Soybean Maturity Groups, Environments and their Interaction define Mega-environments for Seed Composition in Argentina", *Crop Science*, ISSN: 0011-183X, 46: 1056-1063, 2006.
- DE LA CASA, A.; OVANDO, G.: "Integración del índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) y del ciclo fenológico de maíz para estimar el rendimiento a escala departamental en Córdoba, Argentina", *Agricultura Técnica (Chile)*, ISSN- 0365-2807, ISSN- 0717-6333 Versión Electrónica, DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000400004>, 67(4): 362-371, 2007.
- 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", *Agricultural Water Management*, ISSN: 0378-3774, 83: 135-143, 2006.
- HERRERA, P. J.; MARTÍNEZ, E.; GIRALT, E.: "Respuesta del frijol al riego en suelos loam arenosos con horizontes gleyzados", *Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Riego y Drenaje*, ISSN: 0138-8487, 11(2): 7-19, 1988.
- KANG, Y.; WANG, F.X.; LUI, H.; YUAN, B.: "Potato evapotranspiration and yield under different drip irrigation regimes", *Irrigation Science*, ISSN: 0342-7188, 23: 133-143, 2004.
- LÓPEZ, T.; CID, G.; HERRERA, J.; GONZÁLEZ, F.: *Eficiencia del almacenamiento del agua en suelos agrícolas irrigados de Cuba*. Sitio Web de la representación de la FAO en Cuba, <http://bva.fao.cu/>, Diciembre 2010.
- LUIS, R. A.; CABRERA, G. R.: "Respuesta de la caña de azúcar a variaciones de la humedad en el suelo en tres etapas de desarrollo", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, ISSN: 1680-0338, 15(2): 53-62, 1994
- MICUCCI, F. G.: Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua en los cultivos extensivos de la región pampeana argentina. 13pp. [en línea] Disponible en: www.ipni.net, www.elsitioagricola.com [Consulta: 30 julio 2015].
- OMAE, H.; KUMAR, A.; KASHIWABA, K.; SHONO, M.: "Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters", *Plant Production Science*, ISSN: 1343-943X, 10(1): 28-35, 2007.
- OROZCO, J.R.; PÉREZ, O.Z.: "Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en plátano (*MusaAAA Simmonds*) cv. Gran Enano", *Agrociencia*, ISSN: 1405-3195, 40(2): 149-162, 2006.
- 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", *Revista de la Facultad de Agronomía-LUZ*, ISSN: 0378-7818, 16: 38-51, 1999.
- ROSABAL, L. A.; MARTÍNEZ, G. L.; REYES, G. Y.; DELL'AMICO, R. J.; NÚÑEZ, V. M.: "Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación", *Cultivos Tropicales, versión impresa* ISSN 0258-5936, E-ISSN: 1819-4087, 35(3): 24-35, (jul.-set), 2014.
- 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-Japan Agricultural Research Quarterly*, ISSN: 0021-3551, 41(1): 47-52, 2007.
- RUSSELL, E. J.; RUSSELL, E.W.: *Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas*, 1954. Tomado de la 8va edición, Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1972.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.: *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer Associates. Inc. Publishers, Massachusetts, USA, ISBN-13: 978-0878-938568 [en línea] 2006, Disponible en: <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11738-999-0031> [Consulta: 30 julio 2015].
- TOFIÑO, A.; ROMERO, H. M.; CEBALLOS, H.: "Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. Una revisión", *Agronomía Colombiana*, ISSN: 0120-9965, 25(2): 245-254, 2007.
- YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z.: "Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot", *Crop Science*, ISSN: 0011-183X, 40:597-605, 2000.

Recibido: 13/10/2015

Aprobado: 15/06/2016.

Felicita González Robaina, Dr.C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana. Cuba, Correo electrónico: dptoambiente4@iagric.cu

Julián Herrera Puebla, Correo electrónico: direccioninvest1@iagric.cu

Teresa López Seijas, Correo electrónico: directoradjunta@iagric.cu

Greco Cid Lazo, Correo electrónico: dptoambientel@iagric.cu