

Factor de sensibilidad al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.)

The coffee tree (*Coffea arabica* L.) sensibility factor to the water deficit

Felicit Robaina¹, Enrique Cisneros¹ y Eugenio Montilla².

¹Dr.C, Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana. Cuba, e-mail: dptoambiente4@iagric.cu

¹MS.C, Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana. Cuba

¹MS.C, Investigador en Ciencias Básicas y aplicadas, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.

Fecha de inicio de la investigación: 2010

Fecha de finalización de la investigación: 2014

RESUMEN

En Cuba, el café es uno de los cultivos tradicionales de la estructura agraria, siendo en la actualidad un rubro exportable de significativa importancia económica. En los últimos años el rendimiento se ha deprimido, entre otras causas, por la disminución de las precipitaciones y la baja disponibilidad de agua para el riego. La mayoría de los cultivos poseen períodos críticos en los cuales un déficit hídrico produce serios problemas a la producción final, estos daños dependen de la duración y de la fase de desarrollo de la planta, es por ello que el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el factor de sensibilidad del cafeto, sometido a déficit hídrico en diferentes estadios fenológicos. El estudio se llevó a cabo en la provincia Pinar del Río, en plantaciones de cafeto var. caturra rojo en fase de producción, con una densidad de 5000 plantas ha⁻¹. El suelo se clasifica como Alfélico amarillento de baja actividad arcillosa típico y el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Para el balance hídrico se utilizó el método de Balance de Masas y para cuantificar el efecto del estrés hídrico sobre la producción agrícola se utilizó la relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración. Como resultado se tiene que la reducción relativa del rendimiento fue más acentuada en la fase de fructificación-desarrollo del fruto con un valor de 0,58. El valor promedio del factor de sensibilidad al déficit hídrico K_y en todas las fases fue de 0,52,

indicando que el cafeto es tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés.

Palabras clave: respuesta al agua, evapotranspiración, rendimiento.

ABSTRACT

Coffee is one of main popular and traditional agricultural crop in Cuba, being nowadays a remarkable exportable item of Cuban economy. In the last years, its yield has been depressed, among other causes, for scarcity of rainfalls and low availability of water for irrigation. Most of crops possess critical periods in which water deficit produces serious problems to the productive process, these damages depend on the duration and of the phase of development of the plant, for this reason, the present work was aimed at studying sensibility on coffee tree, subjected to water deficit in different phenological stadiums. The study was carried out at Pinar del Río province, in coffee plantations var. red caturra in the production phase, with a density of 5000 plants ha⁻¹. The soil is classified as Yellowish Alítico of Low Typical Loamy Activity and the experimental design used was random blocks with six treatments and four repetitions. For water balance, Masses Balance Method was used and to quantify the effect of the water deficit on the yield the relationship between the relative decrease of the yield and the relative deficit of evapotranspiration was used. As a result, the relative reduction of the yield was accentuated in the phase of fructification-development of the fruit with a value of 0,58. The average value of sensibility factor to the water deficit K_y in all the phases was of 0,52, indicating that the coffee is tolerant to the water deficit and recovers partially of the stress.

Key words: water response, evapotranspiration, yield.

INTRODUCCION

El café se considera el principal producto agrícola de consumo en el mundo con un mercado que genera anualmente más de 90 billones de dólares, Cerca de 8% de la población mundial, unos 500 millones de personas, están involucradas en el mercado del café, desde su siembra hasta su consumo final. (DaMatta y Rodríguez, 2007).

En la actualidad muchas regiones cafetaleras del mundo se han visto afectadas por prolongados períodos de sequía, debido a la disminución de las precipitaciones provocadas por la variabilidad del cambio climático, esto ha provocado importantes reducciones en los rendimientos.

Es un hecho ampliamente conocido la sensibilidad particular que cada fase de desarrollo de un cultivo presenta a los factores ambientales. Particularmente en el caso del 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 de Farré y Faci (2006), De La Casa y Ovando (2007) y Steduto *et al.* (2012).

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.

Stewart *et al.* (1977) desarrollaron un modelo general para relacionar la pérdida relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración. Doorenbos y Kassam (1986) y posteriormente Kipkorir *et al.* (2002), Fabeiro *et al.* (2003), Allen *et al.* (2006), Ferreira y Gonçalves (2007), Gonçalves y Pereira (2009), Dehghanisani *et al.* (2009), Pereira *et al.* (2009) y Garg *et al.*, (2014) han utilizado esta relación lineal para cuantificar la respuesta al déficit hídrico de los cultivos agrícolas, mediante el factor de respuesta del rendimiento (**K_y**) o sensibilidad al déficit. Factor que describe la reducción relativa de la productividad en función de la reducción de la ET generada por el déficit de agua para el consumo de la planta.

La gran utilidad de este tipo de aproximación está dada en la posibilidad de comparar estrategias de riego para escoger las que mejor respondan a los intereses del caso de estudio y evaluar los impactos del estrés hídrico sobre la producción agrícola. Además, es la más utilizada como función agua-rendimiento en modelos de simulación como el WINISAREG para la programación del riego (Popova *et al.*, 2006; Chaterlán, 2012) y en el modelo AquaCrop, propuesto por la FAO para simular la respuesta al agua para una gran variedad de cultivos por su gran capacidad de mantener un equilibrio suficiente entre la exactitud, simplicidad, robustez y de extrapolación inclusive a escenarios climáticos futuros (Hsiao *et al.*, 2009; Raes *et al.*, 2010; Nazeer y Alí, 2012).

El trabajo tuvo como objetivo estudiar el factor de sensibilidad al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L), sometido a déficit hídrico en diferentes estadios fenológicos.

MATERIALES Y METODOS

Los trabajos experimentales se desarrollaron en la localidad de Pueblo Nuevo, de la Empresa Forestal Integral (EFI) La Palma, provincia Pinar del Río, ubicada en las coordenadas conforme LAMBERT Cuba Norte de latitud 22°46' N y longitud 82°52' E. La altura sobre el nivel medio del mar varió entre 150 m y 180 m. La topografía es regularmente llana con pendientes que van hasta el orden del 1%.

Las investigaciones se ejecutaron en plantaciones de cafeto (*Coffea arabica* L) var. caturra rojo, en fase de producción de 12 años de edad, con un área de 1,40 hectáreas netas, el marco de plantación fue de 2,00 m x 1,00 m, para una densidad de 5000 plantas há⁻¹, bajo sombra controlada de piñón (*Gliricidia Spediun* Sp) típico de la zona (Duque, 1955). Se utilizó el método de riego localizado superficial con emisores espaciados a 1,00 m insertados en el lateral de PEBD de 25 x 21 mm, dispuestos uno por hilera de plantas.

La zona se caracteriza por una pluviometría promedio de 1 682,0 mm (media de 24 años, INSMET, 2011) distribuidas el 23,5% en el período poco lluvioso (noviembre - abril) y 76,5% en el período lluvioso (mayo - octubre). La evapotranspiración de referencia (ET_o) fue de 1724,5 mm. La distribución mensual de la lluvia y la evapotranspiración promedio aparecen en la Figura 1, donde se

puede observar que en los meses de enero-abril, la *ET_o* supera la precipitación, coincidiendo con los meses donde fue posible establecer los tratamientos con déficit hídrico en diferentes fases de desarrollo del cafeto.

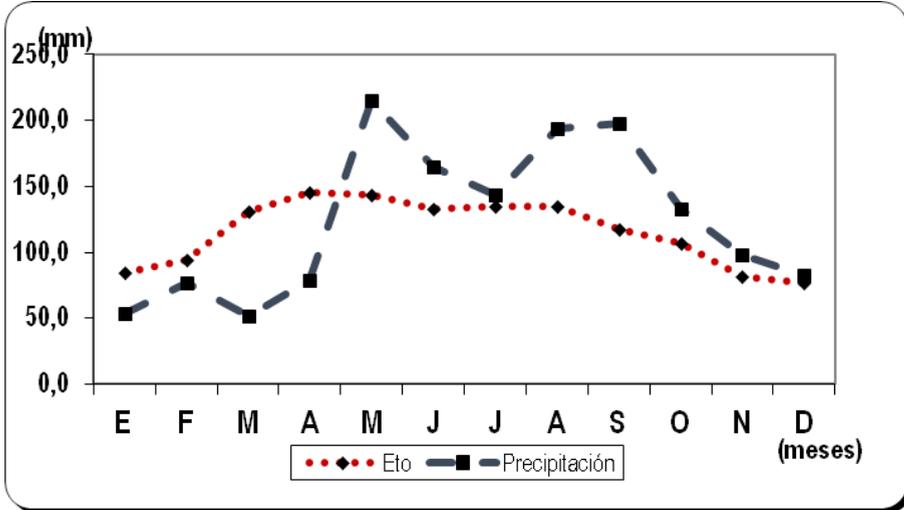


Figura 1. Comportamiento de la precipitación y la evapotranspiración de referencia en Pueblo Nuevo.

El suelo en que se efectuaron las investigaciones se clasifica como Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado según la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba (IS, 1996) que se corresponde con un Alítico amarillento de baja actividad arcillosa típico según Hernández *et al.* (2003, citado por Cid, 2012).

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis (6) tratamientos y (4) cuatro repeticiones. El área de cálculo fue de 24 m² (6 x 4 m) y se tomaron 8 plantas por réplicas para un total de 32 plantas por tratamiento. Los tratamientos estuvieron en función de la aplicación del déficit hídrico en diferentes fases de desarrollo del cultivo: T1, sin déficit hídrico en ninguna de las fases; T2, déficit en la fase de floración fructificación; T3, déficit en la fase de fructificación desarrollo del fruto; T4, déficit en la fase de maduración cosecha, T5 déficit en la fase vegetativa y T6 déficit en todas las fases.

El momento de riego y el volumen de aplicación fueron controlados por el método gravimétrico mediante la toma de muestras de suelo por capas de 0,10 m hasta la profundidad de 0,60 m, el tratamiento control fue el (T1).

La toma de muestras de suelo para conocer el contenido de humedad en el mismo se llevó a cabo en aquellos lugares libres de arvenses y alejados de los árboles de sombra, procurando siempre que la extracción de agua fuera representativa de la zona de consumo del cafeto. Estos valores se utilizaron en el

balance hídrico que permitieron definir las necesidades del sistema cafeto - arbolado en cada fase. Para la cuantificación de los balances hídricos por el método de Balance de Masas, se utilizó la ecuación general de balance y los métodos de cálculo que presenta López (2002):

$$\Delta A = P + I - (DI + DS + ET) \quad (1)$$

dónde: **DA** - variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance (mm); **P** - precipitación (mm); **I** - agua aplicada durante el riego (mm), correspondiente a la dosis de riego aplicada de acuerdo a la frecuencia empleada; **DS** - escurrimiento superficial, que fue despreciado por ser un área pequeña y relativamente plana, además, los ingresos (**P+I**) no sobrepasaron en ningún momento la lámina correspondiente a la saturación del suelo; **DI** - drenaje interno, determinado como la integral del flujo de drenaje a la profundidad de la zona considerada para el balance (q_z), en un intervalo de tiempo determinado ($Dt = t_2 - t_1$).

$$(Dt = t_2 - t_1): \quad (2)$$

dónde:

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ}$$

q- Es el flujo en $\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$, determinado como (3)

K(q) - conductividad hidráulica no saturada ($\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$) en función de la humedad volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$). Esta se determinó a partir de la curva tensión humedad ajustada al modelo de Van Genuchten que se substituyó en la función de Mualem (1976) según lo plantea López (2002).

dH/dZ - variación de potencial total, que en este caso se consideró como gradiente unitario dados los altos valores de humedad que mantiene el manejo del riego localizado.

La evapotranspiración (ET) se obtuvo despejando de la expresión general de balance hídrico (expresión 1):

$$ET = P + I - (DI + DS - \Delta A) \quad (4)$$

Para cuantificar el efecto del estrés hídrico sobre la producción agrícola se utilizó la relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración propuesta por Stewart *et al.* (1977) y Doorenbos y Kassam (1986), que se relacionan a través de un factor empírico denominado factor de respuesta al agua o de sensibilidad al déficit hídrico de los cultivos (**Ky**):

(5)

Dónde: **R**-rendimiento real del cultivo, t ha⁻¹; **R_{max}**-rendimiento máximo obtenido en el mejor tratamiento de un cultivo bien adaptado en excelentes condiciones, cuando $ET=ET_{max}$, t ha⁻¹; **ET**-evapotranspiración real, mm; **ET_{max}**-evapotranspiración máxima obtenida en el mejor tratamiento, mm; **K_y**-factor de sensibilidad del cultivo al déficit hídrico, adimensional.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 1 se muestran los valores medios del factor de sensibilidad al déficit hídrico (K_y) para diferentes fases de desarrollo el café. Se puede observar que los valores medios de K_y en los tratamientos 4 y 5, sometidos a déficit hídrico en las fases de maduración-cosecha y vegetativa, respectivamente, fueron los más bajos, donde el déficit hídrico tuvo poco efecto sobre el rendimiento del café.

Tabla 1. Valores medios de evapotranspiración, rendimiento, déficit relativo de evapotranspiración, disminución relativa de rendimiento y factor de sensibilidad al déficit hídrico del café

Trat.	ET	ET _{max}	ET/ET _{max}	R	R _{max}	R/R _{max}	(1-ET/ET _{max})	(1-R/R _{max})	K _y
T2	472,7	1197,3	0,39	2,37	2,83	0,79	0,61	0,33	0,55
T3	649,1	1112,3	0,58	2,24	2,83	0,83	0,42	0,24	0,58
T4	996,6	1177,0	0,85	2,62	2,83	0,95	0,15	0,05	0,32
T5	910,4	1199,6	0,76	2,40	2,83	0,91	0,24	0,09	0,38
T6	504,2	1120,5	0,45	1,56	2,83	0,55	0,55	0,45	0,82

ET, ET_{max}: evapotranspiración real y máxima, mm, respectivamente
 R, R_{max}: Rendimiento real y máximo, t ha⁻¹, respectivamente

La reducción relativa del rendimiento fue más acentuada en la fase de fructificación-desarrollo del fruto (T3) con un valor de 0,58, similar al 0,55 obtenido en la fase de floración-fructificación (T2) y coincidiendo con los resultados de Cordeiro *et al.* (1998) que obtuvieron los mayores valores de K_y en las fases floración y llenado del grano en el cultivo del frijol. Demostrando que aunque los valores de K_y están por debajo de uno, estas son las fases de mayor sensibilidad al déficit hídrico. El valor promedio del factor de sensibilidad al déficit hídrico K_y en todas las fases fue de 0,52.

El valor de K_y en el tratamiento con déficit hídrico en todas las fases (T6) fue el mayor en relación al resto de los tratamientos (0,82). Este valor de K_y sugiere que para un déficit hídrico planificado de un 50%, se puede esperar una pérdida relativa de rendimiento de un 41%, lo que equivale a un rendimiento máximo esperado de 1,66 t ha⁻¹.

En la figura 1 se resume de forma esquematizada los valores de K_y para déficit hídrico durante diferentes fases del ciclo de crecimiento y desarrollo del café.

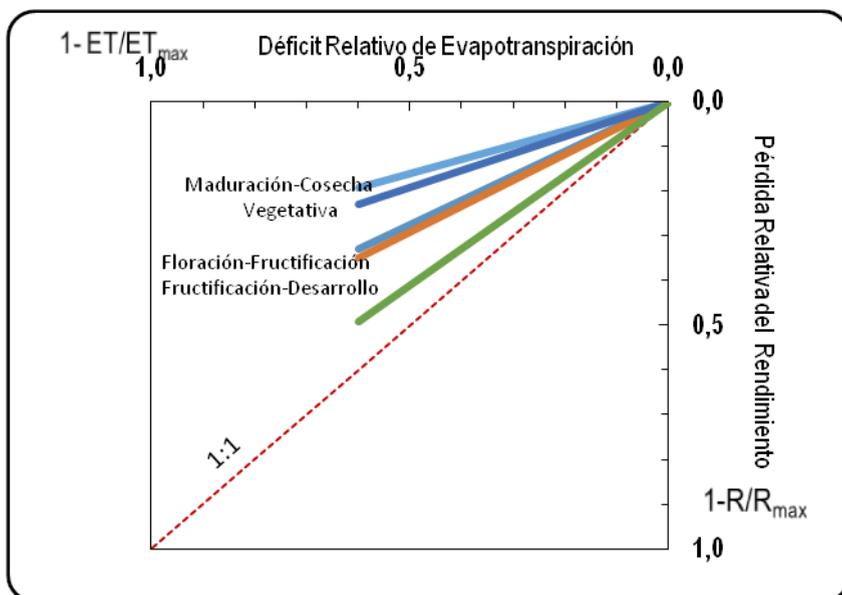


Figura 1. Relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración para déficit en diferentes fases de desarrollo del café.

Estos resultados coinciden con lo planteado por Martín de Santa Olalla y Valero (1993) y Steduto *et al.* (2012); los cuales afirman, considerando las distintas etapas del ciclo biológico, que la disminución del rendimiento debido al déficit hídrico es relativamente pequeña para la etapa de crecimiento vegetativa y maduración del fruto o grano, según el cultivo, y relativamente mayor para la etapa de floración y formación de la cosecha.

Para el cultivo del café Rezende *et al.* (2010) plantean que el tamaño de los frutos está fuertemente influenciado por las condiciones hídricas de la planta, puesto que en condiciones adecuadas de humedad ocurre la mayor expansión de los frutos, que se traduce en un mayor tamaño.

Según estudios de Rena y Maestri, (2000), el agua es responsable de la expansión del endoscarpo a través de la presión de turgencia ejercida antes de la lignificación, influyendo en el tamaño de la semilla. Por otra parte Camargo (1985), plantea que la ocurrencia de estrés hídrico en la planta durante la fase de fructificación-desarrollo del fruto, atrasa su crecimiento y aumenta el porcentaje de granos vanos.

El efecto del estrés hídrico fue observado también por Bonfim Neto *et al.* (2006) en un experimento en Minas Gerais donde comprobaron que las parcelas regadas tuvieron un incremento del 35% de productividad de granos de mayor tamaño.

Todo lo anterior se corresponde con lo planteado por Carvajal (1984) y Gómez *et al.* (2007), refiriéndose a que en el surgimiento de granos vanos juega un papel importante la desnutrición (fertilización y absorción de nutrientes por vía hídrica).

En publicaciones de la FAO de referencia para estos estudios (boletín FAO 33, Doorenbos y Kassam, 1986; Steduto *et al.*, 2012), no se informan valores del factor de sensibilidad para el café, por lo que en este trabajo no fue posible establecer comparaciones con otros autores, por lo que los resultados obtenidos pueden constituir valores de referencia para futuras investigaciones en Cuba.

CNCLUSIONES

Los valores del factor de respuesta al agua (Ky) del café, en todos los tratamientos estudiados, fueron inferiores a 1, mostrando menor sensibilidad al déficit hídrico.

La sensibilidad al déficit hídrico (Ky) en las diferentes fases de desarrollo del café varió en el siguiente orden: déficit en todas las fases > déficit en la fase de fructificación desarrollo del fruto > déficit en la fase de floración fructificación > déficit en la fase vegetativa > déficit en la fase de maduración cosecha.

El factor de respuesta del rendimiento Ky obtenido para este cultivo resulta menos que proporcional al déficit hídrico, factor no publicado en la literatura por lo que constituye un aporte y un valor de referencia para otros estudios en las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.: Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. FAO: Rome, 299 pp., 2006.

Bonfim Neto.: "Influência de diferentes lâminas de irrigação na peneira do cafeeiro irrigado por gotejamento no cerrado de Minas Gerais". In: congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras, 32., pp. 304-305, 2006.

Camargo, A. P.: "Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil". Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.20, n.7, p. 831-839.1985.

Carvajal F.J.: Café. Cultivo y fertilización. Ed. Instituto Internacional de la Potasa. 2da Ed. 254p. 1984.

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.
- Cid, G. L.; López, T. S; González, F. R; Herrera, J. P.; Ruiz, M.E.: "Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba", Revista Ingeniería Agrícola, ISSN-2227-8761, RNPS-2284, Vol. 2(2): 26-33, 2012.
- Cordeiro, L. G.; Lima, F. M.; Anselmo, J. J. y Paceli M. E.: "Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp)", Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2 (2): 153-157, 1998.
- Da Matta, F.; Rodríguez, N.: "Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica", Agronomía Colombiana, vol. 25, núm. 1, enero-junio, pp. 113-123, 2007.
- 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, 67(4):362-371, octubre-diciembre, 2007.
- Dehghanisani, H.; Nakhjavani, M.; Tahtiri, A. Z.; AayOoji, 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, Vol. 58: 105-115, 2009.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H.: Yield response to water. Irrigation and Drainage, Paper 33, Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN 92-5-300744-3. Rome, 193 pp., 1986.
- Fabeiro, C. C.; Martín De Santa Olalla, M. F.; López-Urea, R.: "Production of garlic under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate". Agricultural Water Management, ISSN 0378-3774, 59 (2): 155-167, 2003.
- Farré, I.; Fasi, 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.
- Ferreira, T.C.; Goncalves, 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, ISSN 0378-3774, Vol. 90: 45-55, 2007.

- Garg, N.K.; Sushmita, M.; Dadhich: A proposed method to determine yield response factors of different crops under deficit irrigation using inverse formulation approach, *Agricultural Water Management*, ISSN 0378-3774, 137: 68-74, 2014.
- Gomes, N. M.; Lima, L. A.; Custódio, A. A. P.: "Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, ISSN 1807-1929, 11(6): 564-570, 2007.
- Goncalo, C. R.; Pereira, L.P.: "Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs", *Biosystems Engineering*, ISSN 1537-5110, 103: 536-551, 2009.
- Hsiao, T.C.; Heng, L.; Steduto, P.; Rojas-Lara, B.; Raes, D.; Fereres, E.: "AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize, *Agronomy Journal*, ISSN 0002-1962, 101(3): 448-459, 2009.
- Instituto de meteorología. Certificado meteorológico no. 3/2011, Dim 030. Meteoservice, 443 p., 2011.
- Kipkorir, E.C; Raes, D.; Massawe, B.: "Seasonal water production function and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya", *Agricultural Water Management*, ISSN 0378-3774, 56 (3): 229-240, 2002.
- López, T.: Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del Sur de La Habana: Constitución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los balances hídricos, 105pp., Tesis (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas), Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), La Habana, Cuba, 2002.
- Martín De Santa Olalla Mañas, F. J.; De Juan Valero, J.A. En: *Agronomía del riego*. "Capítulo VII. Las funciones de producción versus agua", pp. 448-519. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, ISBN: 84-7114-425-5, 1993.
- Molden, D.; Sakthivadivel, R.; Habib, Z.: Basin-level use and productivity of water: examples from South Asia. Research Report 49. IWMI, Colombo, 2001.
- Nazeer, M.; Alí, H.: "Modeling the response of onion crop to deficit irrigation", *Journal of Agricultural Technology*, ISSN 1686-9141, 8(1): 393-402, 2012. Available online <http://www.ijat-aatsea.com>.
- Pereira, L. S.; Paredes, P.; 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*, ISSN 0378-3774, 96: 723–735, 2009
- Popova, Z.; Eneva, S.; Pereira, L.S.: "Model Validation, Crop Coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments", *Biosystems Engineering*, ISSN 537-5110, 95(1): 139-149, 2006.
- Raes, D.; Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Fereres, E.: *AquaCrop- Crop Water Productivity Model, versión 3.1*, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy, 2010.
- Rena, A.; Maestri, M.: "Relações hídricas no cafeeiro". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, ISSN 1807-1929, 7(1): 34-41, 2000.
- Rezende, F. C.; Arantes, K. R; Oliveiras, S. Dos R.; Faria, M. A.: "Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade". *Coffee Science*, Lavras, ISSN 1809-68755, (3): 229-237. 2010.
- Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Fereres, E.; Raes, D.: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*, 510 pp., Estudio FAO Riego y Drenaje 66, ISBN 978-92-5-308564-4, ISSN 0254-5284, Rome, 2012.
- Stewart, J. I.; Danielson, R. E.; Hanks, R. J.; Jackson, E. B.; Hagan, R. M.; Pruitt, W. O.; Franklin, W. T.; RILEY, J. P.: *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Utah Water Res. Lab., Logan, Utah, PRS 151-1, 1977.