



The coffee tree (*Coffea arabica* L.) response to water deficit in different development phases

Respuesta al déficit hídrico del cafeto (Coffea arabica L.) en diferentes fases de desarrollo

Dr.C. Felicita González-Robaina¹, Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas¹, Dr.C. Eugenio Montilla^{II}

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

^{II} Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP), ULA, Venezuela.

ABSTRACT. Coffee is a remarkable exportable item of Cuban economy. In the last years, its yield has been depressed, among other causes, for rainfalls scarcity 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 on the plant development phase, for that reason the present work was aimed at studying sensitivity factor on coffee tree, subjected to water deficit in different phenological stages. The study was carried out at Pinar del Río province, in coffee plantations *var. Red Caturra* in the production phase, with a density of 5 000 plants ha⁻¹. The soil was classified as Yellowish Alitico 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 water deficit on the yield, the relationship between relative yield decrease and relative evapotranspiration deficit was used. As a result, the relative yield reduction was accentuated in the phase of fructification-development of the fruit with a value of 0.58. Average value of crop sensitivity factor to water deficit (Ky) in all phases was of 0.52, indicating that coffee is tolerant to water deficit and it recovers partially from stress.

Keywords: water response, evapotranspiration, yield.

RESUMEN. En Cuba el café es 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 (Ky) 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 Alítico 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 Ky 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.

INTRODUCTION

Coffee is considered the main agricultural product of consumption in the world with a market that generates annually more than 90 trillion dollars. Near 8 % of the world's popula-

INTRODUCCIÓN

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

tion, about 500 million people are involved in coffee market, from sowing until final consumption.

At the present time, many coffee regions of the world have been affected by lengthy periods of drought, due to the decrease of the rainfalls by the variability of climate change, causing important reductions in the yields.

It is a broadly well-known fact the particular sensitivity that each phase of development of a crop presents to the environmental factors. Particularly, in the case of water stress, the blossoming phase seems to be the most sensitive in most of the crops whose final products are grains or fruits; which has been broadly documented in studies by Farré & Faci (2006); De La Casa & Ovando (2007) and Steduto *et al.* (2012).

These results are in agreement with the fact that, independently of the sowing time, the biggest rate in evapotranspiration of the crops takes place in the blossoming phases and maturation, which are the stages of development of more physiologic activity.

Stewart *et al.* (1977) developed a general model to relate relative yield decrease and relative evapotranspiration deficit. Doorenbos and Kassam (1986) and later on Kipkorir *et al.* (2002); Fabeiro *et al.* (2003); Allen *et al.* (2006); Ferreira and Gonçalves (2007); Gonçalves and Pereira (2009); Dehghanisanij *et al.* (2009); Pereira *et al.* (2009) and Garg *et al.* (2014) have used this lineal relationship to quantify the answer to water deficit of agricultural crops, by means of yield response factor (K_y) or sensitivity factor to water deficit. This factor describes the relative reduction of productivity in function of the reduction of the ET generated by deficit of plant water consumption.

The great utility of this type of approach is given in the possibility of comparing irrigation strategies to choose those that better respond to the interests of the case of study and to evaluate the impacts of water stress on agricultural production. It is also the most used as function water-yield in simulation models like the WINISAREG for programming irrigation (Popova *et al.*, 2006; Chaterlán, 2012) and in the model AquaCrop, proposed by FAO to simulate the answer to water for a great variety of crops due to their great capacity to maintain an adequate balance among accuracy, simplicity, robustness and of extrapolation inclusive to future climatic scenarios (Hsiao *et al.*, 2009; Raes *et al.*, 2010; Nazeer and Alí, 2012). The work had as objective to study the sensitivity factor of coffee trees (*Coffea arabica* L.) to water deficit in different stages of growing.

METHODS

The experimental works were developed in Pueblo Nuevo town, belonging to the Integral Forest Company (EFI) La Palma, Pinar del Río province, located, conforms LAMBERT, in North Cuba coordinates, latitude 22°46' N and longitude 82°52' E. It is between 150 m and 180 m high over the medium level of the sea. Its topography is regularly flat with slopes that go until the order of 1 %.

Researches were performed in coffee plantations (*Coffea*

millones de personas, están involucradas en el mercado del café, desde su siembra hasta su consumo final.

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, y 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), Rodrigues y Pereira (2009), Dehghanisanij *et al.* (2009), Pereira *et al.* (2009), y Garg y Dadhich (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. Este factor 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.

MÉTODOS

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 5 000

arabica L) var. Red Caturra, in a 12 year-old production phase, with an area of 1,40 net hectares, the plantation pattern was of 2,00 m x 1,00 m, for a density of 5000 plants ha⁻¹, under controlled shade of covering trees (*Glirisia Spediun* Sp) typical of the area. The method of superficial located irrigation was used with sprayers spaced 1.00 m inserted in the lateral of PEBD pipe of 25 x 21 mm, one per array of plants.

The area is characterized by an average pluviometry of 1 682.0 mm (medium of 24 years, INSMET, 2011) distributed: 23.5 % in the low rainy period (November-April) and 76.5 % in the rainy period (May-October). Reference evapotranspiration (ET_o) was 1 724.5 mm. Monthly distribution of rain and evapotranspiration average appear in Figure 1, where it can be observed that in the months of January-April, ET_o overcomes precipitation, coinciding with the months where it was possible to establish the treatments with water deficit in different stages of coffee development.

plantas ha⁻¹, bajo sombra controlada de piñón (*Glirisia Spediun* Sp.) típico de la zona. 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 1 724,5 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 café.

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, que se corresponde con un Alítico Amarillento de Baja Actividad Arcillosa Típico según Hernández *et al.* (2003), citado por Cid *et al.* (2012).

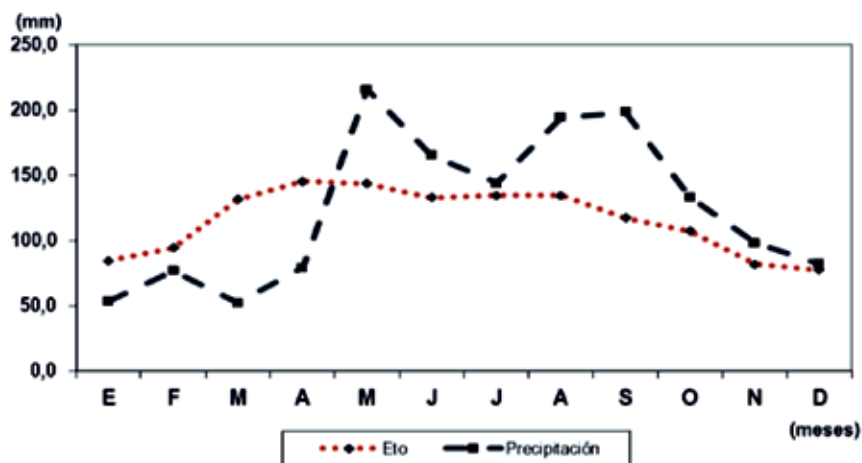


FIGURE 1. Behavior of precipitation and reference evapotranspiration in Pueblo Nuevo, Pinar del Río.
 FIGURA 1. Comportamiento de la precipitación y la evapotranspiración de referencia en Pueblo Nuevo, Pinar del Río.

The soil where the researches were made is classified as Reddish Ferrallitic Leached Yellow Quartzite according to the second genetic classification of soils of Cuba that correspond with a Yellowish Alitic of Typical Low Loamy Activity according to Hernández *et al.* (2003), cited by Cid *et al.* (2012).

The experimental design used was random blocks with six (6) treatments and four (4) repetitions. The calculation area was of 24 m² (6 x 4 m) and 8 plants per replica were taken, for a total of 32 plants in each treatment. Treatments were in function of the application of water deficit in different development stages of the crop: *T1*, without water deficit in none of the phases; *T2*, deficit in blossoming-fructification phase; *T3*, deficit in the phase of fructification development of the fruit; *T4*, deficit in maturation-harvest phase, *T5* deficit in vegetative phase and *T6* deficit in all phases.

Irrigation moment and volume of irrigation were controlled by the gravimetric method by means of taking soil samples per layers of 0.10 m until a depth of 0.60 m, and control treatment was *T1*.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis (6) tratamientos y cuatro (4) 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 café. Estos valores se utilizaron en el balance hídrico que permitieron definir las necesidades del

The taking of soil samples to know the content of humidity was carried out in those places free of weeds and far from the shade trees, trying that the extraction of water were representative of the area of water consumption of the coffee tree. These values were used in the water balance that allowed defining the necessities of the system coffee-shadow trees in each phase. For the quantification of water balances through the Balance of Masses method, the general equation of balance and the calculation methods presented by López (2002) were used:

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

where: ΔA - variation in the water sheet stored until the depth considered for the balance (mm); P - precipitation (mm); I - water applied during irrigation (mm), corresponding to the irrigation dose applied according to the frequency used; DS - superficial drain, that was rejected for being a small and relatively plane area, also the water received ($P+I$) did not surpass in any moment the sheet corresponding to the saturation of the soil; DI - internal drainage, determined as the integral of the drainage flow to the depth of the area considered for the balance (q_z), in an interval of certain time ($\Delta t = t_2 - t_1$).

$$(t = t_2 - t_1) : DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad (2)$$

where: q - flow in $\text{cm} \cdot \text{day}^{-1}$, calculated as:

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ} \quad (3)$$

where:

$K(\theta)$ - hydraulic conductivity not saturated ($\text{cm} \cdot \text{day}^{-1}$) in function of the volumetric humidity ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

It was determined starting from the curve tension-humidity adjusted to Van Genuchten model, that was substituted in the function of Mualem (1976, mentioned by López, 2002).

dH/dZ - variation of total potential that, in this case, was considered as unitary gradient taking into account the high values of humidity that the management of located irrigation maintains.

Evapotranspiration (ET) was obtained finding from the general expression of water balance (expression 1):

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

To quantify the effect of water stress on agricultural production it was used the relationship between the relative yield decrease and the relative evapotranspiration deficit proposed by Stewart *et al.* (1977) and Doorenbos and Kassam (1986), that are related through an empiric factor denominated yield response factor or crop sensitivity factor to water deficit (K_y):

$$K_y = \left[1 - \left(R / R_{\max} \right) \right] / \left[1 - \left(ET / ET_{\max} \right) \right] \quad (5)$$

Where:

R - actual yield of the crop, $t \text{ have}^{-1}$;

R_{\max} - maximum yield obtained in the best treatment in a crop very adapted under excellent conditions, when

$ET = ET_{\max}$, $t \text{ ha}^{-1}$;

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 según López (2002):

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

donde:

ΔA - 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 ($\Delta t = t_2 - t_1$).

$$(t = t_2 - t_1) : DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad (2)$$

donde:

q - flujo en $\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$, determinado como:

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ} \quad (3)$$

donde:

$K(\theta)$ - 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 sustituyó en la función de Mualem (1976), citado por 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 (K_y):

$$K_y = \left[1 - \left(R / R_{\max} \right) \right] / \left[1 - \left(ET / ET_{\max} \right) \right] \quad (5)$$

donde:

R - rendimiento real del cultivo, $t \text{ ha}^{-1}$;

R_{\max} - rendimiento máximo obtenido en el mejor tratamiento de un cultivo bien adaptado en excelentes condiciones, cuando $ET = ET_{\max}$, $t \text{ ha}^{-1}$;

ET - evapotranspiración real, mm;

ET – actual evapotranspiration, mm; ET_{max} - maximum evapotranspiration obtained in the best treatment, mm;
 K_y - yield response factor or crop sensitivity factor to water deficit, non-dimensional.

ET_{max} - evapotranspiración máxima obtenida en el mejor tratamiento, mm; K_y – factor de sensibilidad del cultivo al déficit hídrico, adimensional.

RESULTS AND DISCUSSION

In Table 1 medium values of the crop sensitivity factor to water deficit (K_y) for different coffee tree development stages are shown. It can be observed that the medium values of K_y in treatments 4 and 5, subjected to water deficit in the maturation-crop and vegetative phases, respectively, were the lowest, where the water deficit had little effect on the yield of the coffee.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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.

TABLE 1. Medium values of evapotranspiration, yield, relative evapotranspiration deficit, relative yield decrease and sensitivity factor to water deficit of coffee tree

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

Treat.	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} : real and maximum evapotranspiration (mm), respectively.
 R, R_{max} : Real and maximum yield (t ha⁻¹), respectively.

Relative yield reduction was distinct in the phase of fructification-development of the fruit (T3) with a value of 0,58 similar to 0,55 obtained in the blossoming-fructification phase (T2), and coinciding with the results from Cordeiro *et al.* (1998), that obtained the biggest values in K_y in the phases blossoming and filling of the grain in bean cropping. It demonstrated that, although the values of K_y are below one, these are the phases of more sensitivity to the water deficit. Average value of crop sensitivity factor to water deficit (K_y) in all the phases was of 0,52.

The value of K_y in the treatment with water deficit in all the phases (T6) was the greatest in relation to the rest of the treatments (0,82). This value of K_y suggests that for a planned water deficit of 50%, a relative yield decrease of 41% can be expected, what is equal to a prospective maximum yield of 1,66 t ha⁻¹.

In Figure 1, the values of K_y for water deficit during different phases of coffee cycle of growth and development, are showed in a schematized way.

These results coincide with that outlined by De Santa Olalla and De Juan (1993), and Steduto *et al.* (2012); which affirm, considering the different stages of the biological cycle, that yield decreasing due to the water deficit, is relatively small for the vegetative stage of growth and maturation of the fruit or grain, according to the crop, and relatively higher for the stage of blossoming and formation of the crop.

For coffee crop Rezende *et al.* (2010) outline that the size of

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

Estos resultados coinciden con lo planteado por De Santa Olalla y De Juan (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

the fruits is strongly influenced by water conditions of the plant, since under appropriate conditions of humidity, the biggest expansion in the fruits that produces a bigger size happens.

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.

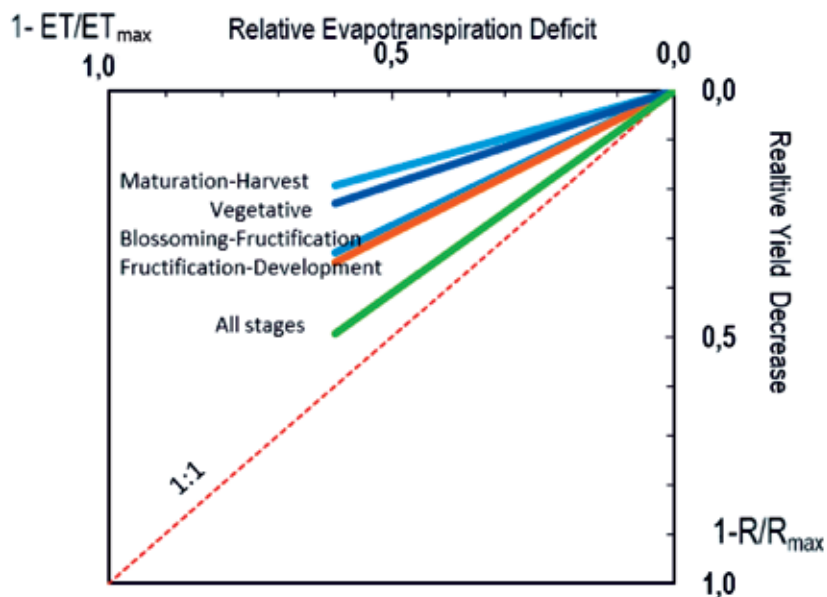


FIGURE 2. Relationship between relative yield decrease and relative evapotranspiration deficit for water deficit in different phases of coffee tree development.
 FIGURA 2. Relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración para déficit en diferentes fases de desarrollo del café.

According to studies of Rena and Maestri (2000), water is responsible for the expansion of the endocarp through the pressure of emergence before the lignification, influencing in the size of the seed. On the other hand Camargo (1985) outlines that the occurrence of water stress in the plant during the phase of fructification-development of the fruit delays its growth and increase the percentage of vain grains.

The effect of water stress was also observed by Net Bonfim (2006) in an experiment in Mines Gerais, where he checked that irrigated parcels had an increment of 35% of productivity of grains of greater size.

All the above-mentioned correspond with that outlined by Carvajal (1984), referring to that in the emergence of vain grains, malnutrition (fertilization and absorption of nutritious via water) plays an important role.

In FAO publications of reference for these studies (Bulletin FAO 33, Doorenbos and Kassam, 1986; Steduto *et al.*, 2012), values of sensitivity factor are not informed for coffee tree, consequently in this work it was not possible to establish comparisons with other authors, and the results obtained can constitute reference values for future investigations in Cuba.

CONCLUSIONS

- The values of coffee tree yield response factor (K_y), in all treatments studied, were inferior to 1, indicating that coffee tree is tolerant to water deficit and it recovers partially from the stress.
- The sensitivity factor to water deficit (K_y) in the different development phases of coffee tree varied in the following

Según estudios de Rena y Maestri (2000), el agua es responsable de la expansión del endocarpio 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 Bomfim-Neto (2006), en un experimento en Minas Gerais donde comprobó 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), 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 (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.

CONCLUSIONES

- Los valores del factor de respuesta del rendimiento (K_y) del café, en todos los tratamientos estudiados, fueron inferiores a 1, indicando que el café es tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés.
- La sensibilidad al déficit hídrico (K_y) en las diferentes fases de desarrollo del café varió en el siguiente orden: déficit en

order: deficit in all phases > deficit in the phase of fructification development of the fruit > deficit in the phase of blossoming-fructification > deficit in vegetative phase > deficit in maturation-harvest phase.

- The yield response factor or sensitivity factor (K_y) obtained for this crop is less than proportional to the water deficit, factor that has not been published in the literature, therefore it constitutes a contribution and a reference value for other studies under the pedological conditions of Cuba.

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 o factor de sensibilidad (K_y) 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.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO, Roma, 299 p., 2006, ISBN: 978-92-5-304219-7.
- BOMFIM-NETO, H.: “Influência de diferentes lâminas de irrigação na peneirado cafeeiro irrigado por gotejamento no cerrado de Minas Gerais”, En: *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, Ed. Fundação Procafé, Brasil, pp. 304-305, 2006.
- CAMARGO, Â.P. de: “Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil”, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20(7): 831-839, 1985, ISSN: 1678-3921.
- CARVAJAL, J.F.: *Cafeto: cultivo y fertilización*, Ed. Instituto internacional de la potasa, Worblaufen-Bern, 254 p., 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*, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 156 p., 2012.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31, 2012, ISSN: 2227-8761.
- CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A. dos; MIRANDA, E.P. de; CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A. dos; MIRANDA, E.P. de: “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, ISSN: 1415-4366, DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v02n02p153-157.
- 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*, 67(4): 362-371, 2007, ISSN: 0365-2807, DOI: 10.4067/S0365-28072007000400004.
- DE SANTA OLALLA, M.F.M.; DE JUAN, V.J.A.: *Agronomía del riego*, Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 732 p., 1993, ISBN: 978-84-7114-425-6.
- DEHGHANISANI, H.; NAKHJAVANI, M.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*, 58(1): 105-115, 2009, ISSN: 1531-0361, DOI: 10.1002/ird.397.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H.: *Yield response to water*, ser. Irrigation and Drainage, no. ser. 33, Ed. FAO, Rome, Italy, 193 p., 1986.
- FABEIRO, C.C.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; LÓPEZ-URREA, R.: “Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate”, *Agricultural Water Management*, 59(2): 155-167, 2003, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00125-7.
- 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”, *Agricultural Water Management*, 83(1): 135-143, 2006, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2005.11.001.
- FERREIRA, T.C.; GONÇALVES, D.A.: “Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate”, *Agricultural Water Management*, 90(1): 45-55, 2007, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2007.02.012.
- GARG, N.K.; DADHICH, S.M.: “A proposed method to determine yield response factors of different crops under deficit irrigation using inverse formulation approach”, *Agricultural Water Management*, 137: 68-74, 2014, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2014.02.008.
- 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*, 101(3): 448-459, 2009, ISSN: 1435-0645, DOI: 10.2134/agronj2008.0218s.
- INSMET (INSTITUTO DE METEOROLOGÍA): *Certificado meteorológico*, no. 3, Inst. Instituto de Meteorología, Dim 030, La Habana, Cuba, 443 p., Meteoservice, 2011.

- KIPKORIR, E.C.; RAES, D.; MASSAWE, B.: "Seasonal water production functions and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya", *Agricultural Water Management*, 56(3): 229-240, 2002, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00034-3.
- 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., Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 2002.
- NAZEER, M.; ALI, H.: "Modeling the response of onion crop to deficit irrigation", *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 393-402, 2012, ISSN: 1686-9141.
- 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*, 96(5): 723-735, 2009, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2008.10.013.
- 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*, 95(1): 139-149, 2006, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.05.013.
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.: *AquaCrop - Crop Water Productivity Model*, (Versión 3.1), Ed. FAO, Rome, Italy, 2010.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M.: "Relações hídricas no cafeeiro", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(1): 34-41, 2000, ISSN: 1415-4366, 1807-1929.
- REZENDE, F.C.; ARANTES, K.R.; OLIVEIRA, S. dos R.; FARIA, M.A. de: "Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade", *Coffee Science*, 5(3): 229-236, 2010, ISSN: 1984-3909.
- RODRIGUES, G.C.; PEREIRA, L.S.: "Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs", *Biosystems Engineering*, 103(4): 536-551, 2009, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.05.002.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D.: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*, [en línea], ser. Estudio FAO: Riego y Drenaje, no. ser. 66, Ed. FAO, Rome, Italy, 510 p., 2012, ISBN: 978-92-5-308564-4, Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015001461>, [Consulta: 22 de junio de 2016].
- STEWART, J.; HAGAN, R.; PRUITT, W.; DANIELSON, R.; FRANKLIN, W.; HANKS, R.; RILEY, J.; JACKSON, E.: *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*, [en línea], Inst. Utah Water Res. Lab., Logan, Utah, 151 p., 1977, Disponible en: http://digitalcommons.usu.edu/water_rep/67, [Consulta: 22 de junio de 2016].

Received: 20/10/2016.

Approved: 15/06/2017.

Felicit González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana. Cuba, E-mail: dptoambiente4@iagric.cu

Enrique Cisneros-Zayas, E-mail: dptoriegol@iagric.cu

Eugenio Montilla, E-mail: eugmonti@ula.ve

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.