

ARTÍCULO ORIGINAL



<https://eqrcode.co/a/z7oHir>

Determinación de la evapotranspiración en plantaciones jóvenes de *Cedrela odorata* L. bajo riego

Determination of Evapotranspiration in Young Plantations of Cedrela Odorata L. under Irrigation

Ing. Juan Carlos Pozo-Vázquez^{1*}, Dr.C. Teresa López-Seijas¹, Ing. Isabel Mora-Morales¹, Dr.C. Manuel Reinaldo Rodríguez-García¹¹

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

¹¹ Fabricados Electromecánicos Estévez FABREZ, S.L. La Habana, Cuba.

RESUMEN. *Cedrela odorata* L. es una especie importante para la producción de madera, acelerar el crecimiento fisiológico de la especie es un elemento importante para manejar este proceso y lograr en menor tiempo mejores individuos. Este trabajo se trazó como objetivo general evaluar el comportamiento de la evapotranspiración de plantaciones jóvenes de *Cedrela odorata* L. bajo riego en diferentes condiciones de asociación de cultivo con respecto a plantaciones en secano. Se establecieron en un área experimental en el sur de La Habana, en un suelo Ferralítico Rojo compactado, tres tratamientos que involucraron plantaciones establecidas de cedro en diferentes condiciones: T1- secano, T2- bajo riego por goteo y T3 intercalado con plátano bajo riego por goteo; se evaluó la dinámica de humedad del suelo y el potencial hídrico foliar en plantas seleccionadas y se registraron las variables climáticas y el número y dosis de los riegos aplicados; estos elementos permitieron realizar el balance hídrico para la determinación de la evapotranspiración del cultivo en cada condición evaluada, utilizando el balance de masas. Los valores de evapotranspiración anual del cultivo estuvieron como promedio en 2500 mm para el cedro bajo riego y 952 mm en secano. Se definen coeficientes de cultivo de $K_c=1,7$ para plantaciones de cedro bajo riego y para las plantaciones asociadas bajo riego de $K_c = 1,4$. El tratamiento en asociación (T3) resultó el de mayor altura de las plantas, con valores promedios de 5.6 m de altura, lo que reafirma su efectividad para el crecimiento acelerado de estas plantaciones.

Palabras clave: balance hídrico, consumo de agua, coeficiente de cultivo, profundidad radical efectiva.

ABSTRACT. *Cedrela odorata* L. is an important species for wood production, accelerating the physiological growth of the species is an important element to manage this process and achieve better individuals in less time. This work was aimed as a general objective to evaluate the evapotranspiration behavior of young plantations of *Cedrela odorata* L. under irrigation in different conditions of crop association with respect to rainfed plantations. Three treatments involving established cedar plantations under different conditions were established in an experimental area in southern Havana, on compacted Red Ferralitic soil: T1- rainfed, T2- under drip irrigation and T3 interspersed with plantain under irrigation by drip; soil moisture dynamics and leaf water potential in selected plants were evaluated and climatic variables and the number and dose of irrigation applied were recorded; These elements made it possible to carry out the water balance to determine the evapotranspiration of the crop in each evaluated condition, using the mass balance. The annual evapotranspiration values of the crop were on average in 2500 mm for the cedar under irrigation and 952 mm in dry land. Crop coefficients of $K_c = 1,7$ are defined for cedar plantations under irrigation and for associated plantations under irrigation of $K_c = 1,4$. The treatment in association (T3) was the one with the highest height of the plants, with average values of 5.6 m in height, which reaffirms its effectiveness for the accelerated growth of these plantations.

Keywords: Water Balance, Water Consumption, Crop Coefficient, Effective Radical Depth.

*Autor para correspondencia: Juan Carlos Pozo Vázquez, e-mail: juanvazquez1992@gmail.com

Recibido: 13/02/2018.

Aprobado: 12/06/2020.

INTRODUCCIÓN

La producción de madera es una de las funciones económicas más importantes de los bosques en el mundo, representando el 34% de los bosques existentes. Una de las especies más apreciadas para este fin es la *C. odorata* L. En los últimos años se ha demostrado que las plantaciones de esta especie en sistemas agroforestales (asociadas con cultivos perennes) permiten un uso sostenible de la tierra, favoreciendo la diversificación de las producciones y la conservación de los recursos naturales (Navarro *et al.*, 2004; Ramírez G *et al.*, 2008; Tamayo *et al.*, 2012; Villaseñor *et al.*, 2012; Castro, 2017; Mata *et al.*, 2018).

Se plantea además que estos árboles maderables de alto valor comercial crecen más en diámetro y altura en sistemas agroforestales que en plantaciones puras y en particular cuando están bajo riego (Guerra *et al.*, 2010; Del Castillo y Tarnowski, 2011).

En Cuba, la *C. odorata* L es una especie importante para la producción de madera y en particular para la producción de humidores de tabaco que constituyen un rubro importante para la economía nacional. Diversos autores plantean que su desarrollo fisiológico se acelera bajo condiciones de riego y permite lograr en menor tiempo mejores individuos (Navarro *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2008).

Para optimizar el manejo del riego de estas plantaciones resulta esencial determinar sus necesidades hídricas a partir de cuantificar la evapotranspiración en diferentes condiciones de plantación. Según Allen *et al.* (2006), la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde, a través de la superficie del suelo, por evaporación y mediante la transpiración del cultivo. Estos procesos ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre ambos. Los factores principales que la afectan son el clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo.

De acuerdo con estos autores, los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de la evapotranspiración de referencia, ETo, que representa un indicador de la demanda climática. Las características particulares del cultivo y su estado de desarrollo se resumen en el coeficiente de cultivo, Kc, a partir del cual se puede estimar la evapotranspiración de los cultivos.

Por otra parte, los trabajos de López *et al.* (2016), definen bases metodológicas y herramientas para la cuantificación precisa de la evapotranspiración de los cultivos a partir de la realización de balances hídricos del suelo, considerando la información disponible en Cuba.

No obstante, en el contexto internacional y nacional, no existen referencias sobre valores de la evapotranspiración de plantaciones de *C. odorata* L., que permitan definir sus necesidades hídricas y el manejo adecuado del riego.

Teniendo en cuenta todo lo planteado, este trabajo se traza como objetivo fundamental evaluar el comportamiento de la evapotranspiración en diferentes condiciones de plantaciones jóvenes de *Cedrela odorata* L. bajo riego (puras y asociadas con plátano) con respecto a plantaciones en secano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), situada en Alquizar, provincia Artemisa, con las coordenadas: Latitud 22° 46' 50" N y Longitud 82° 36' 5" O, a una altura sobre el nivel medio del mar de 6 m y a 12 km de la costa.

El suelo presente en esta Estación es Ferralítico Rojo compactado, característico de toda la zona sur de La Habana, perteneciente a las provincias de Artemisa y Mayabeque. Esta zona forma parte de la llanura cársica Habana-Matanzas, muy plana, con una altura inferior a 6 metros sobre el nivel medio del mar.

TABLA 1. Principales propiedades hidrofísicas del suelo Ferralítico rojo compactado de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola según (Cid *et al.*, 2011)

| Prof. cm | Da t m ⁻³ | Capacidad de campo cm ³ cm ⁻³ | Arena % | Limo % | Arcilla % | Humedad a saturación cm ³ cm ⁻³ |
|-------------|-------------------------|---|------------|-----------|--------------|---|
| 20 | 1,18 | 0,394 | 20,9 | 57,4 | 21,7 | 0,48 |
| 40 | 1,28 | 0,431 | 17,7 | 61,8 | 20,5 | 0,53 |
| 60 | 1,20 | 0,397 | 28,9 | 62,8 | 14,3 | 0,54 |
| 80 | 1,20 | 0,396 | 28,3 | 61,4 | 18,3 | 0,49 |

Según estos autores de acuerdo a su funcionamiento hídrico, el suelo presenta un comportamiento diferenciado en la capa de 0-30 cm con respecto a los valores de densidad aparente, el proceso de retención de humedad y de la conductividad hidráulica. A partir de los 40 cm hay una capa más compactada que diferencia estos procesos hidrodinámicos

Para el estudio se utilizó una ha de plantación de *C. odorata* L. plantada en septiembre de 2015. El marco de plantación empleado fue de 3,5m x 3,5 m. La plantación se desarrolló bajo tres condiciones de tratamientos:

- T1-Secano
- T2-Con riego localizado

- T3-Intercalada con un cultivo bajo riego localizado

Como cultivo asociado se utilizó el clon de Plátano Burro CEMSA (Musa ABB), que, según estudios antecedentes para las condiciones de Cuba, es uno de los clones de menor consumo de agua (Martínez y Rodríguez, 2015). En ningún caso se aplicó fertilizantes.

Se presentaron problemas sanitarios por el ataque del barrenador *Hypsipyla grandella* que se desplegó en una superficie en 15 árboles, sin embargo, no causó grandes estragos en las plantaciones. Se recomendó para combatir la plaga que se empleara los insecticidas Reyen® y Rimón®. Lo cual la dosis adecuada fuese de 1,5 l ha⁻¹.

La entrega de agua de las plantaciones se realizó con un sistema de riego localizado, empleando la técnica de riego por goteo, con emisores auto-compensantes, de caudal medio de 4 l h⁻¹ a 100 kPa de presión, dispuestos en franja continua de humedecimiento y espaciados a 60 cm, en laterales de PEBD de 16 x 13 mm, dispuestos uno por hilera de plantas, con un total de 28 laterales. Durante el período de investigación, las plantas de los tratamientos (T2 y T3) presentan un porcentaje de área bajo riego (PAR) de 55,7% y recibieron el mismo volumen de agua de riego (353,6 m³ en 8h), el cual fue medido por metro contadores tipo Woltman con precisión de 0,001 m.c.a. El riego se efectuó de acuerdo con la estrategia de intervalo fijo (cada tres días).

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, como factor de estudio se consideraron los tratamientos, con tres niveles:

- T1-Secano
- T2-Con riego localizado
- T3-Intercalada con un cultivo (con riego)

Como variables dependientes se consideraron:

- D_{1,30} (diámetro del tronco medido a 1,30 m de altura, en cm)
- H (altura total, m)
- G (área basal, m²)

Para la medición del diámetro se empleó un Pié de Rey y para la altura una vara graduada. El número de réplicas por tratamiento fue de 37.

Para determinar el efecto de los tratamientos se utilizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) y la prueba a posteriori de Duncan.

El balance hídrico del suelo se cuantificó para calcular la evapotranspiración de las diferentes plantaciones evaluadas, y analizar comparativamente el comportamiento de sus elementos. Se aplicó para ello el método de Balance de Masas según López *et al.* (2016), asumiendo la simplificación de un gradiente unitario constante del potencial total del agua hasta la profundidad de 1 m considerada para el balance.

Para la cuantificación de los balances hídricos por el método de Balance de Masas, se utilizó la ecuación general descrita por López *et al.* (2016):

$$\Delta A = (P + I) - (DI + DS + ET_c)$$

donde:

ΔA - Variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance (mm), la que se calcula a partir del producto de la humedad volumétrica promedio de la capa por la profundidad en mm.

P- Precipitación (mm), que se tomó de los registros pluviométricos del área de estudio.

I- Agua aplicada por riego (mm), contabilizada a partir del registro de campo

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 condición de saturación del suelo,

DI- Drenaje interno, determinado según las expresiones siguientes López *et al.* (2016):

$$D = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad q = -K(\theta) \frac{dH}{dz}$$

donde:

q- flujo del agua a la profundidad considerada para el balance (mm días⁻¹)

K(θ)- conductividad hidráulica no saturada (mm día⁻¹) en función de la humedad volumétrica θ (cm³ cm⁻³)

$\frac{dH}{dz}$ -es el gradiente de potencial total del agua, H, asumido $\frac{dH}{dz}$ constante e igual a 1.

ET_c- Evapotranspiración del cultivo en el periodo de tiempo analizado, que se calcula por despeje como:

$$ET_c = (P + I) - (DI + DS + \Delta A)$$

Para el seguimiento de la humedad por capas del perfil del suelo se utilizó la sonda electromagnética de profundidad PP2 con medidor HH2 (Delta-T Devices Ltd) la cual fue calibrada para el sitio específico del área experimental según López *et al.* (2018). Los resultados permitieron definir la ecuación de calibración específica siguiente:

$$W_v = 0,015 \cdot \text{LecturaPP2} + 31,912 \text{ (\% Vol.)},$$

donde:

W_v- humedad volumétrica (% Vol.) y Lectura PP2- medición con la sonda PP2 en mV.

El coeficiente del cultivo, K_c, se determinó según lo definido por Allen *et al.* (2016): ET_c/ ET_o= K_c. Para ello se calculó la evapotranspiración de referencia, ET_o, a partir de los valores de la evaporación del evaporímetro Clase A (E_o), registrados en la zona de estudio y utilizando un coeficiente de cubeta K_{pan}=0,85, determinado experimentalmente en trabajos antecedentes para estas mismas condiciones Bernal (1996), según la relación:

$$ET_o = K_{pan} * E_o.$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la humedad del suelo en las plantaciones de *C. odorata* L. evaluadas

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la humedad por cada capa del perfil del suelo evaluada, en las diferentes condiciones de plantación de la *C. odorata* L. Como se puede apreciar la dinámica de la humedad varía para la plantación intercalada con respecto a la pura, aun cuando el manejo del riego fue el mismo. Este comportamiento se asocia a la influencia de la cobertura de la superficie del suelo en la condición de asociación de cultivos, sobre la disminución de la evaporación desde la superficie del suelo.

En esta misma Figura, la comparación de los tratamientos bajo riego con la condición de secano refleja la mayor disponibilidad de humedad que se establece en ambas condiciones de plantación, lo que se verá reflejado en el mayor consumo de agua por la planta.

En la Tabla 2 se resumen los valores anuales de la evapotranspiración del cultivo en cada una de las condiciones

de plantación analizadas, a partir de los balances hídricos de masa realizados. Como se puede apreciar la evapotranspiración anual del cultivo en las plantaciones de cedro bajo riego (T2 y T3) superan los 2500 mm, mientras que en condiciones de secano (T1) alcanza 952 mm. A su vez, la comparación entre la

evapotranspiración anual en plantaciones puras de *C. odorata* L. (T2) respecto a la intercalada con plátano (T3), refleja una reducción de la ETc de 172 mm en la condición de asociación de cultivos, lo que está relacionado con el efecto ya analizado de la cobertura del suelo.

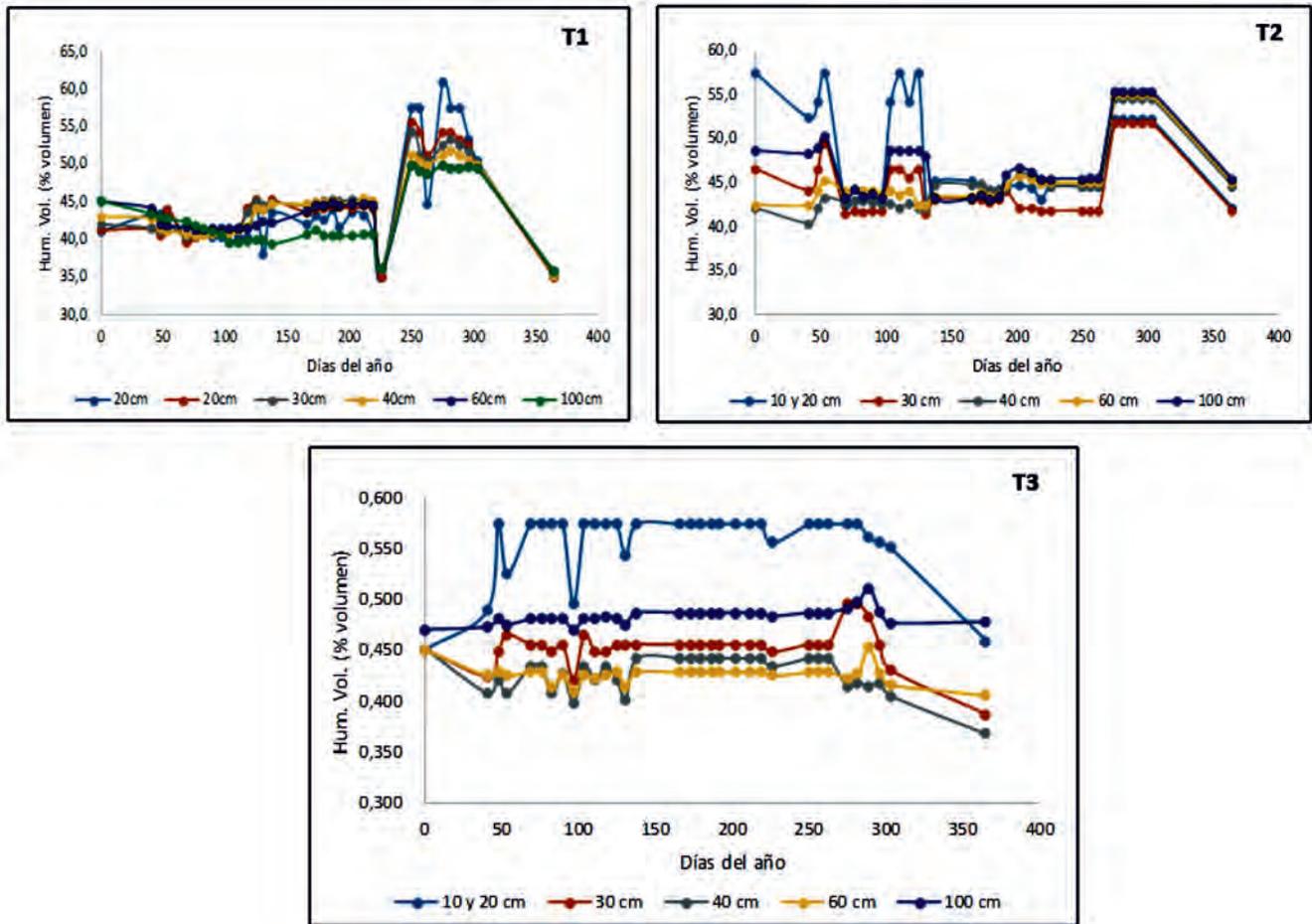


FIGURA 1. Comportamiento de la humedad por capas del perfil de suelo, en las plantaciones de *C. odorata* L. evaluadas: T1- secano, T2- plantación pura bajo riego; T3- plantación intercalada bajo riego.

Por otra parte, se analiza en la Figura 2 el comportamiento del aporte de las diferentes capas del perfil del suelo a los valores de la evapotranspiración anual. Como se puede observar, en condiciones de secano, aunque el mayor aporte se tiene en la capa superficial de 0-20 cm, hay un aporte importante de las capas más profundas, lo que apunta a que las raíces activas se extienden hasta los 100 cm buscando la humedad de estas capas.

Por su parte, en la plantación pura bajo riego (T2), a partir de los 40 cm de profundidad del perfil del suelo, los aportes al valor total de evapotranspiración se reducen significativamente (6%), por lo que puede decirse que el mayor aporte al consumo

de agua lo hacen las raíces en la capa de 0-40 cm (94%). Esto reafirma lo encontrado en estudios realizados en esta misma área para el perfil radical de esta plantación, donde a esta profundidad se encontraron la mayoría de las raíces efectivas.

No obstante, en el caso de la plantación intercalada con plátano bajo riego (T3), el aporte de la capa 40-60 cm, aún resulta importante para el valor de evapotranspiración total (12%) y muy similar al de la capa 20-40 cm (14%), mientras que se reduce el aporte de la capa superficial por el efecto de la cobertura del suelo. En este caso la mayoría de las raíces efectivas pueden ubicarse hasta los 60 cm (97%).

TABLA 2. Valores totales de la evapotranspiración anual de las plantaciones de *C. odorata* L. evaluadas (T1- secano, T2- bajo riego, T3- intercalada bajo riego)

| Tratamiento | ETc anualn(mm) | Diferencias con respecto a T1-secano (mm) | Diferencia entre T3 y T2 (mm) |
|-------------|----------------|---|-------------------------------|
| T1 | 952 | - | - |

| Tratamiento | ETc anual(mm) | Diferencias con respecto a T1-secano (mm) | Diferencia entre T3 y T2 (mm) |
|-------------|---------------|---|-------------------------------|
| T2 | 2772 | 1820 | - |
| T3 | 2944 | 1992 | 172 |

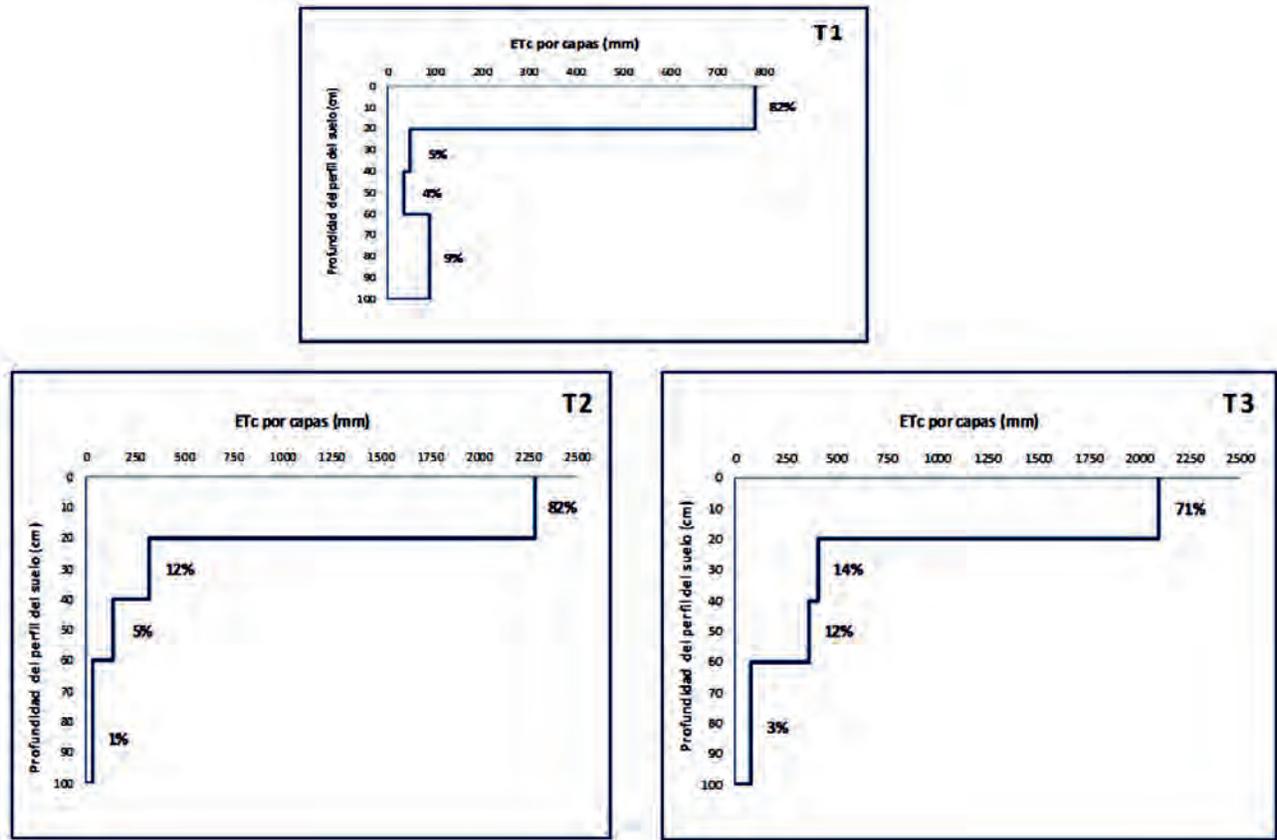


FIGURA 2. Comportamiento de los aportes por capas del perfil de suelo a la evapotranspiración total de las plantaciones de *C. odorata* L. evaluadas: T1- secano, T2 - plantación pura bajo riego; T3- plantación intercalada bajo riego.

En la Figura 3 se presenta el comportamiento de la evapotranspiración diaria para los tres tratamientos evaluados y en la Tabla 3 los valores promedios por meses. Como se aprecia, esta oscila entre 1,5 mm - 2,6 mm para la plantación en secano (T1) y varía para los diferentes periodos del año en función de la disponibilidad del agua que ofrecen las condiciones climáticas, con los mayores valores en los meses de julio-octubre, que se ven favorecidos con las precipitaciones y los menores valores en los meses de marzo-mayo, de menores ingresos por lluvias.

Bajo condiciones de riego estos valores de evapotranspiración diaria se incrementan en más de tres veces, oscilando entre 6 mm - 9 mm (T2 y T3). Los mayores valores se presentan en los meses de noviembre a febrero (entre 8 mm - 9 mm) y los menores valores en los meses de marzo a noviembre (media de 6 mm). Cabe señalar que para la condición de plantación intercalada los valores de ETc en la capa más superficial (0-20 cm) se reducen en alrededor de 2 mm/día con respecto a la plantación pura, lo que valida el efecto ya señalado de la reducción de la evaporación por la cobertura del suelo.

Los valores de ETc diaria resultan similares y en algunos me-

ses superiores a los encontrados en estudios antecedentes como valores punta para los cultivos de banano y plátanos (entre 5–6 mm día⁻¹, según Rodríguez y Martínez (2017), por lo que puede considerarse que en esta asociación el cultivo del plátano no estuvo sometido a estrés hídrico.

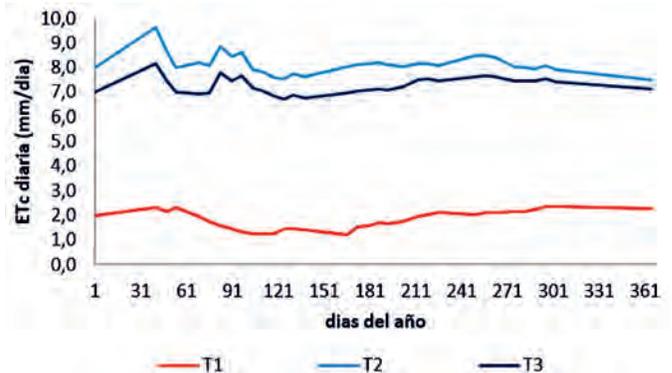


FIGURA 3. Comportamiento de la evapotranspiración diaria de las plantaciones de *C. odorata* L., en las diferentes condiciones evaluadas: T1- secano, T2 - plantación pura bajo riego; T3- plantación intercalada bajo riego.

Existen pocos trabajos en la literatura internacional que presenten valores de evapotranspiración para este tipo de plantaciones y ninguno en condiciones de riego. Villaseñor *et al.* (2012), en una zona semiárida del valle del Yaqui, en Sonora, México, obtuvo valores de ETc anuales para plantaciones de *C. odorata L.* de 1320 mm, algo superiores a los obtenidos en este trabajo para la condición de secano.

En la Tabla 3 se resumen los coeficientes de cultivo, Kc, determinados para cada uno de los tratamientos, considerando los valores de ETc de la capa activa (0-40 cm). Como se puede apreciar, los valores de Kc para las plantaciones de cedro bajo riego, difieren, aunque levemente, para las dos condiciones bajo riego evaluadas y superan cerca de tres veces el valor obtenido de Kc para la condición de secano. El análisis de los Kc considerando la variación de la ETc y ETo por meses no resultó **relevante** ya que las plantaciones evaluadas están en una misma etapa de desarrollo al ser plantaciones establecidas, por lo que se define un único valor de Kc para todo el año.

Por otra parte, el valor de Kc propuesto para la condición de asociación con el plátano resultó algo superior al rango definido en estudios antecedentes para cultivos de banano y plátanos (Kc entre 1,0 – 1,2, según Rodríguez y Martínez (2017), por lo que se asegura también cubrir las necesidades hídricas de este cultivo.

Los valores de Kc reflejados en la Tabla 3 son los que se proponen para utilizar en la programación del riego en condiciones de plantaciones establecidas de cedro, con diferencias para

plantaciones puras y para las que están en asociación con plátano. Esta diferencia se asocia a lo ya analizado anteriormente de la disminución de la ETc por el efecto de la menor evaporación desde la superficie del suelo en la condición de asociación con plátano.

TABLA 3. Valores promedios del coeficiente de cultivo, Kc, para las plantaciones de *C. odorata L.* evaluadas (T1- secano, T2- bajo riego, T3- intercalada bajo riego)

| | TRATAMIENTOS | | |
|-------------|--------------|-----|-----|
| | T1 | T2 | T3 |
| Kc promedio | 0,45 | 1,7 | 1,4 |

No existen en la literatura internacional referencias de trabajos que hayan determinado valores de Kc para este tipo de plantaciones. No obstante, en la misma área de estudio, un trabajo antecedente no publicado, evaluó las plantaciones de cedro bajo riego, utilizando para su programación un Kc=0,75, obteniendo los mejores resultados en cuanto al crecimiento y diámetro de las plantas con respecto al secano. Sin embargo, este valor no fue determinado experimentalmente sino tomado como criterio para el riego.

Mediante la prueba de ANOVA se comprobó el efecto significativo de los tratamientos sobre el comportamiento de las variables analizadas ($p < 0,05$). En la Tabla 4, se presentan los valores promedios por tratamientos.

TABLA 4. Resultados por tratamientos de las variables diámetros y altura (valor medio±sd)

| TRATAMIENTOS | Diámetro (cm) | Altura (m) |
|--|---------------|------------|
| T1 (Secano) | 7,5±1,2c | 3,2±1,2c |
| T2 (<i>C. odorata</i>) / (Riego) | 8,8±1,4a | 4,5±1,4b |
| T3 (<i>C. odorata</i>) / (Intercalado) | 8,6±1,6b | 5,6±1,1a |

Letras desiguales indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la prueba de Duncan

El tratamiento de secano (T1) tuvo el menor desarrollo en comparación con los de riego (T2 y T3). De estos últimos, el tratamiento T3 presenta el mejor comportamiento, con los valores mayores de altura de las plantas, lo que reafirma que esta asociación permite cubrir los requerimientos hídricos del cultivo y un desarrollo acelerado de la plantación.

Diversos autores que han estudiado el desarrollo de la *C. odorata L.* Villarreal *et al.* (2006); López y Musálem (2007); Tamayo *et al.* (2012); Villaseñor *et al.* (2012) y Méndez (2016), expresan que el mejor método para su rápido crecimiento en plantaciones establecidas es el método Tauya (intercalado). No obstante, ninguno de estos trabajos ha evaluado este tipo de plantaciones asociadas bajo riego.

Estudios de diferentes especies forestales bajo riego, han observado mayor desarrollo del diámetro y la altura de las plantaciones en estas condiciones con respecto a las de secano. Guerra *et al.* (2010) estudiaron el efecto de sistemas de riego (microaspersión, goteo y por surco) en la rentabilidad de una plantación de eucalipto en la región del Bío Bío en Chile, demostrando la efectividad del riego para el incremento del desarrollo de las plantaciones. Por otra parte Del Castillo y Tarnowski (2011), evaluaron diferentes especies de cedro bajo

riego localizado en Argentina y concluyen que es uno de los sistemas de producción intensiva en la cual se obtienen en tiempos relativamente cortos, comparados con los ciclos biológicos naturales, productos madereros en elevada cantidad y calidad.

CONCLUSIONES

- La evapotranspiración anual del cultivo en las plantaciones de *C. odorata L.* bajo riego supera los 2500 mm, más del doble de la condición de secano (952mm) y más del 90% de ese valor es aportado por la capa de 0-40 cm de profundidad del suelo.
- En plantaciones de *C. odorata L.* asociadas con plátano burro, bajo riego, la evapotranspiración anual se reduce cerca del 10% con respecto a la pura, lo que se asocia al efecto de la cobertura del suelo, y más del 90% de este valor es aportado por la capa de 0-60 cm de profundidad del suelo.
- Los mayores valores de la evapotranspiración diaria del cultivo en las plantaciones de *C. odorata L.* bajo riego, se presentan en los meses de noviembre a febrero (entre 8 – 9 mm día⁻¹) y los menores valores en los meses de marzo a noviembre (media de 6 mm día⁻¹).

- Se define un coeficiente de cultivo promedio $K_c = 1,7$ para el manejo del riego en condiciones de plantaciones establecidas de *C. odorata* L, y $K_c = 1,4$ para las plantaciones en asociación con plátano burro bajo riego.
- El mejor tratamiento con respecto a la variable altura de las plantas, resultó la asociación de *C. odorata* L. con plátano bajo riego (T3), con valores promedios de 5,6 m, lo que demuestra su efectividad en el desarrollo acelerado de este tipo de plantación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: “Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”, *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 56: 322, 2006, ISSN: 0254-5293.
- BERNAL, P.L.: “Measured and Calculated Evapotranspiration in South Havana, Cuba.”, En: *International Conference in Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. ASAE/ Irrigation Assoc./ ICID.*, *International Conference in Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, Ed. ASAE/ Irrigation Assoc./ ICID, pp. 924-927, 1996.
- CASTRO, S.R.J.: *Almacenamiento de carbono y análisis de rentabilidad en sistemas agroforestales con Coffea arabica (L.) en la zona de Los Santos, Costa Rica, [en línea]*, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Tesis Ing. Forestal, 2017, *Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9395>*.
- CID, L.G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, P.M.E.: “Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 42-46, 2011, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- DEL CASTILLO, E.M.; TARNOWSKI, C.G.: *El riego localizado como alternativa silvícola para plantaciones de especies de alto valor, [en línea]*, INTA, Argentina, 2011, *Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos>*.
- GUERRA, E.; HERRERA, M.A.; DRAKE, F.: “Efecto de los sistemas de riego en la rentabilidad de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)”, *Agrociencia*, 44(1), 2010, ISSN: 1405-3195.
- LÓPEZ, S.E.; MUSÁLEM, M.A.: “Sistemas agroforestales con cedro rojo, cedro nogal y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en Los Tuxtlas, Veracruz, México”, *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1): 59-66, 2007, ISSN: 0186-3231, e-ISSN: 2007-3828.
- LÓPEZ, S.T.; RUÍZ, M.E.; GONZÁLEZ, R.F.; CID, L.G.; HERRERA, P.J.: “Actualización de herramientas disponibles para la precisión de balances hídricos del suelo en trabajos experimentales”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3): 18-25, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN-2227-8761.
- LÓPEZ, S.T.; USTARIZ, A.; CISNEROS, E.; RODRÍGUEZ, A.; HERRERA, P.J.; GONZÁLEZ, R.: “Calibración de sondas electromagnéticas para estudios de riego en diferentes zonas agrícolas”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3): 31-39, 2018, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- MARTÍNEZ, R.; RODRÍGUEZ, M.R.: “Respuesta económica del cultivo de banano al riego por goteo subterráneo”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(1): 27-33, 2015, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- MATA, D.; RIVERO, M.; SEGOVIA, E.L.: “Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socioeconómico y productivo”, *Revista Cubana Ciencias Forestales*, 6(1): 103-115, 2018.
- MÉNDEZ, A.: “Una cultura apropiada para el desarrollo agroforestal. Un estudio de caso en la provincia de Las Tunas, Cuba”, *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 4(2), 2016, ISSN: 2007-7890, *Disponible en: <http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticaayvalores.com>*.
- NAVARRO, C.; MONTAGNINI, F.; HERNÁNDEZ, G.: “Genetic variability of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee”, *Forest Ecology and Management*, 192(2-3): 217-227, 2004, ISSN: 0378-1127.
- RAMÍREZ G, C.; VERA C, G.; CARRILLO A, F.; MAGAÑA T, O.: “El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el sur de Tamaulipas”, *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 2008, ISSN: 0568-2517.
- RODRÍGUEZ, M.R.; MARTÍNEZ, R.: “Indicadores agronómicos del riego por goteo subsuperficial para el banano (*Musa sp.*) en suelos ferralíticos rojos”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(1): 28-32, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- TAMAYO, C.M.; REYES, G.C.; ORELLANA, R.: “A combination of forage species with different responses to drought can increase year-round productivity in seasonally dry silvopastoral systems”, *Agroforestry Systems*, 84: 287-297, 2012, ISSN: 0167-4366, e-ISSN: 1572-9680.
- VILLARREAL, A.; CARRERO, O.; ARENDS, E.; SÁNCHEZ, D.; ESCALANTE, E.: “Evaluación de rendimiento y rentabilidad de los componentes asociados *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Carica papaya* (Lechosa), establecidos en ensayos agroforestales en la Finca ULA, Estación Experimental Caparo, Edo. Barinas, Venezuela”, *Revista Forestal Latinoamericana*, (39): 85-105, 2006, ISSN: 0798-2437.
- VILLASEÑOR, L.O.A.; CABANILLAS, B.R.E.; TAMAYO, E.L.M.; FERNÁNDEZ, B.J.A.; GARCÍA, Q.Y.; ALVAREZ, O.P.; BONILLA, V.M.: “Evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* L. en las condiciones del Valle del Yaqui, Sonora, México.”, *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(1): 1-8, 2012.

Juan Carlos Pozo-Vázquez, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: juanvazquez1992@gmail.com, esp-fc2@dlg.pri.minag.gob.cu

Teresa López-Seijas, Investigadora, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: esp-fc2@dlg.pri.minag.gob.cu

Isabel Mora-Morales, Investigadora, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: esp-fc2@dlg.pri.minag.gob.cu

Manuel Reinaldo Rodríguez-García, Investigador, Funcionario de Fabricados Electromecánicos Estévez FABREZ, S.L., La Habana, Cuba. e-mail: reinaldorg511@gmail.com

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.