

Determination of evapotranspiration and crop coefficient of *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh for domestication and conservation on uplands

Determinación de evapotranspiración y coeficiente de cultivo de *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh para su domesticación y conservación en suelos de tierra firme

Carlos Abanto-Rodríguez^{1,6*}; Wellington Farias Araújo²; Pollyana Cardoso Chagas²; Raphael Henrique da Silva Siqueira³; Edvan Alves Chagas⁴; Matheus Gonçalves Paulichi²; João Vitor García de Lima²; Roberto Tadashi Sakazaki²; João Luiz Lopes Monteiro Neto²; Miguel Ángel Maffei Valero²; Caio Cesar Souza Pinho²; Luís Felipe Paes-de Almeida⁵

¹Universidade Federal de Roraima - Campus Paricarana, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia (REDE BIONORTE). Av. Cap. Ene Garcez, n.º 2413, Bairro Aeroporto, Boa Vista, Roraima, CEP. 69304-000, BRASIL.

²Universidade Federal de Roraima - Programa de Pós-Graduação em Agronomia-POSAGRO Centro Ciências Agrárias-CCA, Campus Cauamé. BR 174, km 12, Monte Cristo, Boa Vista, Roraima, CEP. 69300-000, BRASIL.

³Instituto Federal de Roraima - Campus Amajari. Rodovia Antonino Menezes da Silva (antiga RR 342), vicinal que liga a Balsa de Aparecida à Vila Brasil km 03, Amajari, Roraima, CEP. 69343-000, BRASIL.

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rodovia BR 174, km 8, Distrito Industrial, Boa Vista, Roraima, CEP. 69301-970, BRASIL.

⁵Universidade Federal de Roraima - Campus Paricarana, Instituto Insikiran de Formação Superior Indígena-INSIKIRAN. Av. Cap. Ene Garcez, no. 2413, Bairro Aeroporto, Boa Vista, Roraima, CEP. 69304-000, BRASIL.

⁶Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Carretera Federico Basadre km 12,400, Yarinacocha, Ucayali, PERÚ.

*Corresponding author: carforestal24@gmail.com, tel. (559) 599 171 76 75.

Abstract

M*yrციaria dubia* (Kunth) McVaugh is a fruit tree native to the Amazon with great potential due to its nutraceutical properties; thus, *ex situ* adaptation technologies should be developed. The objective of this study was to determine the evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) of *Myrciaria dubia* for domestication and conservation on uplands. Two *Myrciaria dubia* plants of 2, 4, and 6 years old with similar morphological characteristics of height, number of branches (basal and terminal), and diameter (stem and canopy) were transplanted into drainage lysimeters. Residue of organic mulching composed of a native grass (*Trachypogon plumosus*) was applied once to one plant of each age category. The mean ET_c values for 2-, 4-, and 6-year-old plants in the presence and absence of mulch were 2- and 2.7-mm-day⁻¹, 3.2- and 3.9-mm-day⁻¹, and 6.1- and 7.2-mm-day⁻¹, respectively. The mean K_c values in the EI, EII, and EIII phenological stages with and without mulch were 0.4 and 0.6, 0.6 and 0.8, and 1.1 and 1.3, respectively. The ET_c and K_c values for *Myrciaria dubia* plants with organic mulching can be used in irrigation planning for cultivation, domestication, conservation, and efficient use of water resources in tropical savannas of Roraima, Brazil.

Keywords: camu-camu, Amazon, hydric balance, cacari, organic mulching.

Resumen

M*yrციaria dubia* (Kunth) McVaugh es un árbol frutal nativo de la Amazonía con gran potencial debido a sus propiedades nutraceuticas, por lo que se considera necesario desarrollar tecnologías de adaptación *ex situ*. El objetivo de este estudio fue estimar la evapotranspiración (ET_c) y el coeficiente de cultivo (K_c) de *Myrciaria dubia* para su domesticación y conservación en suelos de tierra firme. Se trasplantaron, a lisímetros de drenaje, dos plantas de *Myrciaria dubia* de 2, 4 y 6 años de edad con características morfológicas similares en altura, número de ramas (basales y terminales) y diámetro (de tallo y dosel). Se aplicó, a una planta de cada categoría de edad y en una ocasión, acolchado orgánico compuesto de una hierba nativa (*Trachypogon plumosus*). Los valores promedio de la ET_c de las plantas de 2, 4 y 6 años de edad en presencia y ausencia de acolchado fueron 2 y 2.7 mm-día⁻¹, 3.2 y 3.9 mm-día⁻¹, y 6.1 y 7.2 mm-día⁻¹, respectivamente. Los valores promedio del K_c en las etapas fenológicas EI, EII y EIII, con y sin acolchado, fueron 0.4 y 0.6, 0.6 y 0.8, y 1.1 y 1.3, respectivamente. Los valores de la ET_c y el K_c de las plantas de *Myrciaria dubia* con acolchado orgánico se pueden utilizar en la planificación del riego, la domesticación, la conservación y el uso eficiente de los recursos hídricos en las sabanas tropicales de Roraima, Brasil.

Palabras clave: camu-camu, Amazonia, balance hídrico, cacari, acolchado orgánico.



Introduction

Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh is a non-timber forest product in the Amazon and belongs to the Myrtaceae family, found along riverbanks, floodplains, lakes, and streams. This fruit species is a perennial shrub and depending on the genotype and propagation method, it takes 2 to 3 years to bear fruit following asexual propagation, and 4 to 5 years from the seedling stage. The species is characterized by its nutraceutical properties: it has a high content of vitamin C and antioxidant compounds that prevent degenerative diseases caused by free radicals (Damazio et al., 2017; Fidelis et al., 2020). In addition, *Myrciaria dubia* pulp is used in the preparation of beverages, ice cream, popsicles, jelly, homemade liqueur, syrup, shampoo, and yoghurt (Akter, Oh, Eun, & Ahmed, 2011).

Due to the demand for the products obtained from *Myrciaria dubia*, several research institutions in Peru and Brazil have conducted studies on the domestication, conservation and cultivation of this fruit tree under different soil conditions. These are needed to avoid the risks of genetic erosion and extinction of natural populations, which arose following the growing demand in the 1990s that resulted in intense fruit extraction from natural areas (Pinedo-Panduro et al., 2011). In Brazil, specifically Roraima State, native populations are substantial, but the extent of this genetic resource is still unknown, and it is under risk from several activities, such as hydroelectric dam construction, changes in river flood levels, and overfishing of fructivore species, among others.

Therefore, strategies for domestication and *ex situ* conservation need to be developed to fulfil society's present and future needs. In this context, *ex situ* conservation implies protecting plant species in arboreta, botanical gardens, and germplasm banks. However, the collection, establishment, and maintenance of a genetic resource needs permanent acts of man to ensure domestication, adaptability, and productivity (Roche and Dourojeanni, 1984; Clement, de Oliveira-Freitas, & Lisbôa-Romão, 2015). Irrigation is essential for plant development in areas with prolonged water deficit. Correct and efficient water management, or conversely any technical error in crop management, may reflect in production costs, conservation effectiveness, and quality of the product (Silva, Pereira, Carvalho, Vilela, & Faria, 2000; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2017).

According to Chagas et al. (2013) and Mendonça et al. (2007), the first step in estimating water requirement is the determination of the crop evapotranspiration (ET_c). This coefficient can be obtained using the evapotranspiration of a reference crop (ET_o) corrected

Introducción

Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh es un producto forestal no maderable de la Amazonía que pertenece a la familia de las Myrtaceae y se desarrolla a lo largo de las riberas de los ríos, lagos y riachuelos. Es un arbusto perenne, y dependiendo del genotipo y el método de propagación utilizado en la producción de plantas, tarda de 2 a 3 años en dar frutos cuando se utiliza semilla asexuada, y de 4 a 5 años cuando se trabaja con material sexual. La especie se caracteriza por poseer propiedades nutraceuticas como alto contenido de vitamina C y compuestos antioxidantes que previenen enfermedades degenerativas causadas por radicales libres (Damazio et al., 2017; Fidelis et al., 2020). Adicionalmente, la pulpa de *Myrciaria dubia* se utiliza en la preparación de bebidas, helados, paletas, jalea, licor casero, jarabe, champú y yogur (Akter, Oh, Eun, & Ahmed, 2011).

Debido a la demanda de los productos obtenidos a partir de *Myrciaria dubia*, diversas instituciones de investigación del Perú y Brasil realizan estudios sobre su domesticación, conservación y cultivo en diferentes condiciones de suelo. Estos estudios son necesarios para evitar los riesgos de erosión genética y extinción de las poblaciones naturales, los cuales surgieron a raíz de la demanda creciente en los años noventa que dio lugar a una extracción intensa de fruto de las zonas naturales (Pinedo-Panduro et al., 2011). En Brasil, específicamente en el estado de Roraima, las poblaciones nativas son numerosas; no obstante, se desconoce la extensión de este recurso genético, que además se encuentra en peligro debido a actividades como la construcción de represas hidroeléctricas, las variaciones en el nivel de los ríos y la sobreexplotación de especies frutales, entre otras.

Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias de domesticación y de conservación *ex situ* para satisfacer las necesidades presentes y futuras de la sociedad. En este contexto, la conservación *ex situ* implica la protección de especies vegetales en arboretos, jardines botánicos y bancos de germoplasma. Sin embargo, la recolección, el establecimiento y el mantenimiento de un recurso genético requieren acciones permanentes para asegurar la domesticación, la adaptabilidad y la productividad (Roche & Dourojeanni, 1984; Clement, de Oliveira-Freitas, & Lisbôa-Romão, 2015). Entre estas acciones, el riego es esencial para el desarrollo de plantas que crecen en zonas con déficit hídrico prolongado, ya que facilita su desarrollo. El manejo correcto y eficiente del agua, o cualquier error técnico en el manejo del cultivo, se puede reflejar en los costos de producción, la conservación y la calidad del producto (Silva, Pereira, Carvalho, Vilela, & Faria, 2000; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2017).

by the target crop coefficient (K_c), which in turn depends on the species and its development stage. Alternatively, ETo can be measured by a combination of lysimetry, capacitance sensors (TDR and FDR), the class A tank method and equations based on agroclimatic data. The K_c is obtained by the relationship ETc/ETo (Pereira, Nova, & Sediya, 1997; Rodrigues-da Silva, da Cunha-Campos, & Vieira-Azevedo, 2009). Another component of *ex situ* conservation is soil cover, such as dead vegetation cover. This is a highly recommended practice, as it contributes to crop development by reducing water loss through surface erosion, and by increasing soil moisture (de Souza-Borges, de Assunção-Montenegro, Monteiro-dos Santos, da Silva, & Silva, 2014).

There is published K_c and ETc information for most annual crops and for some domesticated fruit trees (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). However, studies of native fruit trees with high potential, such as *Myrciaria dubia*, which propose K_c and ETc values for all developmental stages, have not been done. Requena, Nordenstron, and Castillo (2010) state that this is because large lysimeters and several years of study are required. In this context, the objective of this study was to determine the ETc and K_c of *Myrciaria dubia* for domestication and conservation on uplands.

Materials and methods

Experimental field

The experiment was conducted during the period June 2017 to June 2018 in the experimental fruit culture area of the Center of Agricultural Sciences at the Federal University of Roraima, Cauamé Campus, located in the Boa Vista Municipality, Roraima State, Brazil ($2^\circ 52' 17''$ NL and $60^\circ 42' 46''$ WL, at 90 masl). The climate, according to the Köppen classification, is type Aw. It is a rainy tropical climate, characterized by a rainy season from April to September, with higher pluviometric rates concentrated in May (291.2 mm), June (352.9 mm), and July (335.1 mm). The dry season is from September to March, with January (29.3 mm), February (24.7) and March (47.8 mm) showing the highest water deficits. The rainfall and average temperature are about $1,700 \text{ mm}\cdot\text{year}^{-1}$ and 27°C , respectively (Farias-Araújo, de Andrade, de Medeiros, & Sampaio, 2001). The soil of the experimental area had acid pH (4.6), low nutrient content and a high aluminum index, which are typical characteristics of the uplands of Roraima.

Lysimeter installation

Six separate drainage lysimeters were installed 6 m apart. Each lysimeter had a surface area of 1.60 m^2 and a depth of 0.74 m. The lysimeters were filled with soil layers similar to those of the experimental area, in

De acuerdo con Chagas et al. (2013) y Mendonça et al. (2007), el primer paso para determinar las necesidades hídricas de los cultivos es estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc). Este coeficiente se puede obtener a partir de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ETo), corregida por el coeficiente del cultivo (K_c), que a su vez depende de la especie y su estado de desarrollo. Alternativamente, la ETo se puede determinar mediante una combinación de lisimetría y sensores capacitivos (TDR y FDR), el método de tanque clase A y las ecuaciones basadas en datos agroclimáticos. Por otro parte, el K_c se obtiene mediante la relación ETc/ETo (Pereira, Nova, & Sediya, 1997; Rodrigues-da Silva, da Cunha-Campos, & Vieira-Azevedo, 2009). Otro componente para la conservación *ex situ* es el uso de cobertura vegetal muerta en el suelo. Esta es una práctica muy recomendada, ya que contribuye al desarrollo de los cultivos al reducir la pérdida de agua, disminuye la erosión de la superficie y aumentar la humedad del suelo (de Souza-Borges, de Assunção-Montenegro, Monteiro-dos Santos, da Silva, & Silva, 2014).

Existe información publicada de K_c y ETc para la mayoría de los cultivos anuales y para algunos árboles frutales domesticados (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). Sin embargo, no se han realizado estudios en frutales nativos con alto potencial, como *Myrciaria dubia*, que presenten valores de K_c y ETc para todas las etapas de desarrollo. Requena, Nordenstron, y Castillo (2010) afirman que esto se debe a que se necesitan lisímetros grandes y varios años de investigación. En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar la ETc y el K_c de *Myrciaria dubia* para su domesticación y conservación en suelos de tierra firme.

Materiales y métodos

Campo experimental

El experimento se llevó a cabo entre junio de 2017 y junio de 2018, en el área experimental de cultivos frutícolas del Centro de Ciencias Agrícolas en la Universidad Federal de Roraima, Campus Cauamé, localizado en Boa Vista, estado de Roraima, Brasil ($2^\circ 52' 17''$ latitud norte y $60^\circ 42' 46''$ longitud oeste, a 90 msnm). El clima es de tipo Aw de acuerdo con la clasificación de Köppen, que es tropical lluvioso, caracterizado por una temporada de lluvias de abril a septiembre, con índices pluviométricos mayores en mayo (291.2 mm), junio (352.9 mm) y julio (335.1 mm). La temporada seca va de septiembre a marzo, donde enero (29.3 mm), febrero (24.7) y marzo (47.8 mm) presentan los mayores déficits hídricos. Las precipitaciones y la temperatura media son de $1,700 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y 27°C , respectivamente (Farias-Araújo, de Andrade, de Medeiros, & Sampaio, 2001). El suelo de la zona experimental presentó un pH ácido (4.6), bajo contenido de nutrientes y alto índice de aluminio,

accordance with the recommendations of Pereira et al. (1997), Santos, Montenegro, Silva, and Rodrigues-Souza (2009), and Miranda, Gonsaga-de Carvalho, Castro-Neto, and Balbino-dos Santos (2016).

Two (P2), 4 (P4) and 6 (P6)-year-old *Myrciaria dubia* plants were transplanted to each drainage lysimeter, two plants by age with similarities in terms of morphology, height, number of branches (basal and terminals) and diameter (of stem and canopy). The P2 were obtained as seedlings from the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa-RR) nursery. The other plants were brought from the Embrapa-RR experimental areas Água Boa and Serra da Prata. Prior to transplanting, liming and fertilization were carried out as recommended by Viegas, Fração, and Silva (2004). In addition, 5 kg of chicken manure was incorporated as a source of organic matter and nutrients. After transplanting, a 15 cm mulch composed of grass (*Trachypogon plumosus*) residues, obtained from the area near the experiments, was applied around one plant of each age. Due to decomposition of the mulch during the experiment, this material was replaced every five months. The lysimeter arrangement and the development stages of the *Myrciaria dubia* plants are shown in Figure 1.

que son características típicas de las tierras altas de Roraima.

Instalación de los lisímetros

Se instalaron seis lisímetros de drenaje con separación de 6 m. Cada lisímetro tuvo una superficie de 1.60 m² y una profundidad de 0.74 m. Los lisímetros se rellenaron con capas de suelos similares a los del área experimental, de acuerdo con las recomendaciones de Pereira et al. (1997), Santos, Montenegro, Silva, y Rodrigues-Souza (2009), y Miranda, Gonsaga-de Carvalho, Castro-Neto, y Balbino-dos Santos (2016).

Se trasplantaron, a cada lisímetro de drenaje, plantas de *Myrciaria dubia* de 2 (P2), 4 (P4) y 6 (P6) años de edad, dos plantas por edad con similitudes en cuanto a morfología, altura, número de ramas (basales y terminales) y diámetro (de tallo y dosel). Las P2 se obtuvieron como plántulas del vivero de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa-RR). El resto de las plantas se obtuvieron de las áreas experimentales de Água Boa y Serra da Prata, Embrapa-RR. Previo al trasplante, se realizó el encalado y la fertilización, según lo recomendado por Viegas, Fração, y Silva (2004). Además, se incorporaron

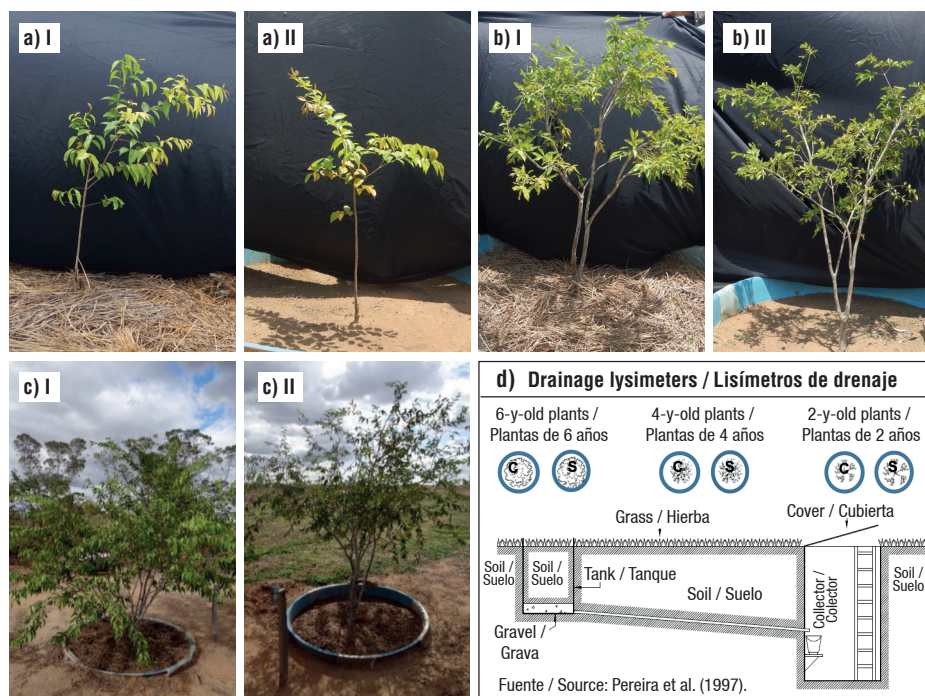


Figure 1. Development stage and arrangement of *Myrciaria dubia* plants of different ages in drainage lysimeters, with and without organic mulch (I and II, respectively): a) 2-year-old plants, b) 4-year-old plants, c) 6-year-old plants, and d) plant arrangement (C = with mulch; S = without mulch) and vertical section of lysimeter.

Figura 1. Etapas de desarrollo y arreglo de las plantas de *Myrciaria dubia* de diferentes edades en lisímetros de drenaje, con y sin acolchado orgánico (I y II, respectivamente): a) plantas de 2 años de edad, b) plantas de 4 años de edad, c) plantas de 6 años de edad, y d) arreglo de las plantas (C = con acolchado; S = sin acolchado) y sección vertical del lisímetro.

Cultivation

The *Myrciaria dubia* plants were transplanted at the end of March 2017, and the evaluations of hydric balance began in June. Weed control was performed manually inside and outside the lysimeters. In addition, fertilization was performed every 3 months, as recommended by Viegas et al. (2004), in order to replace the nutrients that were leached during lysimeter drainage. In the P2 lysimeters, irrigation levels of 7.5 and 10.3 mm were applied, in the presence and absence of mulch, respectively. For P4, 14.7 mm was applied on average, and in the P6, 21.7 and 29.2 mm was applied in the presence and absence of mulch, respectively. Irrigation was performed every four days in the afternoon.

Estimation of reference evapotranspiration

The ETo was estimated using the Penman-Monteith method, parameterized by the PM-FAO 56 scheme (Allen et al., 2006). The climatic data considered were solar radiation ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), average wind speed ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), relative humidity (%), and minimum, maximum, and mean temperatures ($^{\circ}\text{C}$). The data were provided by the Automatic Weather Observation Station operated by the Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply's National Institute of Meteorology (INMET), from June 2017 to June 2018. An Excel spreadsheet was used to calculate the ETo following the method of Conceição (2006).

Determination of crop evapotranspiration

The ETc determination for *Myrciaria dubia* plants started 60 days post-transplanting, from the water balance (Equation 1), which is based on the law of mass conservation (Reichardt and Timm, 2012):

$$R + I - D - ETc = \pm \Delta h \quad (1)$$

where R is rainfall (mm), I is irrigation (mm), D is drainage depth (mm), ETc is evapotranspiration of the crop (mm), and Δh is the variation of soil water storage within the lysimeters (mm). The value of Δh was calculated using Equation 2:

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1)Z \quad (2)$$

where θ_2 is the average soil moisture in the volume at one day after rainfall or irrigation ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$), θ_1 is the average soil moisture in the volume on the day before irrigation ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$), and Z is the depth adopted hydric balance (mm).

Soil moisture was determined with an FDR 10HS (Decagon) sensor calibrated prior to the experiment.

5 kg de estiércol de pollo como fuente de materia orgánica y de nutrientes. Posterior al trasplante, se colocó acolchado, alrededor de una planta de cada edad, de 15 cm compuesto de residuos de hierba (*Trachypogon plumosus*), obtenidos de la zona cercana a los experimentos. Debido a la descomposición del acolchado durante el experimento, este material se reemplazó cada cinco meses. El arreglo de los lisímetros y las etapas de desarrollo de las plantas de *Myrciaria dubia* se muestran en la Figura 1.

Cultivo

Las plantas de *Myrciaria dubia* se trasplantaron a finales de marzo de 2017, y las evaluaciones del balance hídrico comenzaron en junio. El control de malezas se realizó manualmente dentro y fuera de los lisímetros. Además, se fertilizó cada tres meses, como lo recomiendan Viegas et al. (2004), a fin de reemplazar los nutrientes que se lixivian durante el drenado de los lisímetros. En los lisímetros de las P2 se aplicaron riegos de 7.5 y 10.3 mm en presencia y ausencia de acolchado, respectivamente. En las P4 se aplicaron en promedio 14.7 mm, y en las P6 se aplicaron 21.7 y 29.2 mm, en presencia y ausencia de acolchado, respectivamente. El riego se realizó cada cuatro días por las tardes.

Estimación de la evapotranspiración de referencia

La ETo se estimó utilizando el método Penman-Monteith, parametrizado mediante el esquema PM-FAO 56 (Allen et al., 2006). Los datos climáticos considerados fueron la radiación solar ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), la velocidad media del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), la humedad relativa (%) y las temperaturas mínima, máxima y promedio ($^{\circ}\text{C}$). Los datos fueron proporcionados por la Estación Automática de Observación Meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento, desde junio de 2017 hasta junio de 2018. Se utilizó una hoja de cálculo de Excel para determinar la ETo a partir del método de Conceição (2006).

Estimación de la evapotranspiración del cultivo

La estimación de la ETc de *Myrciaria dubia* inició 60 días después del trasplante a partir del balance hídrico (Ecuación 1), el cual se basa en la ley de conservación de masa (Reichardt & Timm, 2012):

$$R + I - D - ETc = \pm \Delta h \quad (1)$$

donde R es la precipitación (mm), I es la irrigación (mm), D es el drenaje profundo (mm), ETc es la evapotranspiración del cultivo (mm) y Δh es la variación del almacenamiento de agua en el suelo

The depth setting was 150 mm, because the sensor is 10 cm long and the soil influence volume is 1 L (Cobos and Chambers, 2010).

Crop coefficient determination

The K_c was determined using the ratio of ET_c to ET_o values (Equation 3) presented by Doorenbos and Pruitt (1977):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3)$$

For a better understanding of the *Myrciaria dubia* crop coefficients, plants were characterized by phenological stages according to the chronological ages studied; P2, P4 and P6 were classified in stages EI, EII, and EIII, respectively, which have a canopy coverage of up to 10, 80 and 95 % over the soil area, respectively.

Results and discussion

Climatic conditions and reference evapotranspiration

The climatic characteristics and the reference evapotranspiration (ET_o) during the experiment are presented in Table 1. The mean temperature was between 25.54 and 29.64 °C. The maximum and minimum temperatures varied from 26.06 to 30.3 °C, and from 25.02 to 28.99 °C, respectively. It should be noted that the smallest variation was recorded for minimum temperature values, at only 3.97 °C between the highest and lowest minimum temperatures. Farias-Araújo, Fonseca-Conceição, and Bittencourt-Venâncio (2012) reported that stability of the minimum temperature is characteristic of regions at low latitudes and altitudes. In addition, according to Ramos, Santos, and Fortes (2009), the mean, maximum and minimum temperatures recorded in this study are consistent with historical average temperature ranges, indicating that the collected data correspond to a normal year in the region.

The lowest relative humidity percentages were recorded in November and December 2017, and in January, February and March 2018. However, in these months a higher wind speed, higher solar radiation and lower rainfall were also recorded (Table 1).

The ET_o varied due to local climatic factors during the evaluation period (June 2017 to June 2018). On average, an ET_o of 3.3 mm·day⁻¹ was seen during June and July, and of 5.2 mm·day⁻¹ from August to December. From January to March 2018, ET_o values close to 6.2 mm·day⁻¹ were recorded, attributed to the increasing temperature, wind speed, and solar radiation, and a decrease in relative humidity. From April to June, ET_o

dentro de los lisímetros (mm). El valor de Δh se calculó utilizando la Ecuación 2:

$$\Delta h = (\theta_2 - \theta_1)Z \quad (2)$$

donde θ_2 es la humedad media del suelo un día después de la lluvia o el riego (m³·m⁻³), θ_1 es la humedad media del suelo un día antes del riego (m³·m⁻³) y Z es el balance hídrico adoptado a profundidad (mm).

La humedad del suelo se estimó con un sensor FDR 10HS (Decagon) calibrado antes del experimento. El ajuste de profundidad fue de 150 mm, debido a que el sensor tiene 10 cm de largo y el volumen de influencia del suelo es de 1 L (Cobos & Chambers, 2010).

Estimación del coeficiente de cultivo

El K_c se calculó utilizando la relación de los valores de ET_c y ET_o (Ecuación 3) presentada por Doorenbos y Pruitt (1977):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3)$$

Para una mejor comprensión de los K_c de *Myrciaria dubia*, las plantas se caracterizaron por etapas fenológicas de acuerdo con las edades cronológicas estudiadas; P2, P4 y P6 se clasificaron en las etapas EI, EII y EIII, respectivamente, las cuales tienen una cobertura de dosel de hasta 10, 80 y 95 % sobre el área del suelo, respectivamente.

Resultados y discusión

Condiciones climáticas y evapotranspiración de referencia

Las características climáticas y la ET_o durante el experimento se presentan en el Cuadro 1. La temperatura promedio fue de entre 25.54 y 29.64 °C, y la máxima y mínima variaron de 26.06 a 30.3 °C, y de 25.02 a 28.99 °C, respectivamente. Cabe señalar que la variación más pequeña se registró en los valores de temperatura mínima, con sólo 3.97 °C entre la temperatura mínima más alta y más baja. Farias-Araújo, Fonseca-Conceição, y Bittencourt-Venâncio (2012) señalan que la estabilidad de la temperatura mínima es característica de regiones de latitud y altitud bajas. Además, de acuerdo con Ramos, Santos, y Fortes (2009), las temperaturas promedio, máxima y mínima registradas en este estudio son compatibles con los rangos de temperatura promedio histórica, lo que indica que los datos colectados corresponden con un año normal en la región.

Los porcentajes de humedad relativa más bajos se registraron en noviembre y diciembre de 2017, así como

declined to $3.6 \text{ mm}\cdot\text{day}^{-1}$ as a consequence of lower air temperature and solar radiation in the early rainy season. Murga-Orrillo et al. (2016) reported similar ETo values, ranging from 1.7 to $6.6 \text{ mm}\cdot\text{day}^{-1}$, in the same locality and using the same method of analysis (Penman-Monteith). Farias-Araújo, Antunes-Costa, and dos Santos-Araújo (2007), who estimated ETo by different methods, reported averages ranging from 3.3 to $5.0 \text{ mm}\cdot\text{day}^{-1}$ in the Boa Vista municipality, with the minimum value reported in June and the maximum in March.

At the monthly level, in June and July 2017, the average ETo was approximately 102 mm . In the following months, there was a considerable increase, and during January, February, and March 2018 the ETo monthly accumulation values were 179.2 , 184.9 , and 196.5 mm , respectively. Over the final three months the monthly ETo value decreased to 106.54 mm . The total ETo accumulated during the entire evaluation period (12-month) was $1,915.4 \text{ mm}$. A lower value of $1,566.6 \text{ mm}$ per year was estimated by Megna-Francisco, Mainar-de Medeiros, Moreira-de Matos, Santos, and Falle-Saboya (2017) for the State of Paraíba,

en enero, febrero y marzo de 2018. Sin embargo, en estos meses también se registró mayor velocidad del viento, mayor radiación solar y menor precipitación (Cuadro 1).

La ETo varió debido a factores climáticos durante el período de evaluación (junio de 2017 a junio de 2018). En promedio, se observó una ETo de $3.3 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ durante junio y julio, y de $5.2 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ de agosto a diciembre. De enero a marzo de 2018 se registraron valores de ETo cercanos a $6.2 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, los cuales se atribuyeron al aumento de la temperatura, la velocidad del viento y la radiación solar, y a la disminución de la humedad relativa. De abril a junio, la ETo disminuyó a $3.6 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, esto como consecuencia del descenso de la temperatura del aire y de la radiación solar al inicio de la temporada de lluvias. Murga-Orrillo et al. (2016) reportan valores similares de ETo, que oscilan entre 1.7 y $6.6 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, en la misma localidad y utilizando el mismo método de análisis (Penman-Monteith). Farias-Araújo, Antunes-Costa, y dos Santos-Araújo (2007), quienes calcularon la ETo mediante diferentes métodos, obtuvieron promedios que oscilan de 3.3 a $5.0 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ en el municipio de Boa Vista, con el valor mínimo reportado en junio y el máximo en marzo.

Table 1. Climatic characteristics and reference evapotranspiration (ETo, mm) during the experiment (June 2017 to June 2018).

Cuadro 1. Características climáticas y evapotranspiración de referencia (ETo, mm) presentes durante el experimento (junio de 2017 a junio de 2018).

Month/ Mes	AT*/ TP*	MT*/ TM*	MIT*/ TMI*	RH*/ HR*	WS*/ VV*	SR*/ RS*	R/P	ETo
Jun (17)	26.72	27.37	26.10	76.81	1.45	14.32	243.50	101.20
Jul (17)	26.02	26.61	25.43	78.88	1.40	15.32	330.60	102.82
Aug (17)/ Ago (17)	27.98	28.71	27.25	70.40	1.44	21.82	78.00	147.49
Sep (17)	28.17	28.86	27.48	69.20	1.56	21.64	104.70	147.20
Oct (17)	29.25	29.92	28.57	62.27	1.80	21.87	5.60	167.59
Nov (17)	29.64	30.30	28.99	58.58	2.08	21.29	1.10	168.56
Dec (17)/ Dic (17)	28.71	29.31	28.11	59.97	2.42	19.26	12.00	165.77
Jan (18)/ Ene (18)	28.17	28.77	27.57	58.66	2.48	22.30	27.40	179.16
Feb (18)	28.56	29.10	28.02	53.72	2.77	25.00	23.20	184.91
Mar (18)	28.44	29.01	27.87	56.21	2.68	23.63	31.60	196.51
Apr (18)/ Abr (18)	27.18	27.77	26.60	70.99	1.86	19.13	161.60	134.79
May (18)	26.34	26.88	25.81	77.66	1.60	17.09	343.30	112.91
Jun (18)	25.54	26.06	25.02	81.05	1.33	17.37	375.60	106.54

AT = average temperature ($^{\circ}\text{C}$); MT = maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$); MIT = minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$); RH = relative humidity (%); WS = wind speed ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); SR = solar radiation ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$); R = rainfall (mm). *Source: Instituto Nacional de Meteorología (INMET, 2018).

TP = temperatura promedio ($^{\circ}\text{C}$); TM = temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); TMI = temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); HR = humedad relativa (%); VV = velocidad del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); RS = radiación solar ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$); P = precipitación (mm). *Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (INMET, 2018).

indicating that in the Boa Vista-RR region there is greater evaporative demand by the atmosphere, due to climatic conditions.

In general, it was observed that the plants continued with their vegetative and productive development during the 12 months of evaluations. ETc and Kc values were calculated for 2-, 4- and 6-year-old plants, and there was only fructification in 6-year-old plants. The harvest occurred in April and May 2018, with an average production of 6 kg per plant.

Myrciaria dubia crop evapotranspiration

The ETc results of *Myrciaria dubia* for P2, P4 and P6, in the presence and absence of mulch, are shown in Figure 2, where it can be seen that ETc varied directly with ETo and with plant vegetative development. In addition, mulching influenced soil moisture conservation in the lysimeter area, avoiding water loss through evaporation. Allen et al. (2006) mention that values different from the standard ETc can be obtained when the soil surface is covered, when intercropping (in presence of organic mulching), and as a result of other specific cultivation practices.

As illustrated by Figure 2a, the P2, in the presence and absence of mulch, had an estimated cumulative water consumption of 805.3 and 1,063.9 mm·year⁻¹, respectively. The mean, minimum and maximum water consumptions by the plants with mulch were 2.0, 0.8, and 3.2 mm·day⁻¹, respectively, and without mulch the mean water consumption was 2.7 mm·day⁻¹, with a minimum of 1.0 mm·day⁻¹ and a maximum of 4.7 mm·day⁻¹. Consequently, at the beginning of the rainy season (from April to May), ETc decreased to 1.5 and 1.6 mm·day⁻¹ in the presence and absence of mulching, respectively. The cumulative ETc value in uncovered soil showed an estimated 24.3 % higher water consumption than that of plants growing in covered soil.

P4 plants, in the presence and absence of organic mulching, showed ETc values of 1,264.6 and 1,539.6 mm·day⁻¹, respectively. Thus, plants with mulch consumed on average 3.2 mm·day⁻¹, ranging from 2.0 to 4.7 mm·day⁻¹. However, when mulch was not used, the values ranged from 2.7 to 6.2 mm·day⁻¹, with a mean value of 3.9 mm·day⁻¹ (Figure 2b). Water consumption in the soil without mulch was thus 17.9 % higher than that of the soil managed with mulching. A comparable difference of 16.7 % was reported by Murga-Orrillo et al. (2016) in corn (*Zea mays*).

P6 plants had an ETc of 2,395.2 and 2,816.4 mm·day⁻¹, in the presence and absence of organic mulching, respectively. The plant with mulch had on average

A nivel mensual, de junio a julio de 2017, la ETo promedio fue de 102 mm, y en los meses siguientes hubo un aumento considerable. Durante enero, febrero y marzo de 2018 los valores de la ETo acumulada mensual fueron 179.2, 184.9 y 196.5 mm, respectivamente. Hacia los últimos tres meses, el valor mensual de ETo disminuyó hasta 106.54 mm. La ETo acumulada durante todo el período de evaluación (12 meses) fue de 1,915.4 mm, la cual es superior a la reportada por Megna-Francisco, Mainar-de Medeiros, Moreira-de Matos, Santos, y Falle-Saboya (2017) de 1,566.6 mm·año⁻¹ en el estado de Paraíba. Lo anterior indica que en la región de Boa Vista-RR existe mayor demanda de evaporación por parte de la atmósfera debido a las condiciones climáticas.

En general, se observó que las plantas continuaron con su desarrollo vegetativo y productivo durante los 12 meses de evaluación. Los valores de ETc y Kc se calcularon en plantas con 2, 4 y 6 años de edad, y únicamente hubo fructificación en las plantas de 6 años. La cosecha se produjo en abril y mayo de 2018, en donde se obtuvo una producción promedio de 6 kg por planta.

Evapotranspiración del cultivo de *Myrciaria dubia*

Los resultados de la ETc de *Myrciaria dubia* para P2, P4 y P6, en presencia y ausencia de acolchado se presentan en la Figura 2. En dicha figura se puede apreciar que la ETc varió directamente con la ETo y con el desarrollo vegetativo de la planta. Además, el acolchado influyó en la conservación de la humedad del suelo en el área del lisímetro, lo que evitó la pérdida de agua por evaporación. Allen et al. (2006) mencionan que se pueden obtener valores diferentes de la ETc estándar cuando la superficie del suelo está cubierta, cuando se cultiva intercaladamente (en presencia de acolchado orgánico), y como resultado de otras prácticas específicas de cultivo.

Como se ilustra en la Figura 2a, las P2, en presencia y ausencia de acolchado, tuvieron un consumo acumulado de agua de 805.3 y 1,063.9 mm·año⁻¹, respectivamente. Los consumos de agua promedio, mínimo y máximo de las plantas con acolchado fueron de 2.0, 0.8 y 3.2 mm·día⁻¹, respectivamente, y sin acolchado el consumo promedio de agua fue de 2.7 mm·día⁻¹, con un mínimo de 1.0 mm·día⁻¹ y un máximo de 4.7 mm·día⁻¹. Por consiguiente, al iniciar la temporada de lluvias (de abril a mayo), la ETc disminuyó a 1.5 y 1.6 mm·día⁻¹ en presencia y ausencia de acolchado, respectivamente. El valor acumulado de la ETc en suelo descubierto presentó un consumo de agua estimado 24.3 % más alto que el de las plantas en suelo cubierto.

Las P4, en presencia y ausencia de acolchado orgánico, mostraron valores de ETc de 1,264.6 y 1,539.6 mm·día⁻¹,

an ET_c of $6.1 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$, ranging from 2.3 to $10.3 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$. Without mulch, values ranged from 2.7 to $12.2 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$, with a mean of $7.2 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ (Figure 2c). As a result, the water consumption for plants in uncovered soil was 15 % higher than that in covered soil.

Considering the above results, it can be stated that mulch composed of native grass (*Trachypogon plumosus*) residues reduced ET_c . About it, Scholz-Berça, Grandizoli-Mendonça, and Fonseca-Souza (2019), and Cortez, Nagahama, Olszewski, Patrocinio-Filho, and de Souza (2015) mention that the soil coverage with plant residues is presented as an agricultural practice that conserves the natural processes that maintain a stable

respectivamente. Así, las plantas con acolchado consumieron en promedio $3.2 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, con valores que oscilaron entre 2.0 y $4.7 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$. Sin embargo, cuando no se utilizó acolchado, los valores variaron de 2.7 a $6.2 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, con un valor promedio de $3.9 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ (Figura 2b). El consumo de agua en el suelo sin acolchado fue 17.9 % mayor que el del suelo con acolchado. Una diferencia comparable de 16.7 % fue reportada por Murga-Orrillo et al. (2016) en maíz (*Zea mays*).

Las P6 tuvieron una ET_c de $2,395.2$ y $2,816.4 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, en presencia y ausencia de acolchado orgánico, respectivamente. La planta con acolchado tuvo una ET_c promedio de $6.1 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$, lo cual osciló entre 2.3 y $10.3 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$. Sin acolchado, los valores variaron

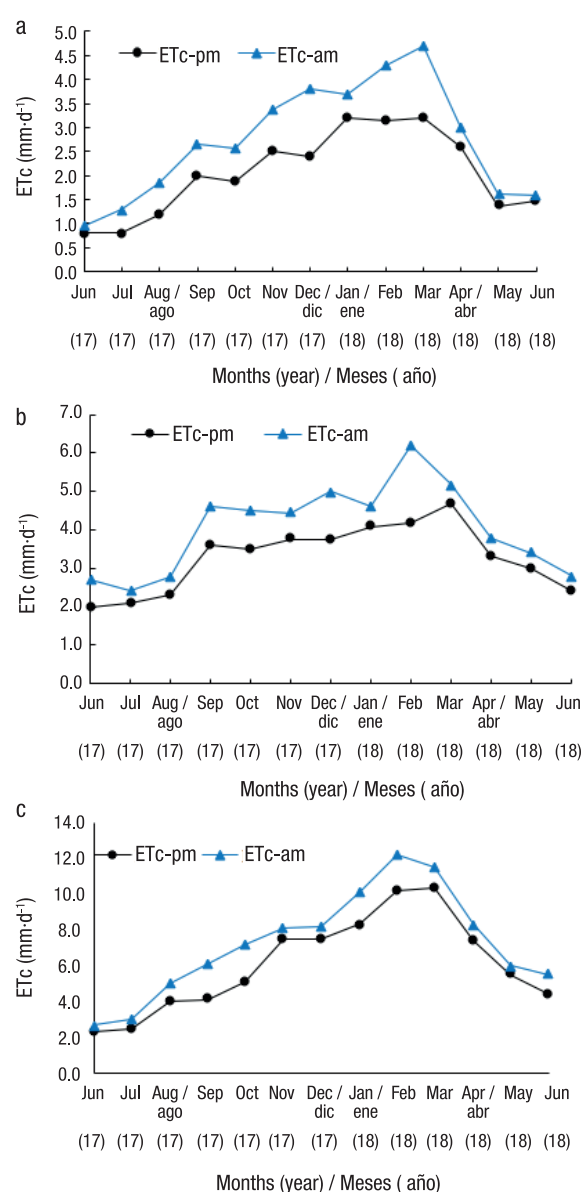


Figure 2. Monthly mean evapotranspiration in *Myrciaria dubia* plants of different ages: a) 2-years, b) 4-years, and c) 6-years, in the presence (pm) and absence of mulch (am).

Figura 2. Evapotranspiración mensual promedio en plantas de *Myrciaria dubia* de diferentes edades: a) 2 años, b) 4 años y c) 6 años, en presencia (pm) y ausencia (am) de acolchado.

temperature and reduces natural water losses by the evaporation process on the soil surface, providing an increase in water-use saving.

Crop coefficient of *Myrciaria dubia* plants

In general, Kc values for stages EI, EII and EIII changed in relation to the plants' vegetative and productive development status. In addition, mulching influenced the Kc value in all phenological stages (Figure 3). Freire, Cavalcante, Rebequi, Dias, and Viera (2012) state that soil cover, in semi-arid conditions, is used to mitigate the effects of high soil surface temperatures and to avoid water losses by evaporation.

The Kc value for plants in the EI stage, regardless of mulch status, increased during the evaluation period; in the first months, water consumption was lower due to the slow development of the plants, which had, on average, four terminal branches, a height of 50 cm, and a canopy diameter of 15 cm. At the end of the experiment, plants had 27 branches, a height of 125 cm, and a canopy diameter of 65 cm.

The average Kc values, for EI stage plants with and without mulch, were 0.4 and 0.6, respectively, ranging from 0.3 to 0.5 in the first four months, and from 0.4 to 0.7 in the last four months (Figure 3). Similar results were found by Doorenbos and Pruitt (1977) in tropical and Mediterranean climates for banana (*Musa spp.*) (0.5), mango (*Mangifera indica* L.) (0.4), passion fruit (*Passiflora edulis*) (0.4), and citrus (0.5). Similarly, Allen et al. (2006) mention that the guava (*Psidium guajava*) Kc is around 0.5 during initial vegetative growth.

Flumignan and Teixeira-de Faria (2009) obtained results different from those of the present study when evaluating coffee plants in the first and second year of cultivation. They reported a Kc of 0.9, which was attributed to a large leaf area and shrub characteristics with a high number of branches.

The Kc value obtained in plants at EII also showed an increase over time due to canopy development. At the beginning of the experiment these had two main stems, 25 terminal branches, a height of 130 cm, and a canopy diameter of 70 cm. Twelve months after transplanting, they had 175 terminal shoots, a plant height of 187 cm, and a canopy diameter of 194 cm.

The average Kc values, for EII stage plants with and without mulch, were 0.6 and 0.8, respectively, ranging from 0.5 to 0.7 in the first four months, and from 0.7 to 0.9 in the last four months (Figure 3). Doorenbos and Pruitt (1977) reported similar results to those obtained in this study in tropical and

de 2.7 a 12.2 mm-día⁻¹, con una media de 7.2 mm-día⁻¹ (Figura 2c). Como resultado, el consumo de agua de las plantas en suelo descubierto fue 15 % más alto que en suelo cubierto.

Considerando los resultados anteriores, se puede afirmar que el acolchado compuesto de residuos de hierba nativa (*Trachypogon plumosus*) redujo la ETc. Al respecto, Scholz-Berça, Grandizoli-Mendonça, y Fonseca-Souza (2019), y Cortez, Nagahama, Olszewski, Patrocínio-Filho, y de Souza (2015) mencionan que la cobertura del suelo con residuos vegetales se presenta como una práctica agrícola para conservar los procesos naturales que mantienen la temperatura estable y para reducir las pérdidas de agua por la evaporación en la superficie del suelo, lo que proporciona un incremento en el ahorro de agua.

Coefficiente de cultivo de plantas de *Myrciaria dubia*

En general, los valores de Kc de las etapas EI, EII y EIII cambiaron en relación con el estado de desarrollo vegetativo y productivo de las plantas. Además, el acolchado influyó en el valor del Kc en todas las etapas fenológicas (Figura 3). Freire, Cavalcante, Rebequi, Dias, y Viera (2012) afirman que la cobertura del suelo, en condiciones semiáridas, se utiliza para mitigar los efectos de las altas temperaturas de la superficie del suelo y para evitar pérdidas de agua por evaporación.

El valor del Kc de las plantas en la etapa EI, independientemente del acolchado, incrementó durante el periodo de evaluación. En los primeros meses, el consumo de agua fue más bajo debido al desarrollo lento de las plantas, las cuales tenían, en promedio, cuatro ramas terminales, una altura de 50 cm y un diámetro de dosel de 15 cm. Hacia el final del experimento, las plantas tenían 27 ramas, una altura de 125 cm y un diámetro de dosel de 65 cm.

Los valores medios de Kc de las plantas en la etapa EI con y sin acolchado fueron de 0.4 y 0.6, respectivamente, oscilando de 0.3 a 0.5 en los primeros cuatro meses y de 0.4 a 0.7 en los últimos cuatro meses (Figura 3). Doorenbos y Pruitt (1977) encontraron resultados similares en climas tropicales y mediterráneos para plátano (*Musa spp.*) (0.5), mango (*Mangifera indica* L.) (0.4), fruta de la pasión (*Passiflora edulis*) (0.4) y cítricos (0.5). En forma similar, Allen et al. (2006) mencionan que el Kc de guayaba (*Psidium guajava*) es de aproximadamente 0.5 durante el crecimiento vegetativo inicial.

Flumignan y Teixeira-de Faria (2009) obtuvieron resultados diferentes a los de este trabajo al evaluar plantas de café en el primer y segundo año de cultivo. Dichos autores reportan un Kc de 0.9, el cual se

Mediterranean climates for banana (*Musa* spp.) (0.7 to 0.85), mango (*Mangifera indica* L.) (0.5 to 0.75), passion fruit (*Passiflora edulis*) (0.75 to 0.8), and citrus (0.75 to 0.8) during stage II (vegetative development), defined as up to 80 % of soil covered by the plant's canopy.

Water consumption in the P6 at the EIII stage also showed a significant increase during vegetative and productive development. At the beginning of the experiment, P6 had three main stems, 60 terminal branches, a height of 180 cm and a canopy diameter of 130 cm. After 346 days, the plants had, on average, 365 terminal shoots, a height of 245 cm, and a canopy diameter of 265 cm. The average Kc values, for plants with and without mulch, were 1.1 and 1.3, respectively, ranging from 0.8 to 1.3 in the first four months and from 0.9 to 1.6 in the last four months (Figure 3).

The highest water consumption occurred between 180 and 240 days, which corresponds to the canopy vegetative development, flowering and fruiting phases, for which average Kc values were 1.3 and 1.5 for plants with and without mulch, respectively. After fruit maturation, Kc values decreased, possibly due to leaf senescence, which reduces transpiratory capacity by causing turgidity loss and increased stomatal resistance. Similar results were obtained by Silva et al. (2000) in *Mangifera indica* in the São Francisco Valley, Petrolina, Pernambuco, Brazil. In contrast, Calgaro and Braga (2012) report lower Kc values, ranging from 0.70 to 1.45, with a mean of 0.98, in the Acerola/Surinam cherry crop in an edaphoclimatic study in Fortaleza, CE, Brazil. Allen

atribuyó a una gran área foliar y a características de arbusto con un gran número de ramas.

El valor del Kc obtenido en las plantas EII también mostró un aumento con el tiempo debido al desarrollo del dosel. Al inicio del experimento, las plantas en EII tenían dos tallos principales, 25 ramas terminales, una altura de 130 cm y un diámetro de dosel de 70 cm. Después de 12 meses las plantas alcanzaron 175 brotes terminales, una altura de planta de 187 cm y un diámetro de dosel de 194 cm.

Los valores promedio de Kc de las plantas EII con y sin acolchado fueron de 0.6 y 0.8, respectivamente, oscilando de 0.5 a 0.7 en los primeros cuatro meses y de 0.7 a 0.9 en los últimos cuatro meses (Figura 3). Doorenbos y Pruitt (1977) reportaron resultados similares a los obtenidos en este estudio en climas tropicales y mediterráneos para plátano (*Musa* spp.) (0.7 a 0.85), mango (*Mangifera indica* L.) (0.5 a 0.75), fruta de la pasión (*Passiflora edulis*) (0.75 a 0.8) y cítricos (0.75 a 0.8) durante la etapa II (desarrollo vegetativo), definida como la cobertura del suelo en un 80 % por el dosel de la planta.

El consumo de agua de las P6 en la etapa EIII también mostró un aumento sustancial durante el desarrollo vegetativo y productivo. Al inicio del experimento, las P6 tenían tres tallos principales, 60 ramas terminales, una altura de 180 cm y un diámetro de dosel de 130 cm. Después de 346 días, las plantas tenían, en promedio, 365 brotes terminales, una altura de 245 cm y un diámetro de dosel de 265 cm. Los valores medios del Kc, de las plantas en EIII con y sin acolchado fueron

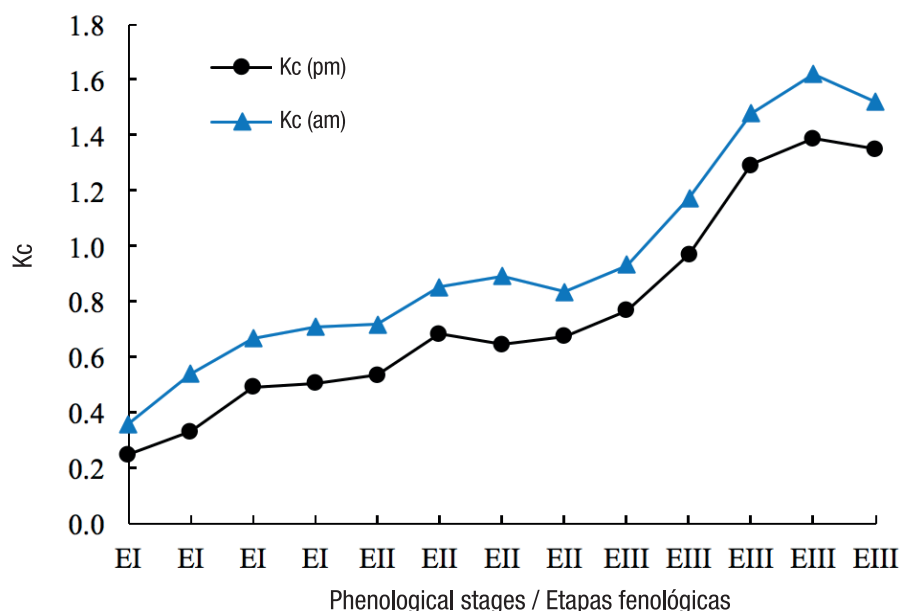


Figure 3. Crop coefficient (Kc) in camu-camu plants in the presence (pm) and absence of mulch (am) by phenological stage.

Figura 3. Coeficiente de cultivo (Kc) en plantas de *Myrciaria dubia* en presencia (pm) y ausencia de acolchado (am) por etapa fenológica.

et al. (2006) found similar Kc values in banana (*Musa* spp.), cocoa (*Theobroma cacao*), and coffee (*Coffea arabica* L.), which averaged 1.1, 1.05, and 0.95, respectively. Doorenbos and Pruitt (1979) mention that Kc assume low values in the emergency phase, maximum values during vegetative/fruit development and decline in the maturation/senescence phase.

Conclusions

The average ETc for 2-year-old *Myrciaria dubia* plants in the presence and absence of organic mulching was 2.0 and 2.7 mm·day⁻¹, respectively; for 4-year-old plants it was 3.2 and 3.9 mm·day⁻¹; and for 6-year-old plants 6.1 and 7.2 mm·day⁻¹.

The average Kc for plants at phenological stage EI, with and without mulch, was 0.4 and 0.6, respectively, for plants at stage EII the values were 0.6 and 0.8, and for plants at stage EIII the values were 1.1 and 1.3.

The determined values of ETc and Kc for *Myrciaria dubia* plants with organic mulching can be used in irrigation planning for cultivation, domestication, conservation and efficient use of resources water in tropical uplands of Roraima, Brazil.

Because *Myrciaria dubia* is a perennial species, it is recommended that evaluations continue in order to obtain the ETc and Kc values for plant phenological stages up to the age of economic viability.

Acknowledgements

The authors are grateful to the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Universal Project 408673 / 2016-8, for financial support, and to the Coordination for Higher Education Personnel Improvement (CAPES) for granting a scholarship to the principal author.

End of English version

References / Referencias

- Akter, M. S., Oh, S., Eun, J. B., & Ahmed, M. (2011). Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1728-1732. doi: 10.1016/j.foodres.2011.03.045
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- de 1.1 y 1.3, respectivamente, oscilando de 0.8 a 1.3 en los primeros cuatro meses y de 0.9 a 1.6 en los últimos cuatro meses (Figura 3).
- El mayor consumo de agua se presentó entre los 180 y 240 días, lo que corresponde a las fases de desarrollo vegetativo del dosel, la floración y la fructificación, en donde los valores medios del Kc fueron de 1.3 y 1.5 para las plantas con y sin acolchado, respectivamente. Tras la maduración del fruto, los valores del Kc disminuyeron, posiblemente debido a la senescencia de las hojas, lo que reduce la capacidad transpiratoria al causar pérdida de turgencia e incremento de la resistencia estomática. Silva et al. (2000) obtuvieron resultados similares en *Mangifera indica* de Valle de São Francisco, Petrolina, Pernambuco, Brasil. En contraste, Calgaro y Braga (2012) reportan valores inferiores de Kc, que van de 0.70 a 1.45, con una media de 0.98, en el cultivo de Acerola/Surinam en un estudio edafoclimático en Fortaleza, CE, Brasil. Allen et al. (2006) encontraron valores de Kc similares en plátano (*Musa* spp.), cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arabica* L.), los cuales fueron en promedio de 1.1, 1.05 y 0.95, respectivamente. Doorenbos y Pruitt (1979) mencionan que los Kc asumen valores bajos en la fase de emergencia, valores máximos durante el desarrollo vegetativo/frutal y disminución en la fase de maduración/senescencia.
- Conclusiones**
- La ETc promedio de las plantas de *Myrciaria dubia* de 2 años de edad en presencia y ausencia de acolchado orgánico fue de 2.0 y 2.7 mm·día⁻¹, respectivamente; para las plantas de 4 años de edad fue de 3.2 y 3.9 mm·día⁻¹, y para las plantas de 6 años de edad fue de 6.1 y 7.2 mm·día⁻¹.
- El Kc promedio de las plantas en la etapa fenológica EI, con y sin acolchado fue de 0.4 y 0.6, en la etapa EII los valores fueron de 0.6 y 0.8, y en la etapa EIII el Kc fue de 1.1 y 1.3, respectivamente.
- Los valores estimados de ETc y Kc de las plantas de *Myrciaria dubia* con acolchado orgánico se pueden utilizar en la planificación del riego para el cultivo, la domesticación, la conservación y el uso eficiente de los recursos hídricos en las tierras altas tropicales de Roraima, Brasil.
- Dado que *Myrciaria dubia* es una especie perenne, se recomienda realizar más estudios con el fin de obtener los valores de ETc y Kc para las etapas fenológicas de la planta hasta la edad de viabilidad económica.
- Agradecimientos**
- Los autores agradecen al Consejo Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) por su apoyo

- Calgaro, M., & Braga, M. B. (2012). *A cultura da acerola*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido - Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Retrieved from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128278/1/PLANTAR-Acerola-ed03-2012.pdf>
- Chagas, R. M., Faccioli, G. G., de Aguiar-Netto, A. O., de Sousa, I. F., Nascimento-do Vasco, A., & da Silva, M. G. (2013). Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration (ET_o) for the city of Rio Real-BA. *Irriga*, 18(1), 351-363. doi: 10.15809/irriga.2013v18n2p351
- Clement, C. R., de Oliveira-Freitas, F., & Lisboa-Romão, R. (2015). Origens da agricultura na América do Sul. In: de Arruda-Veiga, R. F., & Abilio-de Queiróz, M. (Eds.), *Recursos fitogenéticos: a base da agricultura sustentável no Brasil*. Brasil: Editora da Universidade Federal de Viçosa.
- Cobos, D. R., & Chambers, C. (2010). *Calibrating ECH2O soil moisture sensors. Application note*. Retrieved from <https://www.onsetcomp.com/files/15922-C%20Calibrating%20ECH2O%20Soil%20Moisture%20Sensors.pdf>
- Conceição, M. A. (2006). *Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman- Monteith-FAO*. Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Cortez, J. W., Nagahama, H. J., Olszewski, N., Patrocínio-Filho, A. P., & de Souza, E. B. (2015). Umidade e temperatura de Argissolo amarelo em sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento do milho. *Engenharia Agrícola*, 35(4), 699-710. doi: 10.1590/1809-4430-Eng. Agric.v35n4p699-710/2015
- Damazio, L. S., Silveira, F. R., Canever, L., de Castro, A. A., Estrela, J. M., Budni, J., & Zugno, A. I. (2017). The preventive effects of ascorbic acid supplementation on locomotor and acetylcholinesterase activity in an animal model of schizophrenia induced by ketamine. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(2), 1133-1141. doi: 10.1590/0001-3765201720160490
- De Souza-Borges, T. K., de Assunção-Montenegro, A. A., Monteiro-dos Santos, T. E., da Silva, D. D., & Silva, V. P. (2014). Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(6), 1862-1873. doi: 10.1590/S0100-06832014000600021
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1997). *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-f2430e.pdf>
- Farias-Araújo, W., de Andrade, A. S., de Medeiros, R. D., & Sampaio, R. A. (2001). Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(3), 563-567. doi: 10.1590/S1415-43662001000300032
- económico a través del Proyecto Universal 408673/2016-8, y a la Coordinación para el Mejoramiento del Personal de Educación Superior (CAPES) por otorgar una beca al autor principal.
- Fin de la versión en español*
- =====
- Farias-Araújo, W., Antunes-Costa, S. A., & dos Santos-Araújo, A. E. (2007). Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Boa Vista-RR. *Revista Caatinga*, 20(4), 84-88. Retrieved from <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/84/224>
- Farias-Araújo, W., Fonseca-Conceição, M. A., & Bittencourt-Venâncio, J. (2012). Evapotranspiração de referência diária em boa vista (RR) com base na temperatura do ar. *Irriga*, 1(1), 155-169. doi: 10.15809/irriga.2012v1n01p155
- Fidelis, M., de Oliveira, S. M., Sousa-Santos, J., Braguelto-Escher, G., Silva-Rocha, R., Gomes-Cruz, A., Vieira-do Carmo, M. A., Azevedo, L., Kaneshima, T., Oh, W. Y., Shahidi, F., & Granato, D. (2020). From byproduct to a functional ingredient: Camu-camu (*Myrciaria dubia*) seed extract as an antioxidant agent in a yogurt model. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1131-1140. doi: 10.3168/jds.2019-17173
- Flumignan, D. L., & Teixeira-de Faria, R. (2009). Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação. *Bragantia*, 68(1), 269-278. doi: 10.1590/S0006-87052009000100029
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *Agricultura irrigada sustentável no Brasil: Identificação de áreas prioritárias*. Brasília: Author. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>
- Freire, J. L., Cavalcante, L. F., Rebequi, A. M., Dias, T. J., & Viera, M. S. (2012). Crescimento do maracujazeiro amarelo sob estresse salino e biofertilização em ambiente protegido contra perdas hídricas. *Holos*, 28(4), 55-68. doi: 10.15628/holos.2012.451
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2018). *Estação meteorológica de observação de superfície automática do instituto nacional de meteorologia do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento*. Brasil: Author. Retrieved from http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTEzNQ
- Megna-Francisco, P. R., Mainar-de Medeiros, R., Moreira-de Matos, R., Santos, D., & Falle-Saboya, M. L. (2017). Evapotranspiração de referência mensal e anual pelo método de thornthwaite para o estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20, 135-147. doi: 10.5380/abclima.v20i0.41569
- Mendonça, J. C., de Sousa, E. F., Bernardo, S., Sugawara, M. T., Peçanha, A. L., & Gottardo, R. D. (2007). Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus*

- vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(5), 471-475. doi: 10.1590/S1415-43662007000500004
- Miranda, L. W., Gonsaga-de Carvalho, L., Castro-Neto, P., & Balbino-dos Santos, A. P. (2016). Utilização do lisímetro de drenagem para obtenção do Kc da mamoneira em plantio adensado. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(1), 8-13. doi: 10.18378/rvads.v11i1.3915
- Murga-Orrillo, H., Farias-Araújo, W., Ribeiro-Rocha, P. R., Tadashi-Sakazaki, T., Silva-Dionisio, L. F., & Polo-Vargas, A. R. (2016). Evaporação e coeficiente de cultivo do feijão caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. *Irriga*, 21(1), 172-187. doi: 10.15809/irriga.2016v21n1p172-187
- Pereira, A. R., Nova, N. A., & Sediya, G. C. (1997). *Evapotranspiração*. Brasil: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.
- Pinedo-Panduro, M., Delgado-Vásquez, C., Peramas-Farroñay, R., del Castillo-Torres, D., Imán-Correa, S., Villacrés-Vallejo, J., ... Veja-Vizcarra, R. (2011). *Camu-Camu (Myrciaria dubia - Myrtaceae): Aportes para su Aprovechamiento Sostenible en la Amazonia Peruana*. Peru: Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Ramos, A. M., Santos, L. A., & Fortes, L. T. (2009). *Normais climatológicas do Brasil*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia.
- Reichardt, K., & Timm, L. C. (2012). *Solo, planta e atmosfera – Conceitos, processos e aplicações*. Brasil: Agricultura e Agropecuária.
- Requena, A., Nordenstron, G., & Castillo, E. (2010). *Coeficientes de cultivo de manzano en período de formación, obtenidos en lisímetros de drenaje*. Chile: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Retrieved from <https://www.ina.gob.ar/legacy/pdf/CRA-VFERTI/CRA-RYD-36-Requena.pdf>
- Roche, L., & Dourojeanni, M. J. (1984). *Manual sobre la conservación in situ de los recursos genéticos de especies leñosas tropicales*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations - División de Recursos Forestales.
- Rodrigues-da Silva, V. P., da Cunha-Campos, J. H. B., & Vieira-Azevedo, P. (2009). Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. *Scientia Horticulturae*, 120(4), 467-472. doi: 10.1016/j.scienta.2008.12.005
- Santos, F. X., Montenegro, A. A., Silva, J. R., & Rodrigues-Souza, E. (2009). Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 4(3), 304-310. doi: 10.5039/agraria.v4i3a13
- Scholz-Berça, A., Grandizoli-Mendonça, T., & Fonseca-Souza, C. (2019). Influence of organic mulching on drip irrigation management of cabbage cultivation. *Ambiente e Água*, 14(4), 1-11. doi: 10.4136/ambi-agua.2381
- Silva, E. L., Pereira, G. M., Carvalho, J. A., Vilela, L. A., & Faria, M. A. (2000). *Manejo de irrigação das principais culturas*. Brasil: Universidade Federal de Lavras – Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão.
- Viegas, J. M., Fração, D. A., & Silva, J. F. (2004). *Camu-camuzeiro: nutrição, calagem e adubação*. Brasil: Embrapa Amazônia Oriental.