

ESTIMACIÓN *in situ* DEL $K_{c_{ini}}$ DE LA VAINILLA (*Vanilla planifolia* A)

In situ ESTIMATION OF $K_{c_{ini}}$ IN VANILLA (*Vanilla planifolia* A)

Henry A. Kelso-Bucio^{1*}, Khalidou M. Bâ¹, Saúl Sánchez-Morales², Delfino Reyes-López³

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Centro Interamericano de Recursos del Agua, Cerro de Coatepec, Ciudad Universitaria, 50110, Toluca, Estado de México, México (arturokb@yahoo.com.mx). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campus Ixtacuaco, km 4.5 Carretera Martínez de la Torre - Tlapacoyan, Colonia Rojo Gómez, 93600, Tlapacoyan. ³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Escuela de Ingeniería Agrohidráulica, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México.

RESUMEN

El coeficiente de desarrollo del cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) debe conocerse para la estimación de los requerimientos hídricos de la especie. El objetivo del presente estudio fue calcular el coeficiente de desarrollo del cultivo en su fase inicial de desarrollo ($K_{c_{ini}}$). Para su estimación se midió la evapotranspiración real (ET_r) y la evapotranspiración de referencia (ET_o). La ET_r se determinó con un lisímetro de balance y la ET_o con el método de Penman Monteith, utilizando la información de la estación agroclimatológica del Campo Experimental Ixtacuaco de la Red Nacional de Modelaje y Sensores Remotos (LNMySR) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La densidad de siembra fue dos plantas m⁻², el acomodo de las plantas en el tutor fue, de manera tradicional, en espiral. Se calculó un requerimiento hídrico de 192 mm y $K_{c_{ini}}$ de 0.35 para los primeros 200 d después de la siembra (DDS), o de la fase inicial de desarrollo del cultivo. Este estudio contribuyó a mejorar la estimación de las necesidades hídricas, determinadas experimentalmente, por primera vez *in situ*, en la región de origen de la vainilla, mediante un lisímetro de balance.

Palabras clave: coeficiente de desarrollo del cultivo, evapotranspiración de referencia, evapotranspiración real, *Vanilla planifolia* A.

INTRODUCCIÓN

La vainilla (*Vanilla planifolia* A.) es originaria de la zona norte del estado de Veracruz, México (ASERCA, 2002). Actualmente la vainilla se utiliza mundialmente en la industria alimenticia,

ABSTRACT

The crop development coefficient of vanilla (*Vanilla planifolia* A.) should be known for the estimation of the water requirements of the species. The objective of the present study was to calculate the crop development coefficient in its initial development phase ($K_{c_{ini}}$). For its estimation real evapotranspiration (ET_r) and reference evapotranspiration (ET_o) were measured. ET_r was determined with a balance lysimeter and ET_o with the Penman Monteith method, using the information of the agro-climatological station of the Ixtacuaco Experimental Field of the National Network of Modeling and Remote Sensors (LNMySR) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Sowing density was two plants m⁻², the plants were placed in a traditional spiral fashion in the tutor. A water requirement of 192 mm and $K_{c_{ini}}$ of 0.35 was calculated for the first 200 d after sowing (DAS), or the initial crop development phase. This study contributed to the improvement of the estimation of water requirements, experimentally determined, for the first time *in situ*, in the region of origin of vanilla, by means of a balance lysimeter.

Key words: crop development coefficient, reference evapotranspiration, real evapotranspiration, *Vanilla planifolia* A.

INTRODUCTION

Vanilla (*Vanilla planifolia* A.) has its origin in the northern zone of the state of Veracruz, México (ASERCA, 2002). Currently vanilla is used throughout the world in the food, crafts, cosmetics and pharmaceutical industries; therefore, this crop has impact on economic, social and ecological aspects in the production regions. However, even when there are the climatic and cultural

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: octubre, 2011. Aprobado: junio, 2012.

Publicado como NOTA en Agrociencia 46: 499-506. 2012.

artesanal, cosmética y farmacéutica; por tanto, este cultivo tiene impacto en aspectos económicos, sociales y ecológicos en las regiones de producción. Sin embargo, aun cuando existen las condiciones climáticas y culturales del uso y manejo del cultivo, la producción en México no es suficiente para figurar en el mercado internacional debido a enfermedades, plagas, ausencia de planificación de riegos y escasa organización en la producción y comercialización del producto (Reyes *et al.*, 2008).

La vainilla es una orquídea de crecimiento epífita que posee un tallo cilíndrico conformado por entrenudos con hojas lanceoladas, ambos muy suculentos (Correll, 1953), crece en climas subtropicales, cálidos y húmedos (Castillo *et al.*, 1993). La vainilla, carente de una raíz pivotante, genera sus raíces en los entrenudos, donde se encuentran los meristemas axilares; debido a que se desarrolla sobre la materia orgánica, posee un sistema radical fasciculado, con amplitud exploratoria menor a 30 cm de profundidad. Además, desarrolla raíces adventicias con funciones de soporte y absorción de nutrientes al penetrar el suelo (Reyes *et al.*, 2008).

El género *Vanilla* incluye 110 especies de orquídeas distribuidas en diferentes regiones tropicales del mundo; *V. planifolia* A. y *V. tahitiensis* son las especies de mayor importancia económica, la primera es la más conocida y es la referente cuando se habla de vainilla (Reyes *et al.*, 2008).

Etapas del crecimiento del cultivo de vainilla

Las etapas de crecimiento del cultivo de *V. planifolia* A. y su determinación dependen del manejo cultural y particularmente del tipo de encauzamiento de las guías en crecimiento. La longevidad del cultivo depende del mantenimiento y puede ser 3 a 10 años. Las plantaciones comerciales en México tienen vida promedio de 5 años, de los cuales los primeros tres son de desarrollo vegetativo y los otros dos son de producción. En la plantación hay incidencia alta de problemas fitosanitarios. Por tanto, cada año se resiembra aproximadamente 30 % de la plantación para mantener la densidad de población de 2280 a 10000 plantas ha⁻¹ (Curti, 1995; Sánchez, 1992).

De acuerdo con la descripción realizada por Allen *et al.* (1998) las diversas etapas de desarrollo vegetativo adaptadas para la vainilla son las siguientes:

conditions for the use and management of the crop, its production in México is not sufficient to figure into the international market due to diseases, pests, absence of irrigation planning and scant organization in the production and commercialization of the product (Reyes *et al.*, 2008).

Vanilla is an orchid of epiphyte growth with a cylindrical stem conformed by internodes with lanceolate leaves, both very succulent (Correll, 1953), and grows in subtropical warm and humid climates (Castillo *et al.*, 1993). Vanilla, lacking a pivoting root, generates its roots in the internodes, where the axillar meristems are located, due to the fact that its develops over organic matter, has a fascicular root system, with exploratory amplitude of less than 30 cm. Furthermore, it develops adventitious roots with functions of support and absorption of nutrients as it penetrates the soil (Reyes *et al.*, 2008).

The genus *Vanilla* includes 110 species of orchids distributed in different tropical regions of the world; *V. planifolia* A. and *V. tahitiensis* are the species of greatest economic importance, the former is the most widely known and is the reference when vanilla is referred to (Reyes *et al.*, 2008).

Growth stages of the vanilla crop

The growth stages of *V. planifolia* A. and its determination depend on the cultural management and particularly on the type of placement of the guides in growth. The longevity of the crop depends on the maintenance and can be from 3 to 10 years. The commercial plantations in México have an average life of 5 years, of which the first three are of vegetative development and other two are of production. In the plantation there is high incidence of phytosanitary problems. Therefore, each year approximately 30 % of the plantation must be replanted, to maintain the population density of 2280 to 10000 plants ha⁻¹ (Curti, 1995; Sánchez, 1992).

According to the description made by Allen *et al.* (1998), the diverse stages of vegetative development for vanilla are as follows:

Initial stage (Kc_{ini}): the interval of 200 d after sowing (DAS) necessary for the plant to have a minimum elongation of 1.5 m, and represents approximately 10 % of the crop cycle.

Etapla inicial (Kc_{ini}): el intervalo de 200 d después de la siembra (DDS), necesario para que la planta tenga elongación mínima de 1.5 m, y representa aproximadamente 10 % del ciclo de cultivo.

Etapla de desarrollo del cultivo (Kc_{des}): entre los 200 DDS y el inicio de floración, o hasta alcanzar la cobertura efectiva completa.

Etapla de mediados de temporada (Kc_{med}): del inicio de la floración al inicio de la madurez del fruto, indicada generalmente por el amarillamiento del extremo distal del fruto.

Etapla final (Kc_{fin}): desde el inicio de la madurez de los frutos hasta la cosecha o su dehiscencia.

En México la investigación sobre los requerimientos hídricos del cultivo de vainilla es limitada y la mayoría de tipo empírico generada por los productores. Bouriquet (1954), Curti (1995) y Damirón (2004) reconocen la importancia de tener un sistema de riego desde el establecimiento del cultivo y durante todo el año para evitar estrés hídrico en las plantas, y pérdidas económicas. Además, Castro y García (2007) mencionan que la humedad relativa y del suelo puede disminuir la caída del fruto en la temporada de verano. El sistema de riego usado para la vainilla es por aspersión con nebulización, el cual mejora el follaje de la planta, incentiva el crecimiento y ayuda a mantener la humedad relativa alta durante el verano (Sadanandan y Hamza, 2006).

Castro *et al.* (2011) evaluaron el efecto del riego en la retención de frutos de *V. planifolia* mediante la aplicación de hasta 1 L m⁻² de agua en la temporada de seca (mayo-junio), en la región del Totonacapan, Veracruz, México. Sujatha y Bhat (2010) evaluaron niveles de riego al 50, 75 y 100 % de la evaporación, y observaron que para obtener rendimientos óptimos los requerimientos de agua de la vainilla son iguales a la evaporación. Sin embargo, todavía se desconocen los requerimientos hídricos de la vainilla.

Para estimar el requerimiento hídrico en cualquier cultivo se debe considerar la etapa fenológica, la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc) (ecuación 1):

$$Kc_i = \frac{ETr_i}{ET_o_i} \quad (1)$$

Crop development stage (Kc_{dev}): between 200 DAS and the onset of flowering, or until reaching complete effective coverage.

Mid season stage (Kc_{med}): from the onset of flowering to the start of fruit maturity, generally indicated by the yellowing of the distal end of the fruit.

Final stage (Kc_{fin}): from the start of ripening of the fruits to harvest or dehiscence.

In México, investigation of the water requirements of the vanilla crop is limited and for the most part empirical, generated by the producers. Bouriquet (1954), Curti (1995) and Damirón (2004) recognize the importance of having an irrigation system from the establishment of the crop and throughout the year to avoid water stress in the plants and economic losses. Furthermore, Castro and García (2007) mention that the relative moisture of the soil can reduce the fall of the fruit during the summer period. The irrigation system used for vanilla is aspersion with nebulization, which improves the foliage of the plant, provides growth incentive and helps to maintain high relative humidity during summer (Sadanandan and Hamza, 2006).

Castro *et al.* (2011) evaluated the effect of irrigation on the retention of fruits of *V. planifolia* through the application of up to 1 L m⁻² of water in the dry season (May-June), in the region of Totonacapan, Veracruz, México. Sujatha and Bhat (2010) evaluated the irrigation levels at 50, 75 and 100 % of evaporation, and observed that to obtain optimum yields, the water requirements for vanilla are equal to the evaporation. However, the water requirements of vanilla are still unknown.

To estimate the water requirement in any crop, the phenological stage must be considered, as well as the reference evapotranspiration (ET_o) and the crop development coefficient (Kc) (equation 1):

$$Kc_i = \frac{ETr_i}{ET_o_i} \quad (1)$$

where Kc_i is the crop coefficient in stage i , ETr_i is the real evapotranspiration of the crop in stage i (mm d⁻¹), ET_o_i is the reference evapotranspiration in stage i (mm d⁻¹).

donde Kc_i es el coeficiente de cultivo en la etapa i , ETr_i es la evapotranspiración real del cultivo en la etapa i (mm d^{-1}), ETo_i es la evapotranspiración de referencia en la etapa i (mm d^{-1}).

La variación del Kc durante el ciclo del cultivo depende de los cambios en la cobertura del suelo por el área foliar y es representada por una curva de la que se obtienen los valores del Kc_i para las etapas de desarrollo Kc_{in} , Kc_{des} , Kc_{med} y Kc_{fin} . El coeficiente de cultivo integra los factores de la planta y el suelo. Sin embargo, si no hay limitación de agua en el suelo, el factor planta influye netamente en Kc .

La ETo se estima con métodos que requieren variables climatológicas. El método más usado y avalado por la FAO es el método de Penman Monteith, el cual requiere variables meteorológicas como humedad relativa, temperatura del aire, radiación solar y velocidad del viento (Allen *et al.*, 1998). Para determinar la evapotranspiración real del cultivo se usa un lisímetro, que es un contenedor con drenaje, relleno con suelo igual al del cultivo, enterrado al nivel de la superficie del suelo; se calcula el consumo de agua en períodos predeterminados con la siguiente ecuación de balance (Sánchez, 1992).

$$ETr_i = P_i + R_i - D_i - E_i \pm \Delta S_i \quad (2)$$

donde ETr_i es la evapotranspiración real del cultivo para el periodo i , P_i es la precipitación para el periodo i , R_i es la lámina de riego aplicada para el periodo i , D_i es el drenaje del lisímetro para el periodo i , E_i es el escurrimiento superficial para el periodo i (mm), y ΔS_i es el cambio en el contenido de almacenamiento de agua en el suelo para el periodo i (todas las variables se expresan en mm).

El objetivo de esta investigación fue determinar Kc de la etapa inicial de desarrollo de la *V. planifolia* A, mediante la medición de ETr y ETo, con un lisímetro de balance.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Ixtacuaco, en la región Golfo Centro, ubicada en el km 4.5 carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, en el estado de Veracruz, México; entre 20° 02' 36"

The variation of Kc during the crop cycle depends on the changes in the coverage of the soil by the foliar area and is represented by a curve from which the values of Kc_i are obtained for the development stages Kc_{in} , Kc_{dev} , Kc_{med} and Kc_{fin} . The crop coefficient integrates the factors of the plant and the soil. However, if there is no limitation of water in the soil, the plant factor has net influence on Kc .

The ETo is estimated by methods that require climatic variation. The method which is most widely used and approved by the FAO is the Penman Monteith method, which requires meteorological variables such as relative humidity, air temperature, solar radiation and wind velocity (Allen *et al.*, 1998). To determine the real evapotranspiration of the crop, a lysimeter was used, which is a container with drainage, filled with soil the same as that of the crop, buried at the surface level of the soil; water consumption is evaluated in predetermined periods with the following equation of balance (Sánchez, 1992).

$$ETr_i = P_i + R_i - D_i - E_i \pm \Delta S_i \quad (2)$$

where ETr_i is the real evapotranspiration of the crop for period i , P_i is the precipitation for period i , D_i is the drainage for the lysimeter for period i , E_i is the surface runoff for period i (mm) and ΔS_i is the change in the content of water storage in the soil for period i (all of the variables are expressed in mm).

The objective of this investigation was to determine Kc of the initial development stage of *V. planifolia* A, by means of the measurement of ETr and ETo, with a balance lysimeter.

MATERIALS AND METHODS

The present study was developed in the installations of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Ixtacuaco Experimental Field, in the central Gulf region, located at km. 4.5 of the Martínez de la Torre-Tlapacoyan highway, in the state of Veracruz, México; between 20° 02' 36" N and 97° 05' 52.5" W, at an altitude of 112 m. The study zone presents a warm sub-humid climate, with a mean annual temperature of 22.8 °C, abundant rains in summer and beginning of autumn, drizzle in winter due to the influence of the north winds and mean annual rainfall of 1500 mm.

N y 97° 05' 52.5" O, y altitud de 112 m. La zona de estudio presenta clima cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 22.8 °C, lluvias abundantes en verano y principios de otoño, lloviznas en invierno por la influencia de los vientos del norte, y precipitación media anual de 1500 mm.

Lisimetría

El cultivo se establece en terrenos con pendiente y árboles de sombra media como tutores, éstos dificultan la instalación de lisímetros de precisión (cilíndricos con 0.97 m de diámetro y 0.4 m de altura). En este experimento la ETr del cultivo se calculó con la ecuación 2. El lisímetro constó de un recipiente de plástico y sensores (Figura 1). Las variables de la ecuación 2, se registraron con dos "data loggers" (WatchDog 200), con dos sensores pluviométricos autovaciantes (SP03665R) tipo balancín, y uno de ellos adaptado para medir el agua de drenaje del lisímetro. También se usó un tensiómetro (Watermark, SP06450) a 20 cm de profundidad para medir la variación de la humedad del suelo y el programa Spec8 Pro se usó para transferir la información de los "data loggers" a la computadora. Las variables fueron registradas diariamente y el balance de agua se realizó cada mes. La ETr en milímetros se calculó con las ecuaciones en el Cuadro 1.

La ETo se obtuvo directamente de la estación agroclimatológica del INIFAP, Campo Experimental Ixtacuaco, perteneciente al LNMySR, situada a 300 m del área experimental. Para calcular ETr mediante el balance hidrológico se usó la ecuación 3, por considerar que el volumen de suelo del lisímetro estuvo a capacidad de campo o próximo; por tanto $\Delta S_i = 0$ y no se presentó escurrimiento superficial.

Lysimetry

The crop was established in sloped land with trees of medium shade as tutors, which made difficult the installation of precision lysimeters (cylindrical with 0.97 m diameter and 0.4 m height). In this experiment the ETr of the crop was calculated with equation 2. The lysimeter consisted of a plastic container and sensors (Figure 1). The variables of equation 2 were registered with two "data loggers" (WatchDog 200, with two balance type self-emptying pluviometers (SP03665R), one of which was adapted to measure the water of the drainage of the lysimeter. A tensiometer (Watermark, SP06450) was also used at 20 cm depth to measure the variation of soil moisture and the program Spec8 Pro was used to transfer the information of the "data loggers" to the computer. The variables were registered daily and the water balance was made each month. The ETr in milliliters was calculated with the equations in Table 1.

The ETo was obtained directly from the agro-climatology station of the INIFAP, Ixtacuaco Experimental Field, belonging to LNMySR, situated 300 m from the experimental area. Equation 3 was used to calculate ETr through the hydrological balance, considering that the soil volume of the lysimeter was at or near field capacity; therefore, $\Delta S_i = 0$ and no surface runoff occurred.

$$ETr_i = P_i + R_i - D_i \quad (3)$$

Establishment of the vanilla crop in the lysimeter

Two cuttings of *V. planifolia* A. were planted over the surface of the lysimeter, of 1.0 m length, in order to have two plants m^{-2} .



Figura 1. Esquema del lisímetro de balance.

Figure 1. Diagram of the balance lysimeter.

Cuadro 1. Conversión de variables lisimétricas.**Table 1. Conversion of lysimetric variables.**

Variable	Instrumento de medición	Unidad	Para convertir a mm
Precipitación (P)	Pluviómetro	mm	-
Lámina de riego (R)	Probeta	mm	$\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{A}}\right) \cdot 10$
Drenaje (D)	Pluviómetro adaptado	mm	$\left(\frac{D \cdot 7.6}{0.254} \div \text{A}\right) \cdot 10$
Variación del agua en el suelo (ΔS)	Tensiómetro	mm	${}^{\S}\Delta S_1 = 0.655 - 0.017 \cdot \text{kPa}_1 + 0.000157 \cdot \text{kPa}_1^2$ ${}^{\Phi}\Delta S_2 = 0.655 - 0.017 \cdot \text{kPa}_2 + 0.000157 \cdot \text{kPa}_2^2$ $({}^{\S}\Delta S_1 - \Delta S_2) \cdot \text{A} \cdot 200$

† Área del lisímetro (7389.82 cm²); ${}^{\S}\Delta S_1$ contenido volumétrico al inicio del día; ${}^{\S}\Delta S_2$ contenido volumétrico al final del día; ${}^{\text{b}}$ pluviómetro de drenaje (mm) $\diamond$ † Area of the lysimeter (7389.82 cm²); ${}^{\S}\Delta S_1$ volumetric content at the start of the day; ${}^{\S}\Delta S_2$ volumetric content at the end of the day; ${}^{\text{b}}$ pluviometer of drainage (mm).

$$ETr_i = P_i + R_i - D_i \quad (3)$$

Establecimiento del cultivo de vainilla en el lisímetro

Sobre la superficie del lisímetro se plantaron dos esquejes de *V. planifolia* A. de 1.0 m de longitud, para tener dos plantas m⁻². La siembra fue el 1° de marzo del 2008. Antes de plantar los esquejes se hicieron cortes de 1.0 m, se defoliaron los primeros cuatro entrenudos y se dejaron bajo sombra 5 d. Las guías se encauzaron en espiral en tutores de Pichoco (*Erythrina* sp.) fuera del lisímetro.

Determinación del coeficiente de cultivo

El Kc se determinó con la Ecuación 1 y después se utilizó el modelo Linear-Plateau para realizar el ajuste de los datos (Schabenberger y Pierce, 2002). Los Kc de la etapa inicial (Kc_{ini}) observados y predichos mensualmente, fueron graficados con el programa SigmaPlot® (versión 11).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El lisímetro estuvo funcionando con precipitación acumulada de 670.3 mm, requirió 58.6 mm de riego y drenó 54 % del total del agua aportada por la precipitación y el riego. La ETo acumulada fue 863.7 mm y ETr 332.1 mm. El requerimiento hídrico de la vainilla en la etapa inicial de desarrollo cuando la planta tenía 200 DDS, fue 192 mm, equivalente a 142 L, y consumo promedio de 0.71 L d⁻¹ (Cuadro 2).

The sowing was on March 1, 2008. Prior to planting the cuttings, they were cut at a length of 1.0 m, the first four internodes were defoliated and they were left under shade for 5 d. The leads were placed in spiral in tutors of Pichoco (*Erythrina* sp.) outside the lysimeter.

Determination of the crop coefficient

The Kc was determined with Equation 1 and then the Linear-Plateau model was used to make the fit of the data (Schabenberger and Pierce, 2002). The Kc of the initial stage (Kc_{ini}), observed and predicted monthly, were graphed with the program SigmaPlot® (version 11).

RESULTS AND DISCUSSION

The lysimeter was functioning with accumulated rainfall of 670.3 mm, requiring 58.6 mm of irrigation and drained 54 % of the total of water supplied by the rainfall and irrigation. The accumulated ETo was 863.7 mm and ETr 332.1 mm. The water requirement of the vanilla in the initial development stage when the plant had 200 DAS, was 192 mm, equivalent to 142 L, and average consumption of 0.71 L d⁻¹ (Table 2).

The Kc_{ini} presented values that were almost constant (Figure 2) during the first 200 DAS. Its average value was 0.35, and corresponded to the Kc predicted by the Linear-Plateau model according to the observed Kc, which increased by 23 and 29 %

Los $K_{c_{ini}}$ presentaron valores casi constantes (Figura 2) durante los primeros 200 DDS. Su valor promedio fue 0.35, correspondió a los K_c predichos por el modelo Linear-Plateau de acuerdo a los K_c observados, con aumento de 23 y 29 % después de los 200 DDS e inicio de la etapa de desarrollo.

Durante el estudio las plantas no presentaron problemas de fungosis y no fue necesario controlar la sombra del tutor, que permitió luminosidad de 535 lux y fotoperiodo de 6 a 10 h. Sin embargo, al iniciar el periodo de lluvias el brillo solar disminuyó a menos de 2 h al día con frecuencias mayores a 3 d y la variación de la tensión de humedad del sustrato de -2 a -5 kPa promovió la incidencia de hongos fitopatógenos.

De acuerdo con Sujatha y Bhat (2010), en la etapa de crecimiento de la vainilla hubo un comportamiento similar entre los tratamientos. Sin embargo, en la producción la planta presentó número mayor de frutos retenidos con lámina de riego equivalente a la evaporación; en contraste; los requerimientos de agua adicional del cultivo de vainilla para aumentar la producción de frutos, aparentemente son mínimos (Castro *et al.*, 2011). En esos estudios no se monitoreó el consumo de agua mediante un balance hidrológico para la estimación del K_c . En el presente estudio la estimación de K_c en la etapa inicial contribuyó a mejorar la estimación de las necesidades hídricas, por primera vez, experimentalmente *in situ*, en la región de origen de la vainilla.

CONCLUSIONES

La *Vanilla planifolia* A., con tejidos suculentos, puede desarrollarse favorablemente en condiciones de riego. Con un lisímetro de balance se calculó su $K_{c_{ini}}$ de 0.35, con una demanda hídrica de 192 mm en la etapa inicial del cultivo.

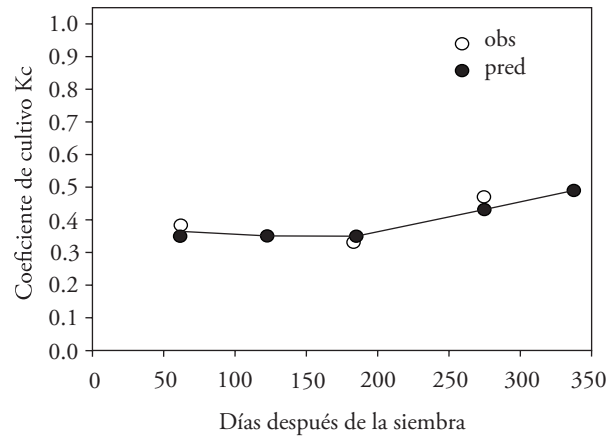


Figura 2. Coeficientes de cultivo observados (obs) y predichos por el modelo Linear-Plateau (pred).

Figure 2. Crop coefficients observed (obs) and predicted by the Linear-Plateau models (pred).

after the 200 DAS, start of the initial development stage.

During the study the plants did not present problems of fungosis and it was not necessary to control the shade of the tutor, which permitted luminosity of 535 lux and photoperiod of 6 to 10 h. However, at the beginning of the rainy period the sunshine decreased to less than 2 h a day with higher frequencies than 3 d and the variation of the tension of moisture of the substrate of -2 to -5 kPa promoted the incidence of phyto-pathogenic fungus.

According to Sujatha and Bhar (2010), in the growth stage of the vanilla there was a similar behavior among the treatments. However, in production the plant presented a larger number of retained fruits with a water depth equivalent to the evaporation; in contrast, the requirements of additional water of the vanilla crop to increase fruit production are apparently minimal (Castro *et al.*, 2011). In those

Cuadro 2. Estimación de $K_{c_{ini}}$.

Table 2. Estimation of $K_{c_{ini}}$.

DDS	P (mm)	R (mm)	D (mm)	ETo (mm)	ETr (mm)	$K_{c_{ini}}$
62	0.0	49.2	22.4	70.2	26.8	0.38
123	160.5	9.4	84.8	253.7	85.1	0.34
185	118.4	0.0	39.2	240.5	79.2	0.33
275	251.2	0.0	178.4	160.1	72.8	0.45
338	140.2	0.0	72.0	139.2	68.2	0.49

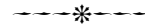
LITERATURA CITADA

- Allen R., G., L. Pereira S., D. Raes., and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy. 298 p.
- ASERCA. 2002. La vainilla una tradición con alto potencial. Revista Claridades No. 101. 44 p.
- Bouriquet G. 1954. Le vanillier a la vanille. Encyclopédie Biologique. Editions Paul Lechevalier. Paris. 746 p.
- Castillo M., R., y E. Mark Engleman. 1993. Caracterización de dos tipos de *Vainilla Planifolia*. Acta Botánica. Instituto de Ecología A.C. Diciembre. No. 025. Pátzcuaro. México. pp: 49-59.
- Castro G., B., A. Martínez J., M. Martínez J., y J. García F. 2011. Aplicación de riego localizado para aumentar la retención de frutos de *Vanilla planifolia* en el Totonacapan, Veracruz, México. Agrociencias 45(3): 281-291.
- Castro-Bobadilla, G. and J. G. García-Franco. 2007. Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) crop systems used in the Totonacapan area of Veracruz, Mexico: biological and productivity evaluation. J. Food Agric. Environ. 5 (2): 136-142.
- Correll D., S. 1953. Vanilla - Its botany, history, cultivation and economic import. Econ. Bot. 7: 291-358.
- Curti E., D. 1995. Cultivo y beneficiado de vainilla en México. Organización Nacional de Vainilleros Indígenas de México. 96 p.
- Damirón R., V. 2004. El cultivo de la vainilla. Veracruz agrícola, Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria. Gobierno del estado de Veracruz, México. 50 p.
- Pereira L., S. 2007. Drought impacts in agriculture: Water conservation and water saving practices and management. In: Rossi, G., T. Vega, and B. Bonaccorso (eds). Methods and Tools for Drought Analysis and Management. Springer, Netherlands. pp: 349-383.
- Reyes D., L., B. Rodríguez M., H. Kelso B., M. Huerta L., y A. Ibáñez M. 2008. Beneficiado Tradicional de Vainilla. Editorial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 72 p.
- Sadanandan K., A., and S. Hamza. 2006. Effect of organic farming on soil quality, nutrient uptake, yield and quality of Indian Spice. In: 18th World Congress of Soil Science. July 9-15. Philadelphia, PA, USA.
- studies water consumption was not monitored through a hydrological balance for the estimation of the Kc. In the present study the estimation of Kc in the initial map contributed to the improvement of the estimation of the water requirements, for the first time, experimentally *in situ*, in the region of origin of vanilla.

CONCLUSIONS

Vanilla planifolia A., with succulent tissue, can develop favorably under irrigation conditions. With a balance lysimeter, its Kc_{ini} was calculated at 0.35, with a water demand of 192 mm in the initial stage of the crop.

—End of the English version—



- Sánchez M., I. 1992. Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología. United Nations, FAO. Rome # 3. 36 p.
- Sánchez M., S. 1992. Manual de producción de vainilla en el estado de Veracruz. Manual para productores # 3. SARH-INIFAP Campo Experimental Papantla. Papantla, Veracruz, México. 28 p.
- Schabenberger O., and F. Pierce J. 2002. Contemporary statistical models for the plant and soil sciences. CRC Press, Boca Ratón, FL. 730 p.
- Sujatha S., and R. Bhat. 2010. Response of vanilla (*Vanilla planifolia* A.) intercropped in arecanut to irrigation and nutrition in humid tropics of India. Agricultural Water Manage. 97: 988-994.