

Estudio experimental para la determinación de los coeficientes de cultivo de la vainilla (*Vanilla spp.*)

Henry-Arturo Kelso Bucio^{1§}, Khalidou-Mamadou Bâ¹, Saúl Sánchez Morales² y Delfino Reyes López³

¹Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Cerro de Coatepec, Ciudad Universitaria, C. P. 50110, Toluca, Estado de México, México, khalidou@uaemex.mx. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Ixtacuaco. Carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, km 4.5. Colonia. Rojo Gómez, C. P. 93600, Tlapacoyan, sanchez.saul@inifap.gob.mx. ³Escuela de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México, delfino_reyes2001@yahoo.com.mx. [§]Autor para correspondencia: arturokb@yahoo.com.mx.

Resumen

El coeficiente de desarrollo del cultivo y la evapotranspiración de referencia, son los dos factores indispensables para la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos. El objetivo de esta investigación fue estimar los coeficientes de cultivo *ex situ* de la *Vanilla spp.* para la etapa inicial, desarrollo, y mediados de temporada. Para estimar los coeficientes de cultivo (Kc), se midió la evapotranspiración real (ETr) y la evapotranspiración de referencia (ETo). La ETr se determinó mediante un lisímetro de pesada con precisión ± 0.108 mm y la ETo con el método de Penman Monteith (PM), estimado mediante una estación climatológica instalada dentro del sitio experimental Ixtacuaco, ubicado en el Campo Experimental Ixtacuaco del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los resultados de la estimación de Kc para el periodo 2010 - 2012, fueron ajustados con el método Linear-Plateau, donde se obtuvo un Kc para la etapa inicial ($K_{c_{ini}}$) de 0.34, un Kc para la etapa de desarrollo ($K_{c_{des}}$) de 0.34 - 0.90, y un Kc para la etapa media ($K_{c_{med}}$) de 0.9. Finalmente, se obtuvo un requerimiento hídrico promedio para la etapa inicial de 0.68 mm d^{-1} , 0.27 mm d^{-1} para la etapa de desarrollo y 0.19 mm d^{-1} para la etapa de mediados de temporada, con una densidad de plantación de seis plantas m^{-2} y un acomodo de plantas tipo "M".

Palabras clave: coeficiente de cultivo, lisímetro de pesada, evapotranspiración real, evapotranspiración de referencia, *Vanilla spp.*

Introducción

La vainilla es una orquídea de crecimiento epífito 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 a nivel de entrenudos, donde se encuentran los meristemos axilares y posee un sistema radical fasciculado, el cual tiene un rango exploratorio no mayor a 30 cm de profundidad, que se desarrolla entre la materia orgánica. Además, posee raíces adventicias utilizadas como sujetadoras y después de su crecimiento descendente en busca de materia orgánica, dichas raíces absorben nutrientes (Reyes *et al.*, 2008).

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

Etapas del crecimiento del cultivo de vainilla

Las etapas de crecimiento del cultivo de *Vanilla planifolia A* y su determinación dependen del manejo cultural ejercido y en particular del tipo de encauzamiento de las guías de crecimiento de la vainilla.

El ciclo del cultivo varía de acuerdo al mantenimiento que recibe y puede ser de 3 a 10 años. Las plantaciones comerciales en México tienen una vida promedio de cinco años, de los cuales, los primeros tres años son de desarrollo vegetativo, mientras que los últimos dos años son de producción (Elorza *et al.*, 2007)

De acuerdo con la descripción realizada por Allen *et al.* (1998) las diversas etapas de desarrollo vegetativo adaptadas para la vainilla por Kelso (2009) son las siguientes:

Etapa inicial (Kc_{ini}). Comprende de la fecha de siembra hasta 200 días después de la siembra (DDS); este tiempo es el necesario para que la planta tenga una elongación mínima de 1.5 m, y representa aproximadamente 10% del ciclo de cultivo y de cobertura del suelo.

Etapa de desarrollo del cultivo (Kc_{des}). Comprende desde el momento en que la planta tiene 200 DDS hasta el inicio de floración o hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa.

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

Etapa final (Kc_{fin}). Comprende desde el inicio de la madurez de los frutos hasta la cosecha o dehiscencia de los mismos.

La vainilla se encuentra catalogada como uno de los cultivos más redituables que existen en México (ASERCA, 2002). Sin embargo, en la plantación existe una alta incidencia de problemas fitosanitarios como pudrición de raíz (*Fusarium oxysporum* f sp.), pudrición basa (*Phytophthora* sp.), antracnosis (*Colletotrichum* sp.) y roya (*Uromyces joffrini*) (Mesak *et al.*, 1994; Sánchez *et al.* (2001) por lo que cada año se tiene que reseñar aproximadamente 30% de la plantación, para mantener una densidad de 2 280 a 10 000 plantas ha^{-1} (Sánchez, 1992). A pesar de que algunos autores como Bouriquet (1954), y Damirón (2004); Elorza (2007) reconocen la importancia de contar con un sistema de riego desde el establecimiento del cultivo y durante todo el año para evitar estrés hídrico en las plantas, y en consecuencia pérdidas económicas (Pereira, 2007).

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; Sujatha y Bhat, 2010). También el sistema de riego por goteo es utilizado para esta actividad, la cual reduce el área de mojado, disminuye la humedad relativa y la incidencia de hongos fitopatógenos (Kelso, 2009; Castro, 2011). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, se desconocen los requerimientos hídricos de la vainilla.

Debido a la importancia del cultivo en México por ser país de origen de esta orquídea y al desconocimiento de los requerimientos hídricos de la vainilla, se ha planteado esta investigación la cual tiene por objetivo estimar los coeficientes de cultivo *ex situ* de la *Vanilla* spp. para la etapa inicial (Kc_{ini}), desarrollo (Kc_{des}), y mediados de temporada (Kc_{med}).

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en el sitio experimental Ixtacuaco a 112 msnm, entre las coordenadas 20° 02' 36" latitud norte y 97° 05' 52.5" latitud oeste. Ubicado en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Ixtacuaco, perteneciente a la región Golfo Centro, km 4.5 carretera Martínez de la Torre - Tlapacoyan, estado de Veracruz.

El sitio experimental se conformó por una cubierta plástica de 200 μm de espesor y un sombreado de 85% para controlar los aportes de la precipitación en el balance hidrológico, evitar problemas fungosos en el desarrollo del cultivo debidos al exceso de agua, y proporcionar la sombra requerida por el cultivo para evitar lesiones en el tejido de la planta por quemaduras de sol. La superficie aprovechable fue de 33 m^2 , donde se instaló un lisímetro de pesada.

Lisimetría

El lisímetro de pesada se conformó por un recipiente metálico rectangular de 1.515 m de longitud * 1.22 m de ancho * 0.29 m de alto (Figura 1), el cual se colocó sobre 4 celdas de carga con capacidad de 1 t, situadas en una base de 1.2 m de largo * 1.2 m de ancho. La señal transmitida por la variación de peso en el recipiente se cuantificó con un indicador modelo IPEN, mismo que fue conectado a una impresora de impacto SRP-275 para efectuar la impresión del peso actual a intervalo horario.

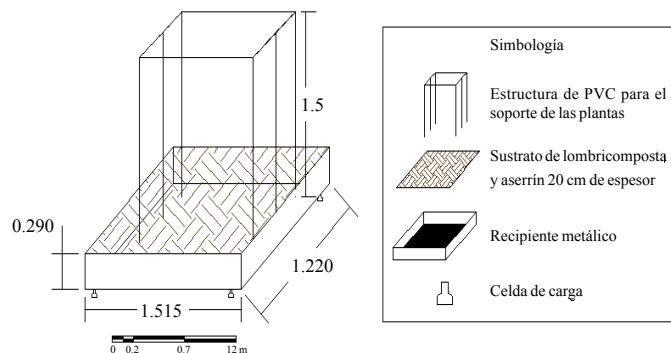


Figura 1. Croquis del lisímetro.

La precisión del lisímetro se determinó mediante la ecuación (1).

$$\text{Precisión (mm)} = \frac{\text{PB}}{\text{AL}} \bullet 10 \quad (1)$$

Donde: PB= precisión de la báscula (g); y AL= área del lisímetro (cm^2).

La evapotranspiración de referencia ETo, se obtuvo directamente de la estación climatológica instalada dentro del sitio experimental Ixtacuaco que estima ETo con el método de Penman Monteith (PM), ubicado en el Campo Experimental Ixtacuaco del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Para llevar a cabo la estimación de ETr mediante el balance hídrico se utilizó la ecuación de balance (Sánchez, 1992).

$$\text{ETr}_i = P_i + R_i - D_i - E_i \pm \Delta S_i \quad (2)$$

Donde: ETr_i= evapotranspiración real del cultivo para el periodo i (mm); P_i= precipitación para el periodo i (mm); R_i= lámina de riego aplicada para el periodo i (mm); D_i= drenaje del lisímetro para el periodo i (mm); E_i= escurrimiento superficial para el periodo i (mm); y ΔS_i = cambio en el contenido de almacenamiento de agua en el suelo para el periodo i (mm).

El riego se efectuó de acuerdo con el potencial mátrico del sustrato (Ψ_m) y el intervalo de riego se estableció a -20 kPa.

Establecimiento del cultivo

El sustrato del lisímetro fue una mezcla de lombricomposta y viruta de madera en proporciones iguales de volumen (v v^{-1}), donde se establecieron seis esquejes de *Vanilla*

planifolia, dos esquejes de material resistente *Vanilla spp.* y dos esquejes de *Vanilla pompona* todos de 1.5 m de longitud, para obtener 6 plantas m^{-2} .

Encauzamiento del cultivo. El manejo cultural establecido correspondió al encauzamiento de guías tipo "M", la cual consiste en evitar que la vainilla crezca por encima de la horqueta del tutor, a una altura promedio de 1.7 m, dejando a libre crecimiento la parte apical de la vainilla y dirigirla hacia la materia orgánica, para posteriormente realizar el capado de la vainilla. Su fin es promover la emisión de brotes vegetativos a la altura de la horqueta del tutor (1.7 m) y consiste en eliminar la parte apical, más un entrenudo (10 cm) cuando la planta alcanza una longitud aproximada de seis metros. Así, la planta quedará preparada para la producción de fruto y de esqueje, formando ramas desde la horqueta del tutor (Sánchez, 1992).

Determinación de los coeficientes de cultivo

El coeficiente de cultivo se determinó mediante la relación entre la ETr y ETo (Ecación 3). El coeficiente de cultivo integra los factores de la planta y el suelo. Sin embargo, cuando no hay limitación de agua en el suelo, el factor planta influye netamente en el Kc.

$$Kc_i = \frac{\text{ETr}_i}{\text{ETo}_i} \quad (3)$$

Donde: Kc_i= coeficiente de cultivo en la etapa i; ETr_i= evapotranspiración real del cultivo en la etapa i (mm d^{-1}); ETo_i= evapotranspiración de referencia en la etapa i (mm d^{-1}).

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un ajuste mediante el modelo Linear-Plateau y posteriormente fueron graficados con el programa SigmaPlot® (versión 11), para obtener la curva del Kc_{ini}, Kc_{des} y Kc_{med}.

El modelo Linear-Plateau utilizado en este estudio fue (Schabenberger y Pierce, 2002):

$$E[Y] = (\beta_0 + \beta_1 x) | \{x \leq \alpha_1\} + (\beta_0 + \beta_1 \alpha_1) | \{x > \alpha_1\} \quad (4)$$

Donde: E[Y]= variable dependiente; x= variable independiente del modelo de regresión lineal simple; α = punto de combinación; β_0 y β_1 = la ordenada β_0 y la pendiente β_1 del modelo (son los coeficientes de la regresión).

Resultados y discusión

El lisímetro instalado con capacidad de 1 t y precisión ± 200 g, correspondió a una precisión de ± 0.108 mm (Figura 2). En el área del lisímetro se establecieron seis esquejes de *Vanilla planifolia*, dos esquejes de material resistente *Vanilla* spp. y dos esquejes de *Vanilla pompona* todos de 1.5 m de longitud, con una densidad de plantación de 6 plantas m^{-2} , conformando la estación lisimétrica para estimar ETr de la vainilla.



Figura 2. Lisímetro de pesada.

Los aportes de agua en el lisímetro se efectuaron mediante riegos, manteniendo Ψ_m del sustrato entre 0 y -20 kPa, y la frecuencia de riego fue de cuatro días en promedio. El consumo requerido por las plantas en el lisímetro para la etapa inicial, en que la planta tenía sólo 200 días, fue de 0.68 mm d^{-1} . En la etapa de desarrollo, el consumo llegó a ser de 0.27 mm d^{-1} . Sin embargo; en la etapa media, el consumo fue de 0.19 mm d^{-1} .

Durante la duración de esta investigación se reflejaron las etapas de desarrollo del cultivo (Figura 3), donde la etapa inicial Kc_{ini} presentó valores casi constantes entre los 0-200 DDS, el valor ajustado de Kc_{ini} fue de 0.34. La etapa de desarrollo se determinó entre los 200-562 DDS, con un Kc_{des} que fue en aumentando de 0.34 a 0.9. Finalmente, la etapa media de desarrollo se estableció a partir de los 562 DDS, con un Kc_{med} de 0.9 para el periodo 2010 - 2012.

De acuerdo con estos resultados y efectuando una comparación con otras investigaciones referente a láminas de riego, Sánchez (1997) aplicó una lámina de 46 mm d^{-1} mediante aspersión en los meses de seca, donde se sobreestiman las lámina obtenidas en esta investigación para

las tres fases analizadas. Por otra lado, Castro (2011) aplicó riegos localizados durante los meses de mayo y junio de 1 mm d^{-1} , 0.5 mm d^{-1} , 0.25 mm d^{-1} y temporal para reducir la caída de frutos, donde los requerimientos de agua adicionales en el cultivo de vainilla para aumentar la producción de frutos, aparentemente son mínimos. Como se observa en los resultados obtenidos, el consumo para la etapa media corresponde al orden de los 0.19 mm d^{-1} , con una frecuencia de riego promedio de cuatro días.

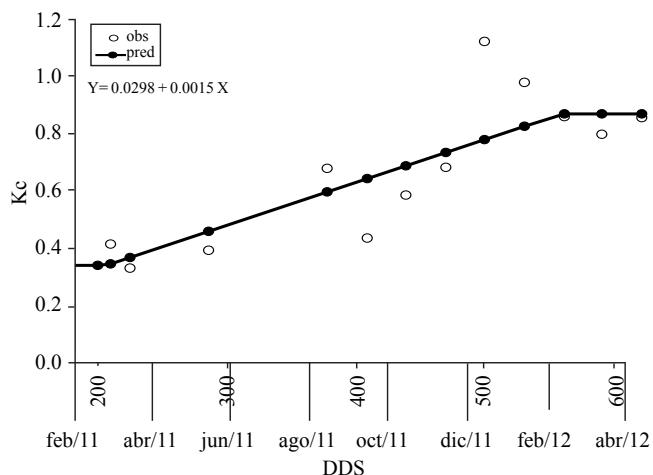


Figura 3. Coeficiente de cultivo.

Sin embargo, en ambas referencias se investigan los requerimientos adicionales de agua y no estiman los requerimientos hídricos de la vainilla, como se contempla en esta investigación.

Conclusiones

El conocimiento de los coeficientes de cultivo para las diversas etapas de desarrollo son fundamentales en la estimación de los requerimientos hídricos de la vainilla, contribuyendo a una mejor estimación de las necesidades hídricas de este cultivo, que por primera vez, se logró determinar experimentalmente de manera *ex situ* en un lisímetro de pesada.

El coeficiente de cultivo se puede englobar en un sólo Kc por etapa de desarrollo vegetativo, sin que se presenten síntomas de enfermedades fungosas, entre la biodiversidad genética establecida en esta investigación para la *Vanilla* spp.

La implementación del encauzamiento tipo “M”, permite modificar la estructura de la vainilla formando ramas, incrementar la densidad de plantación, reducir el crecimiento vegetativo de la planta, y permite un mejor control en el manejo del cultivo de forma intensiva.

Literatura citada

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO, Rome, Italy. 298 p.
- Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). 2002. La vainilla una tradición con alto potencial. *Revista Claridades Núm. 101*. 44 p.
- Bouriquet, G. 1954. *Le vanillier a la vanille. Encyclopédie biologique*. Editions Paul Lechevalier. Paris. 746 p.
- Castillo, M. R. y Engleman, E. M. 1993. Caracterización de dos tipos de Vainilla *Planifolia*. *Acta Botánica. Instituto de Ecología A. C.* Diciembre. Núm. 025. Pátzcuaro. México, D. F. 25:49-59.
- Castro, G. B.; Martínez, A. J.; Martínez, M. J. y García, J. F. 2011. Aplicación de riego localizado para aumentar la retención de frutos de *Vanilla planifolia* en el Totonacapan, Veracruz, México. *Agrociencia* 45(3):281-291.
- Correll, D. S. 1953. *Vanilla - Its botany, history, cultivation and economic import*. *Econ. Bot.* 7:291-358.
- 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.
- Elorza M., P.; Herrera L., M.; Hernández F., A., D.; Olmedo P., G.; Domínguez B., C. y Maruri G., J. M. 2007. Efecto del tipo de tutor sobre el contenido de vainillina y clorofila en vainas de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 7(1):228-236.
- Kelso, H. B. 2009. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia A*), en el sureste de México. Tesis de Maestría. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. 129 p.
- Mesak, T.; Kobayashi, K. and Ogoshi, A. 1994. Vegetative compatibility grouping of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vanilla* in Indonesia. *Indonesia J. Crop Sci.* 9(2):29-39.
- Pereira, L. S. 2007. Drought impacts in agriculture: water conservation and water saving practices and management. In: Rossi, G.; Vega, T. and Bonaccorso, B. (Eds). *Methods and tools for drought analysis and management*. Springer, Netherlands. 62:349-383.
- Reyes, D. L.; Rodríguez, B. M.; Kelso, H. B.; Huerta, M. L. e Ibáñez, A. M. 2008. *Beneficiado tradicional de vainilla*. Editorial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 72 p.
- Sadanandan, K. A. and Hamza, S. 2006. Effect of organic farming on soil quality, nutrient uptake, yield and quality of Indian Spice. In: 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia, PA, USA. 95-102 p.
- Sánchez, M. I. 1992. Métodos para el estudio de la evaporação y evapotranspiración. *Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología*. United Nations, FAO. 3:36 p.
- Sánchez, M. S. 1992. Manual de producción de vainilla en el estado de Veracruz. SARH-INIFAP- Campo Experimental Papantla. Papantla, Veracruz, México. Manual para productores Núm. 3. 28 p.
- Sánchez, M. S. 1997. Caracterización de los principales sistemas de producción comercial de vainilla (*Vanilla planifolia A*) en México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 104 p.
- Sánchez, M. S.; Becerril, A. R.; Tijerina, A. L. C. y Santizo, J. S. A. 2001. Crecimiento y desarrollo de vainilla en tres sistemas de producción en Papantla, Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 24(1):49-56.
- Schabenberger, O. and Pierce F. J. 2002. *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*. CRC Press, Boca Ratón, FL. *Agron. J.* 102:320-326.
- Sujatha, S. and Bhat, R. 2010. Response of vanilla (*Vanilla planifolia A.*) intercropped in arecanut to irrigation and nutrition in humid tropics of India. *Agric. Water Management*. 97:988-994.