

**Determinación del coeficiente hídrico del cultivo
(Kc) para la lechuga variedad Verónica en los
meses de mayo a julio en condiciones de El
Zamorano, Honduras**

Anwar Fuad Hoch Flores

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

**Determinación del coeficiente hídrico del cultivo
(Kc) para la lechuga variedad Verónica en los
meses de mayo a julio en condiciones de El
Zamorano, Honduras**

Proyecto especial presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Agrónomo
en el Grado Académico de Licenciatura.

Presentado por

Anwar Fuad Hoch Flores

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

Determinación del coeficiente hídrico del cultivo (Kc) para la lechuga variedad Verónica en los meses de mayo a julio en condiciones de El Zamorano, Honduras

Presentado por:

Anwar Fuad Hoch Flores

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor Principal

Miguel Vélez, Ph. D.
Director Carrera Ciencia y
Producción Agropecuaria

Ulises Barahona, Ing. Agr.
Asesor

Raúl Espinal, Ph. D.
Decano Académico

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesora

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

Abelino Pitty, Ph. D.
Coordinador de Fitotecnia

RESUMEN

Hoch, A. 2008. Determinación del coeficiente hídrico (Kc) para la lechuga variedad Verónica en los meses de mayo a julio en condiciones de El Zamorano, Honduras. Proyecto Especial para optar al título de Ingeniero agrónomo, El Zamorano, Honduras. 24 p.

Los efectos del cambio climático y la deforestación han hecho cada vez más limitado el uso del recurso agua. El coeficiente hídrico es un factor que multiplica una variable; en este caso la variable es la evapotranspiración de referencia (ET_o) para estimar la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Se determinó el coeficiente hídrico de la lechuga variedad Verónica que es de importancia económica en El Zamorano. El estudio se realizó en el lote 14 de Zona 2, área de horticultura, desde el 30 de mayo hasta el 3 de julio de 2008. Se estimó la ET_c utilizando un lisímetro no pesante de drenaje libre. La ET_o se obtuvo de una estación meteorológica automatizada ubicada entre el lote 11 y 14, Zona 2. El ciclo en campo de la lechuga variedad verónica es de 35 días, por lo tanto, se determinaron cinco fases resultando en cinco datos de Kc. Los Kc desde la semana uno hasta la semana cinco fueron 0.76, 0.98, 1.16, 0.99, 0.83. La mayor evapotranspiración se dio en las semanas tres y cuatro debido al incremento de la temperatura, radiación solar y velocidad del viento, además coincidió con la etapa fisiológica comercial del cultivo en el cual el requerimiento hídrico fue mayor. La lechuga variedad verónica evapotranspiró 113.2 mm en el ciclo de producción.

Palabras clave: evapotranspiración del cultivo (ET_c), evapotranspiración de referencia (ET_o), lisímetro.

ABSTRACT

Hoch, A. 2008. Determination of the crop coefficient (Kc) for the lettuce variety Veronica in the months of May to July under Zamorano, Honduras conditions. Special project of agricultural engineer programme, Panamerican Agricultural School, El Zamorano. 24 p.

The effects of the climatic change and the deforestation have limited the use of water. The study focused in the effective use of the water by determining the crop coefficient (Kc) for the lettuce variety Veronica. The crop coefficient is a factor that multiplies a variable; in this case the variable is the reference evapotranspiration (ET_o) to estimate the crop evapotranspiration (ET_c). The crop coefficient of the lettuce variety Veronica was determined because this crop has an economic importance in El Zamorano. The study was made in lot 14 of Zona 2, horticultural production, from May 30 to July 3 of 2008. The crop evapotranspiration was estimated using free drainage lysimeter. The reference evapotranspiration was obtained through an automated weather station located between lots 11 and 14, Zona 2. The crop was divided in five stages resulting in five coefficients that correspond to the five weeks of the production cycle of the crop. The Kc of the lettuce from week one to week five were 0,76, 0,98, 1,16, 0,99, 0,83. The experiment demonstrated that the greater evapotranspiration occurred between weeks three and four due to the increase of temperature, solar radiation and wind speed also the crop coincided with the physiological stage where the hydric requirement was greater. The evapotranspiration of the lettuce variety Veronica was 113.2 mm in its cycle of production.

Key words: Crop evapotranspiration (ET_c), lysimeter, reference evapotranspiration (ET_o).

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Contenido	v
Índice de cuadros, figuras y anexos	vi
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	4
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
CONCLUSIONES	16
RECOMENDACIONES	16
BIBLIOGRAFÍA	17
ANEXOS	19

ÍNDICE DE CUADROS FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Horas afectadas por la ETc desde 30 de mayo hasta 2 de junio	8
2. Horas afectadas por la ETc desde 2 al 5 de junio	10
3. ETc y Kc diario y semanal de la lechuga variedad verónica en El Zamorano, Honduras	15
Figuras	
1. Instalación del lisímetro usado en el estudio, lote 14, Zona 2	5
Anexos	
1. Dimensiones del lisímetro	19
2. Lisímetro de drenaje	19
3. Sensores marca watermark 30 ktcd nl®	20
4. Interpretación de las lecturas de humedad	20
5. Estación meteorológica automática GroWeather (tecnología Davis Instruments)	21
6. Principales factores que afectan la ETc	22
7. Semana uno de la lechuga variedad Verónica	23
8. Semana dos de la lechuga variedad Verónica	23
9. Semana tres de la lechuga variedad Verónica	23
10. Semana cuatro de la lechuga variedad Verónica	24
11. Semana cinco de la lechuga variedad Verónica	24

INTRODUCCIÓN

La producción hortícola es altamente dependiente del suministro hídrico artificial debido a los cortos ciclos de producción y a las características morfológicas y fisiológicas de los cultivos. La lechuga variedad Verónica es un cultivo que en El Zamorano se produce en el campo y tiene un ciclo de vida de 35 días. Se siembra semanalmente durante todo el año¹. La lechuga tiene un consumo de agua entre 52 mm y 125 mm dependiendo de la época del año. Es muy sensible al déficit hídrico por su sistema radical poco profundo, efecto que se hace evidente sobre la producción de materia verde, exigiendo niveles hídricos en el suelo cercanos a capacidad de campo. Esto lleva al productor a la aplicación continua de agua que, en la mayoría de los casos, resulta superior a sus necesidades (Adrover *et al.* 2001; Ortega *et al.* 1999; Gallardo *et al.* 1996).

En los cálculos de riego se llama coeficiente del cultivo (K_c) a la relación entre las necesidades diarias de riego y la ET_o .

La ET_c se estima mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{y} \quad K_c = ET_c / ET_o$$

Donde

- ET_c es la evapotranspiración del cultivo de interés, expresada en mm/día.
- ET_o es la evapotranspiración de referencia, expresada en mm/día.
- K_c es un coeficiente adimensional que depende de cada cultivo

La conserjería de Agricultura y Pesca (1999) reportó valores de K_c de 0.45 para la etapa inicial; 0.60 etapa de desarrollo; 1.00 etapa media y 0.9 etapa de madurez fisiológica. Doorenbos y Pruitt (1977) reportaron valores de K_c en lechuga de 0.95 en la etapa inicial; 0.95 en la etapa de desarrollo; 1.00 en la etapa de mediados del período y 1.05 en la etapa de madurez fisiológica. Establecieron como pauta la información necesaria del cultivo tales como:

- Fecha de siembra
- Duración de la estación vegetativa total

¹ Barahona, U. 2008. Información general de la lechuga variedad Verónica. Zamorano. EAP. (entrevista).

- Duración de la fase inicial (desde la germinación hasta el 10% de la cobertura del terreno).
- Fase de desarrollo del cultivo (del 10% al 80% de cobertura del terreno).
- Duración de la fase de mediados del período (desde el 80% de cobertura del terreno hasta el comienzo de la maduración).
- Duración de la fase de finales del período (desde el comienzo de la maduración hasta la recolección).

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Castillo y Sentis (1996) definieron que la ETc es la evapotranspiración del cultivo en milímetros y es la combinación entre la evaporación de un líquido de una superficie y la transpiración como consecuencia de la eliminación por evaporación de una parte del agua absorbida por las plantas.

Doorenbos y Pruitt (1977) definieron la ETc como la evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades que crece en un campo extenso (una o más hectáreas) en condiciones óptimas de suelo, incluida una fertilidad y agua suficiente en el que llega al potencial de plena producción. Las condiciones locales y las prácticas agrícolas e inclusive los tipos de plantas y la selección de variedades pueden repercutir de un modo considerable en la ETc y exigir por consiguiente, ciertas correcciones.

En cualquier cultivo hortícola muchos factores pueden afectar la evapotranspiración, estos incluyen el tipo de planta, el suelo y los factores climáticos. Existen varios métodos para cuantificar y estimar la ETc. El método más simple es del lisímetro.

McIlroy y Agnus (1963) definieron el lisímetro como un bloque de suelo, con vegetación o sin ella, encerrado en un recipiente adecuado y expuesto a las condiciones naturales de campo.

La organización mundial de la salud (OMS 1968) utiliza el término “evapotranspirómetro” o “evaporímetro del suelo” para indicar “recipiente de suelo y vegetación por medio del cual, el agua perdida es medida o por diferencia de peso o midiendo toda el agua que llega a la superficie y aquella que escapa del fondo del recipiente.

Hillel *et al.* (1969) definieron los lisímetros como “recipientes grandes llenos de suelo, generalmente ubicados en el campo para representar sus condiciones naturales, en los cuales las condiciones del sistema suelo-agua-planta pueden ser convenientemente reguladas y controladas en forma más exactas, que en el perfil natural del suelo.

En la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, el método de estimación utilizado es el de lisímetro de drenaje libre. Tal como el nombre lo indica, el agua en estos lisímetros drena libremente hacia la atmósfera o hacia un medio poroso, generalmente grava o arena, ubicado en la base de la masa de suelo. Debido a la ausencia de tensión en el fondo, ellos han sido también llamados de “cero tensión” o lisímetros “cero presión” (Van Bavel 1961).

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Doorenbos y Pruitt (1977) definieron la ET_o como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre de escasez de agua.

El concepto de ET_o se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una disponibilidad abundante de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre la ET_o (Allen *et al.* 1998).

El relacionar la evapotranspiración a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la evapotranspiración de otras superficies. Además, se elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración para cada cultivo y período de crecimiento. Se pueden comparar valores medidos o estimados de la ET_o en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a la evapotranspiración bajo la misma superficie de referencia. Los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos. Por lo tanto, la evapotranspiración de referencia también puede ser calculada a partir de datos meteorológicos.

La ET_o expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de la evapotranspiración de referencia con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que se aproxima de una manera cercana la evapotranspiración de referencia de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes (Allen *et al.* 1998).

El objetivo general del estudio fue determinar las necesidades hídricas de la lechuga variedad Verónica en los meses de mayo a julio para maximizar el uso del agua. Los objetivos específicos fueron determinar el coeficiente hídrico (K_c) de lechuga variedad Verónica a lo largo de su ciclo y construir un lisímetro de drenaje que funcione para cultivos posteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El ensayo se realizó en la Escuela Agrícola Panamerica, El Zamorano, Honduras, a 30 km al sureste de Tegucigalpa. El lugar está a una altura de 800 msnm, con una precipitación promedio anual de 1,084.5 mm y una temperatura promedio de 23.4°C. Se usó el lote 14 del área de producción hortícola de Zona II.

Cultivo

Lactuca sativa Var Verónica. es de tipo hoja amarilla, suelta, de contextura arrugada; con una altura promedio de 11.2 cm y una longitud de la raíz pivotante de 11.0 cm al momento de la cosecha. Pasa 21 días en invernadero y 35 días en campo hasta la cosecha.

El cultivo se transplantó sobre camas de un metro de ancho, con cuatro hileras por cama separadas 2.6 cm entre hileras y 30 cm entre planta a tresbolillo, a razón de 74,000 plantas por hectárea, a una distancia de 1.8 m entre camas, resultando 12 plantas por lisímetro. La fertilización fue de 90 kg de N/ha en todo el ciclo del cultivo y desmalezó semanalmenteⁱ.

Lisímetro

Para estimar la ETc se utilizó un lisímetro no pesante del tipo drenaje libre, que es el más simple y común de los lisímetros; fácil de instalar y que requiere poco mantenimiento (Aboukhaled *et al.* 1986). Este lisímetro consiste en un recipiente de hierro de 1 × 1 m; el fondo es inclinado, con 0.20 m y 0.40 m de profundidad, para facilitar la extracción del agua de drenaje a través de un tubo de hierro (Anexo 1 y 2).

Instalación del lisímetro

Se instalaron tres lisímetros en diferentes camas, separados 10 m entre ellos y se determinó dos metros de área borde alrededor de cada lisímetro. Sobre camas de un metro de ancho se hicieron agujeros de 1 × 1 × 0.5 m en la cual se instaló el lisímetro de modo que quedara a nivel con la superficie de la cama. Frente del lisímetro y a 1.8 m de distancia se hicieron calicatas de 1 × 1 × 1 m conectadas con un surco con pendiente para facilitar drenaje.

ⁱ Barahona, U. 2008. Información general de lechuga variedad Verónica. Zamorano. EAP. (entrevista).

El surco sirvió para enterrar el tubo de hierro que conectaba al lisímetro y a un colector con capacidad de 40 L ubicado en la calicata. La calicata también sirvió para describir el perfil del suelo y obtener muestras para determinar curvas de retención de humedad mediante pruebas en laboratorio (Figura 1).

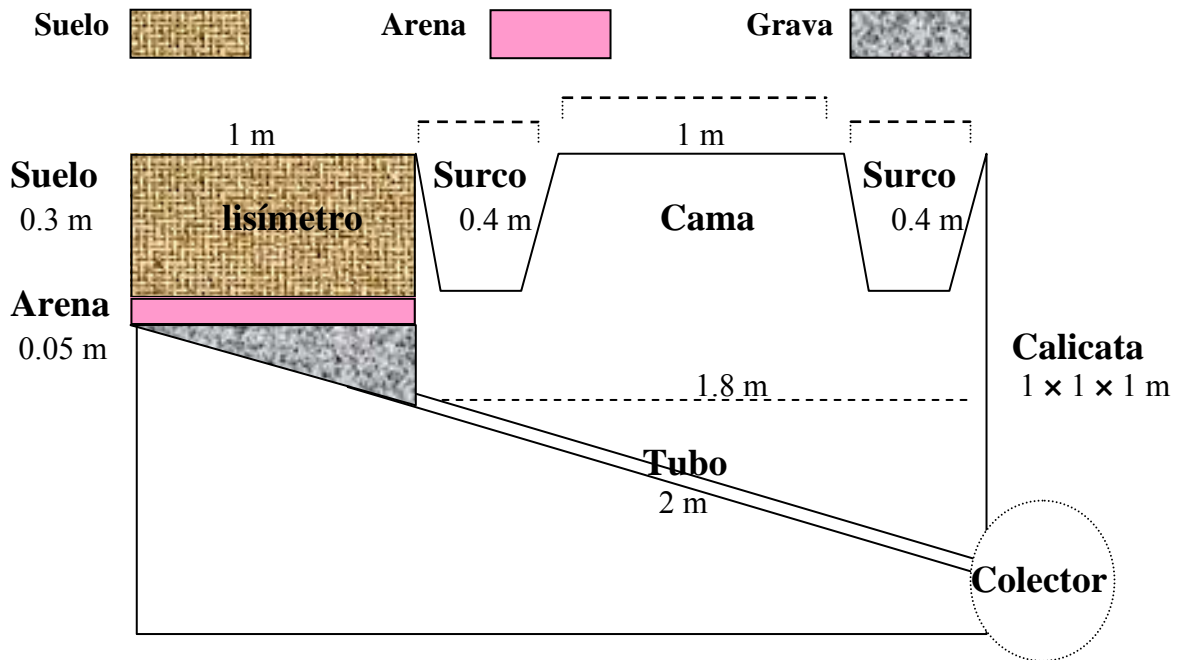


Figura 1. Instalación del lisímetro usado en el estudio, lote 14, Zona 2.

Después de enterrar el lisímetro, se relleno el fondo con grava hasta dejar una capa uniforme, dejando sin relleno 35 cm; luego se colocó una capa uniforme de cinco centímetros de arena. La grava y arena sirvieron como medio poroso para facilitar la percolación del agua y permitir mejor drenaje. Después se relleno con 30 cm de suelo del lugar donde se instaló el lisímetro y en el mismo orden del perfil del suelo, manteniendo la estructura.

Suelo dentro del lisímetro

En las calicatas ubicadas a 1.8 m de cada lisímetro se identificaron dos horizontes de suelo; Horizonte A de 0 a 0.36 m y horizonte B de 0.36 m a 1.0 m. El horizonte A, que es el horizonte de interés por la concentración de la raíz de la lechuga, presentó un suelo franco arcilloso; con densidad aparente de 1.45 gr/cm^3 y una infiltración básica en las camas de 15 mm/h. Según las pruebas hechas al suelo del horizonte A en el laboratorio de suelos del Centro de Entrenamiento y Desarrollo Agrícola (CEDA) ubicado en Comayagua se determinó que a capacidad de campo, el porcentaje de humedad es de 28.4 % y en el punto de marchitez permanente es de 17.9%; por lo tanto el agua disponible fue de 10.5%. Es decir, la planta solo podrá aprovechar el 10.5% del agua contenida en el suelo dentro del lisímetro de drenaje cuando esta a capacidad de campo.

Función del lisímetro

La función primordial del lisímetro de drenaje libre fue estimar la ETc mediante la ecuación:

$$ETc = I + P - D$$

Donde

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm)

I = Irrigación (mm)

P= Precipitación (mm)

D= Drenaje (mm)

En el estudio se consideraron cinco etapas del cultivo. Cada etapa consta de siete días, debido al corto ciclo en campo de la lechuga variedad Verónica. El suelo dentro del lisímetro se saturó de agua mediante riego o en caso de lluvia significativas; La entrada de agua por lluvia al lisímetro se cuantificó mediante un pluviómetro. El agua aplicada mediante riego se midió con una probeta y posteriormente fue distribuida uniformemente con una regadera de jardín al suelo dentro del lisímetro. El agua drenada se midió con una probeta.

Hoja de registro de datos

Para registrar los datos de las variables medidas, se utilizó un formato que contenía:

- Fecha
- Humedad del suelo (cbar).
- Lluvia (L).
- Riego (L).
- Agua de drenaje (L).
- Número de hojas.
- Longitud de raíz (cm).
- Evapotranspiración del cultivo calculada (ETc), (mm/día).
- Evapotranspiración de referencia calculada (ETo), (mm/día).
- Coeficiente hídrico del cultivo determinado (diario).

Saavedra (1990) define la ETc como la suma de la transpiración (afectada por el área foliar, estructura de las hojas y exposición al ambiente, comportamiento estomático y la eficiencia del sistema radical para absorber el agua) y la evaporación del suelo y es diferente para cada etapa del cultivo, por lo tanto en el estudio se contaron las hojas y se midió la longitud de las raíces cada tres días. Para ello se arrancó cuidadosamente una planta del borde que fue de cada lisímetro que tuviese el mismo tamaño de las plantas ubicadas dentro de éste. Se contaron las hojas de las doce plantas dentro de cada lisímetro y se promediaron por lisímetro.

Iniciación operacional del lisímetro

El día uno (30 de mayo) se trasplantó el cultivo y se saturó de agua el suelo dentro de los lisímetros con intención de provocar drenaje y dejar el suelo a capacidad de campo. El drenaje no se tomó en cuenta ya que se estaría estimando la evaporación de agua del suelo de los días anteriores al trasplante.

Cambio de humedad del suelo en los lisímetros

Se monitoreó la humedad de los primeros 10 cm del suelo con sensores de humedad watermark 30 ktd nl® el cual se manejó un rango entre los 10 y 30 cbar que es a capacidad de campo. Se observó que en el suelo entre más cercano al límite suelo-aire; más se acercó a capacidad de campo (10 a 30 cbar) por lo tanto se dedujo que entre más cercano al límite suelo-arena mayor era el estado de saturación (0 a 10 cbar) por lo tanto después de un flujo de agua ésta se infiltraba en el suelo desplazando al agua del suelo ya saturado más cercano al límite suelo-arena, así provocando el drenaje del agua. Manteniendo siempre en los diez primeros centímetros de profundidad el nivel de (10 a 30 cbar).

Período de lluvia y período seco

El estudio se realizó desde el 30 de mayo (día uno) hasta el 3 de julio (día de cosecha). Este período coincidió con la época lluviosa, por lo tanto, el flujo de entrada de agua al lisímetro dependió fuertemente a la ocurrencia de lluvia. Hubo un período, del 12 al 21 de junio, cuando la precipitación fue nula. Para provocar drenaje en los diez días se regó uniformemente al suelo dentro de los lisímetros con una regadera de jardín.

Evapotranspiración del cultivo en el período de lluvia

Se tomó en cuenta las precipitaciones cuando el volumen de agua era significativo a modo que saturaba el suelo provocando drenaje hasta el día en donde el volumen de agua por la precipitación fue mínimo y no hubo drenaje. En este período, cuando la precipitación fue mínima, se aprovechó para monitorear el tubo de hierro y comprobar que no goteaba para medir el agua de los colectores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Horas afectada por la ETc desde el 30 mayo hasta el 2 de junio

Fecha	Hora	Número de horas registrando ETc	Observaciones
30 / 05 / 08	8:00 a.m.	16	Transplante y saturación de suelo a las 8:00 am. Inicio de estimación de la ETc.
31 / 05 / 08	12:00 a.m.	24	Hubo precipitación y el tubo del lisímetro presentó goteo. No se midió drenaje.
01 / 06 / 08	12:00 a.m.	24	Hubo precipitación y el tubo del lisímetro presentó goteo. No se midió drenaje.
02 / 06 / 08	4:30 p.m.	24	Registro de la última lluvia a las 4:30 pm; después hubo ausencia de lluvia de 12 horas; tubo sin goteo. Se midió el drenaje.
Total horas		80.5	Equivale a 3.35 días.

Para estimar la ETc desde el 30 de mayo (día uno) hasta el 2 de junio se utilizó la ecuación:

$$ETc = \frac{P + R - D}{d}$$

Donde

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

P = Precipitación (12.2 mm)

R= Riego (0 mm)

D = Drenaje (6.4 mm)

d = Número de horas expresados en días que fueron afectados por la ETc (3.35 días)

Por lo tanto

$$ETc = \frac{(12.2 \text{ mm} - 6.4 \text{ mm})}{3.35 \text{ días}} = 1.73 \text{ mm/día}$$

Al medir el segundo volumen de agua drenada se tomó en cuenta el tiempo después de las 4:30 pm del lunes 2 de junio hasta el jueves 5 de junio, cuando a las 3:00 am (hora de la última ocurrencia de lluvia) la precipitación fue mínima y no hubo goteo del tubo del lisímetro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Horas afectada por la ETc desde el 2 al 5 de junio.

Fecha	Hora	Número de horas registrando ETc	Observaciones
02 / 06 / 08	4:30 p.m.	7.5	La última lluvia fue a las 4:30 pm; después de esta hora la ETc afectó las siguientes horas hasta las 3:00 am del jueves 5 de junio.
03 / 06 / 08	12:00 a.m.	24	Hubo precipitación y el tubo del lisímetro presentó goteo. No se midió el drenaje.
04 / 06 / 08	12:00 a.m.	24	Hubo precipitación y el tubo del lisímetro presentó goteo. No se midió el drenaje.
05 / 06 / 08	3:00 a.m.	3	Después de las 3:00 am pasaron 16 horas sin llover. El tubo del lisímetro no presentó goteo. Se midió el drenaje.
Total horas		58.5	Equivale a 2.43 días.

Para estimar la ETc desde el 2 de junio hasta el 5 de junio se utilizó la ecuación:

$$ETc = \frac{P + R - D}{d}$$

Donde

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

P = Precipitación (26.6 mm)

R = Riego (0 mm)

D = Drenaje (20 mm)

d = Días que fueron afectados por la ETc (2.43 días)

Por lo tanto

$$ETc = \frac{(26 \text{ mm} - 20 \text{ mm})}{2.43 \text{ días}} = 2.46 \text{ mm/día}$$

La ETc en el período de lluvia se estimó de esta forma desde el 30 de mayo hasta el 11 de junio y desde el 21 de junio hasta el 3 de julio.

Evapotranspiración del cultivo en el período seco

Del 12 de junio al 20 de junio la precipitación fue nula. Para estimar la ETc se regó con una regadera de jardín hasta saturarlo provocando drenaje. Se usaron 21 L que fueron suficientes para provocar drenaje.

Para conocer el momento preciso de regar se usaron sensores de humedad marca watermark 30 ktcd nl® (Anexo 3). Al instalar estos sensores se hizo una previa calibración, humedeciéndolos seis horas en agua, dejándolos secar y humedeciéndolos otras seis horas, hasta cumplir 24 horas totales. Se utilizaron dos sensores por lisímetro enterrados a la profundidad efectiva de la raíz de la lechuga de 10 cm. Se regó cuando los sensores marcaban 30 cbar de presión. Esto indica que el estado de humedad del suelo estaba a capacidad de campo (Anexo 4).

Durante el período en que fue necesario regar se estimó la ETc tomando en cuenta el tiempo desde que los sensores marcaban 10 cbar hasta 30 cbar de presión, lo cual significa que los primeros 10 cm del suelo, se saturaron pero fueron perdiendo agua por infiltración y evapotranspiración llegando a capacidad de campo (30 cbar). El agua de drenaje se midió y se restó de los 21 L iniciales; la diferencia es agua potencialmente evapotranspirable por el cultivo. Para obtener una ETc diaria se dividió la ETc total entre las horas totales del periodo.

Obtención de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Se obtuvo la ET_o con una estación meteorológica automatizada GroWeather (tecnología Davis Instruments), la cual mide temperatura del aire y del suelo, dirección y velocidad del viento, radiación solar, lluvia, presión atmosférica, humedad, punto de rocío, humedad de hoja, evapotranspiración potencial y grados-día. Al aire libre y a una altura de 1. Se situaron los sensores de temperatura, humedad, pluviómetro, sensor de humedad de hoja, sensor de radiación solar y anemómetro, al aire libre y a una altura de 1.5 m (Anexo 5).

La ET_o no puede ser medida directamente. La estación meteorológica GroWeather se ubicó en Zona 2, entre los lotes 11 y 14, a 100 m de los lisímetros y se programó para que tomara datos cada media hora. Ésta calculó ET_o mediante un software que combina temperatura del aire, velocidad del viento y radiación solar, por medio de la ecuación Penman Montith:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

Donde

- ET_o = evapotranspiración de referencia, en mm / día
- R_n = radiación neta en la superficie del cultivo, en MJ / m² / día.
- G = densidad del flujo calórico del suelo, en MJ / m² / día.
- T = media de temperatura diaria medida a 2 m del suelo, en °C.
- U₂ = velocidad del viento medido a 2 m del suelo, en m/seg.
- e_s = Presión de vapor en el punto de saturación, en kPa.
- e_a = Presión de vapor actual, en kPa.
- e_s - e_a = déficit de presión de saturación de vapor, en kPa.
- Δ = pendiente de la curva de presión de vapor, en kPa / °C.
- γ = constante sicrométrica, en kPa / °C.

Variables a medir

Número de hojas, longitud de raíz, precipitación, riego, temperatura, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa.

Análisis estadístico

El ciclo del cultivo se dividió en cinco semanas debido al corto ciclo de 35 días que permanece en campo. Con el programa Excel Professional Edition 2003, se utilizó estadística descriptiva, promediando las variables a medir, la ET_c, la ET_o y el K_c ya que solo se contaba con un tratamiento y tres repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Requerimiento hídrico de la semana uno

Se estimó 14.4 mm de ETc y un Kc de 0.76 (Cuadro 3). La pérdida se dio mayormente por evaporación del agua en el suelo ya que las plántulas contaban solamente con cuatro hojas en promedio. El crecimiento era lento y las raíces medían 5 cm de longitud; la absorción de agua se vio limitada por estos factores (Anexo 7).

Requerimiento hídrico de la semana dos

Se estimó 23.7 mm de ETc y un Kc de 0.98 (Cuadro 3). En esta semana las plántulas seguían con un crecimiento lento, el número de hojas aumentó de cuatro a siete; el consumo de agua fue mayor comparado con la semana uno. Las raíces aumentaron de 5 cm a 8 cm de longitud (Anexo 8).

Requerimiento hídrico de la Semana tres

Se estimó 36.8 mm de ETc y un Kc de 1.16 (Cuadro 3). En esta semana la precipitación fue nula. Se observó un crecimiento rápido de la planta con un promedio de nueve hojas por planta y 9 cm de longitud de la raíz (Anexo 9). Esto se debió al incremento de la temperatura, radiación solar y velocidad del viento a mediados de la semana tres; también esto se debe a que la planta en este período estaba entrando a la fase de desarrollo comercial, además de que la temperatura y la radiación solar aumentaron (Anexo 6).

Requerimiento hídrico de la semana cuatro

Se estimó 24.8 mm de ETc y un Kc de 0.99 (Cuadro 3). El cultivo se encontró al final de la semana tres y a comienzos de la semana cuatro en su punto óptimo de desarrollo comercial. Se observó un crecimiento acelerado, habiendo un 90% de cobertura del suelo con un rango de 16 a 18 hojas en promedio y una longitud de raíces entre 10 y 11 cm (Anexo 10).

Requerimiento hídrico de la semana cinco

Se estimó 13.8 mm de ETc y un Kc de 0.83 (Cuadro 3). A inicios de esta semana el Kc bajó y se estabilizó. Se observó un incremento acelerado en la producción de hojas, entre 19 a 28, con 100% de cobertura del suelo (Anexo 11). La planta adquirió una forma piramidal con hojas medianas en la parte media de la planta y hojas pequeñas en la parte superior, esto significa que, la lechuga variedad Verónica terminó su etapa de desarrollo comercial y entro a su etapa de madurez comercial.

Cuadro 3. ETc y Kc diario y semanal de la lechuga variedad Verónica en El Zamorano, Honduras.

S	Fecha	ETo mm/día	Kc diario	Kc semanal	ETc mm/día				ETc semanal
					L I	L II	L III	Promedio	
1	2008-05-30	1.72	1.01		1.73	1.88	1.58	1.73	
	2008-05-31	2.97	0.58		1.73	1.88	1.58	1.73	
	2008-06-01	3.39	0.51		1.73	1.88	1.58	1.73	
	2008-06-02	2.20	0.79	0.76	1.73	1.88	1.58	1.73	14.44
	2008-06-03	2.64	0.87		2.72	2.06	2.14	2.30	
	2008-06-04	3.23	0.70		2.67	2.06	2.10	2.28	
	2008-06-05	3.38	0.87		3.03	3.03	2.72	2.93	
2	2008-06-06	2.76	0.86		2.54	2.53	2.08	2.38	
	2008-06-07	2.66	0.86		2.44	2.44	2.00	2.30	
	2008-06-08	3.61	0.98		3.60	3.70	3.28	3.53	
	2008-06-09	4.15	0.85	0.98	3.60	3.70	3.28	3.53	23.66
	2008-06-10	3.71	0.95		3.60	3.70	3.28	3.53	
	2008-06-11	2.92	1.44		4.25	4.37	3.98	4.20	
	2008-06-12	4.63	0.91		4.25	4.37	3.98	4.20	
3	2008-06-13	5.09	0.83		4.25	4.37	3.98	4.20	
	2008-06-14	4.33	0.97		4.25	4.37	3.98	4.20	
	2008-06-15	5.21	0.81		4.25	4.37	3.98	4.20	
	2008-06-16	3.75	1.59	1.16	5.97	6.10	5.77	5.94	36.80
	2008-06-17	4.29	1.39		5.97	6.10	5.77	5.94	
	2008-06-18	4.59	1.30		5.97	6.10	5.77	5.94	
	2008-06-19	5.11	1.25		6.30	6.60	6.20	6.37	
4	2008-06-20	4.00	1.59		6.30	6.60	6.20	6.37	
	2008-06-21	4.68	1.36		6.30	6.60	6.20	6.37	
	2008-06-22	3.89	0.62		2.39	2.40	2.46	2.41	
	2008-06-23	4.45	0.54	0.99	2.39	2.40	2.46	2.41	24.81
	2008-06-24	2.55	0.95		2.39	2.40	2.46	2.41	
	2008-06-25	2.83	0.85		2.39	2.40	2.46	2.41	
	2008-06-26	2.32	1.04		2.39	2.40	2.46	2.41	
5	2008-06-27	1.47	1.64		2.39	2.40	2.46	2.41	
	2008-06-28	2.48	0.77		1.75	2.29	1.66	1.90	
	2008-06-29	2.45	0.78		1.75	2.29	1.66	1.90	
	2008-06-30	3.42	0.56	0.83	1.75	2.29	1.66	1.90	13.81
	2008-07-01	2.78	0.68		1.75	2.29	1.66	1.90	
	2008-07-02	2.36	0.80		1.75	2.29	1.66	1.90	
	2008-07-03	3.20	0.59		1.75	2.29	1.66	1.90	

S= semana L= lisímetro

CONCLUSIONES

- La evapotranspiración promedio de la lechuga variedad Verónica de mayo a julio en suelos franco arcilloso y en las condiciones climáticas de El Zamorano fue de 113.2 mm.
- Los coeficientes hídricos promedio de la lechuga variedad Verónica fueron 0.76, 0.98, 1.16, 0.99, 0.83 para las semanas uno, dos, tres, cuatro y cinco, respectivamente.
- El lisímetro de drenaje después del ensayo estaba en perfectas condiciones para posteriores ensayos.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los coeficientes hídricos para la lechuga variedad Verónica del estudio para los lotes de producción de lechuga de El Zamorano.
- Para obtener datos con mayor precisión, utilizar lisímetros de pesada.

BIBLIOGRAFÍA

Aboukhaled, A; Alfaro, S; Smith, M.1986. Los lisímetros. Estudio FAO riego y drenaje 39 Roma, Italia. 1er ed. 59 p.

Adrover, M.; Miralles, P.; Farrús, E.; Lladó, G.; Vadell, J. 2001. "Aprovechamiento del agua de riego mediante el uso de distintos tipos de acolchado" (en línea). Sociedad Española de Agricultura Ecológica. V Jornadas Técnicas. Mallorca, España. Disponible en <http://www.agroecología.net/congresos/mallorca>

Allen, G; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage 56. Roma, Italy. 300 p.

Castillo, S; Sentis, F. 1996. Agrometeorología. Madrid, España. 517 p.

Conserjería de Agricultura y Pesca. 1999. Manual de riego para agricultores, modulo I. Junta de Andalucía (en línea). 24 de junio de 2008. Disponible en: <http://www.gatfertiliquidos.com/kc.swf>

Doorenbos, J; Pruitt, W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 24 Roma, Italia. 1er ed. 194 p.

Gallardo M., Jackson L. E., Schullback K., Snyder R., Thompson R., Wyland L. 1996. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrig.Sci.* 16:125-137

Hillel, D; Garison, S; Falkenflug, V; Rawitz, E. 1969. New design of low cost hydraulic lysimeter system for field measurement of evapotranspiration. *Israel J. Agric. Res.* 19 (2): 57-63.

McIroy, I.C; Angus. 1963. The aspendale multiple weighed lysimeter installation. *Physics paper No. 14, CSIRO, Australia.* 27 p.

O.M.S. 1968. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva. 121 p.

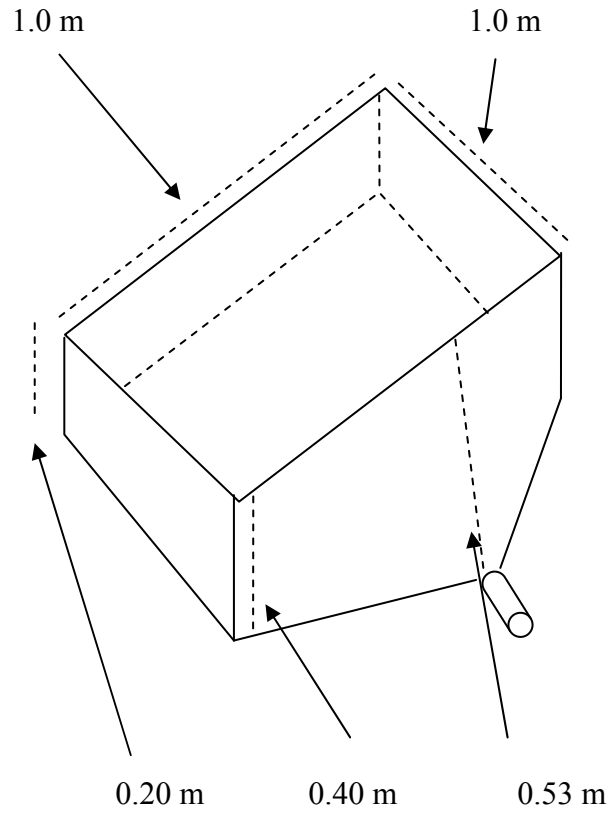
Ortega, J.F.; De Juan, J.A.; Tarjuelo, J.M.; Merino, R.; Valiente, M. 1999. "Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: aplicación a la agricultura de regadío de la provincia de Toledo", *INIA, España. Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal, Vol. 14 (3): 325 – 354*

Saavedra, A. 1990. El agua en las plantas. Edit Trillas. Mexico. 88 p.

Van Babel, C.H.M. 1961. Lysimetric measurement in the Eastern United States. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 455-467.

ANEXOS

Anexo 1. Dimensiones del lisímetro.



Anexo 2. Lisímetro de drenaje



Anexo 3. Sensores marca watermark 30 ktcd nl®.**Anexo 4.** Interpretación de las lecturas de humedad

Según la textura del suelo las lecturas corresponden aproximadamente a:	
• 0 -10 centibares:	Suelo saturado.
• 10 -30 centibares:	Suelo con suficiente humedad. Excepto los suelos de arena gruesa que empiezan a secarse.
• 30 - 60 centibares:	Margen normal para iniciar el riego excepto en los suelos muy arcillosos.
• 60 - 80 centibares:	Margen normal para iniciar el riego en los suelos muy arcillosos.
• 80 + centibares:	El suelo se está secando peligrosamente

Fuente: disponible en www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.

Anexo 5. Estación meteorológica automática GroWeather (Tecnología Davis Instruments).



Anexo 6. Principales factores que afectan la ETc

fecha	Precipitación por lluvia mm/día	Temperatura media °C	Velocidad del viento Km/hr	Radiación solar W/m2	ETc promedio mm/día
2008-05-30	2.40	20.1	7.6	10.5	1.7
2008-05-31	0.40	22.2	7.4	10.5	1.7
2008-06-01	1.60	23.1	5.6	11.5	1.7
2008-06-02	7.60	21.4	2.0	10.0	1.7
2008-06-03	3.40	22.4	4.2	11.0	2.3
2008-06-04	20.6	22.8	4.2	11.0	2.3
2008-06-05	19.4	21.8	3.3	11.5	2.8
2008-06-06	14.6	21.4	3.0	10.5	2.4
2008-06-07	0.20	22.3	5.7	11.0	2.3
2008-06-08	0.00	22.7	4.3	12.0	3.5
2008-06-09	3.00	22.6	4.4	11.0	3.5
2008-06-10	34.4	22.5	2.9	10.0	3.5
2008-06-11	1.4	22.4	4.0	10.5	4.2
2008-06-12	0.00	23.1	5.3	11.0	4.2
2008-06-13	0.00	23.5	4.9	11.5	4.2
2008-06-14	0.00	23.2	5.7	11.5	4.2
2008-06-15	0.00	24.1	4.7	11.5	4.2
2008-06-16	0.00	24.6	4.6	11.0	5.9
2008-06-17	0.00	24.5	3.6	10.5	5.9
2008-06-18	0.00	24.5	3.8	11.5	5.9
2008-06-19	0.00	25.5	4.0	11.5	6.4
2008-06-20	0.00	24.3	5.2	11.0	6.4
2008-06-21	0.00	23.7	7.6	11.0	6.4
2008-06-22	0.20	23.4	9.0	11.5	2.4
2008-06-23	0.80	22.6	7.8	11.5	2.4
2008-06-24	0.80	21.3	6.2	10.5	2.4
2008-06-25	7.20	21.3	4.4	10.5	2.4
2008-06-26	3.20	21.3	4.1	10.5	2.4
2008-06-27	2.80	21.3	3.8	10.5	2.4
2008-06-28	2.20	22.1	4.9	10.5	1.9
2008-06-29	7.20	21.8	4.0	8.00	1.9
2008-06-30	3.40	22.6	5.4	11.0	1.9
2008-07-01	2.20	21.9	4.5	11.0	1.9
2008-07-02	29.4	21.2	4.2	10.0	1.9
2008-07-03	0.80	22.3	4.4	11.5	1.9

Anexo 7. Semana uno de la lechuga variedad Verónica.



Anexo 8. Semana dos de la lechuga variedad Verónica.



Anexo 9. Semana tres de la lechuga variedad Verónica.



Anexo 10. Semana cuatro de la lechuga variedad Verónica.



Anexo 11. Semana cinco de la lechuga variedad Verónica.

