



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Tres métodos para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) cv. 'Chantenay'

Three methods to determine the water requirements of carrot (*Daucus carota* L.) cv. 'Chantenay'

¹Juan Eduardo León Ruíz¹, ²Juan Sebastián Silva Orozco¹, ¹Daniel Arturo Román Robalino²,
²Robinson Fabricio Peña Murillo¹, ¹Vicente Javier Parra León¹

¹ Centro Experimental del Riego. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo 060150, Ecuador

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Orellana, Riobamba, Chimborazo 060150, Ecuador

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 11/06/2021
Aceptado: 21/03/2022

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses derivados de la presente contribución

CORRESPONDENCIA

Juan Eduardo León Ruíz
jleon@espoch.edu.ec



Cu-ID: <https://cu-id.com/2153/cag072222365>

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar tres métodos para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) cv. 'Chantenay' en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. Se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizado y se adaptó a condiciones de riego por goteo. Se incluyeron tres tratamientos y tres repeticiones, según el abatimiento de humedad del suelo, ellos fueron: tanque de evaporación 25 % (T1), fórmulas empíricas de FAO-56 25 % (T2) y lisímetro al momento del drenaje (T3). Se determinó la duración de las etapas fenológicas en los tratamientos y se evaluaron en cada etapa las variables: altura de la planta, diámetro del hombro de la raíz, rendimiento, porcentaje de materia seca, correlación entre el agua utilizada y rendimiento. Se determinó el rendimiento en primera, segunda y tercera etapa y el rendimiento total, además del ajuste de Kc en los tratamientos en cada etapa fenológica. Se establecieron cuatro etapas fenológicas para el cultivo: etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa intermedia y etapa final. Los resultados mostraron que las diferentes láminas influyeron en el rendimiento de la zanahoria. En la aplicación de agua el mejor tratamiento fue el T3 con un volumen de 404,76 mm, donde se obtuvo un rendimiento de 61,49 t ha⁻¹. Se ajustó el Kc según el lisímetro para cada una de las etapas fenológicas: inicial de 0,83, desarrollo de 1,06, intermedia con 1,02 y la etapa final de 0,86, como resultado de la reposición del agua de riego al momento del drenaje.

Palabras clave: agua de riego, evaporación, coeficiente Kc, riego por goteo, lámina de agua

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate three methods to determine the water requirements of carrot (*Daucus carota* L.) cv. 'Chantenay' in Macají, Riobamba canton, Chimborazo province, Ecuador. A completely randomized block design was used and adapted to drip irrigation conditions. Three treatments and three replicates were included, according to soil moisture depletion, they were:

evaporation tank 25 % (T1), FAO-56 empirical formulas 25 % (T2) and lysimeter at the time of drainage (T3). The duration of the phenological stages in the treatments was determined and the following variables were evaluated at each stage: plant height, root shoulder diameter, yield, dry matter percentage, correlation between water used and yield. Yield in the first, second and third stages and total yield were determined, in addition to the Kc adjustment in the treatments at each phenological stage. Four phenological stages were established for the crop: initial stage, development stage, intermediate stage and final stage. The results showed that the different films influenced carrot yield. In water application the best treatment was T3 with a volume of 404.76 mm, where a yield of 61.49 t ha⁻¹ was obtained. The Kc was adjusted according to the lysimeter for each of the phenological stages: initial 0.83, development 1.06, intermediate 1.02 and the final stage 0.86, as a result of the replacement of irrigation water at the time of drainage.

Keywords: irrigation water, evaporation, coefficient Kc, drip irrigation, water sheet

INTRODUCCIÓN

El agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde las precipitaciones no son suficientes para satisfacer la demanda de los cultivos (FAO, 2017). Como consecuencia del cambio climático y la degradación de los recursos naturales es necesario un correcto manejo del agua en cualquier actividad agrícola, de ahí, que cada vez son mayores las políticas gubernamentales y las investigaciones referidas a la calidad, cantidad, innovación tecnológica, uso eficiente, factibilidad económica y demandas sociales del agua a nivel mundial (Octura *et al.*, 2020).

El agua dulce del mundo se destina a la agricultura entre aproximadamente un 80-90 %, aunque puede llegar hasta el 95 % en países en vías de desarrollo (FAO, 2017). Según la base de datos SENAGUA (2017), en las demandas sectoriales, el uso predominante del agua en Ecuador es el agrícola, pues representa el 80 % del caudal utilizado.

En las hortalizas se requiere humedad uniforme durante todo el ciclo para obtener buenos rendimientos y calidad de fruto. Cuando el riego es en exceso el consumo de agua y energía se eleva, con riesgo de contaminar los mantos acuíferos con fertilizantes. Por otro lado, si la cantidad de agua no cumple con los requerimientos de los cultivos, se afectará el rendimiento o puede provocar algunas deficiencias, tales como pudrición apical o poco crecimiento de frutos (Octura *et al.*, 2020).

El cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) es muy sensible a la falta de uniformidad en su crecimiento y desarrollo. Este cultivo es más sensible al estrés por déficit hídrico durante el periodo de germinación de la semilla y cuando la raíz está creciendo. El riego puede mejorar la emergencia, reducir la erosión por el viento y la temperatura del suelo durante la germinación (Alemán *et al.*, 2016; Carvalho *et al.*, 2016).

La determinación del requerimiento de agua en cada etapa fenológica de la zanahoria es fundamental para alcanzar mayor rendimiento del cultivo ya que, según Domínguez *et al.* (2012), la cantidad y frecuencia de riego se ven influidas por la etapa de desarrollo del cultivo y el

medioambiente. El mal uso y manejo del agua de riego es uno de los problemas más importantes en la producción del cultivo de zanahoria, lo cual se debe al desconocimiento del momento oportuno del riego y la cantidad de agua que consume en todo su ciclo, lo que genera bajos rendimientos ocasionando pérdidas económicas al agricultor (Carvalho *et al.*, 2016). El desconocimiento del método más apropiado para determinar los requerimientos hídricos de la zanahoria conlleva a establecer normas de riego que influyen en la disminución del rendimiento, problemas fitosanitarios y en la calidad del producto.

Por todo lo anteriormente expuesto el objetivo de este trabajo fue evaluar tres métodos de determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de la zanahoria cv. 'Chantenay' en Macaji, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área

La investigación se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales en el Centro Experimental de Riego (CER) (1°39'04"S; 78°40' 49"O; 2850 m.s.n.m.).

La localidad se encuentra en el rango de estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB). Según datos ofrecidos por la Estación Meteorológica ESPOCH en el año 2017, las precipitaciones en el área de estudio oscilaron entre 510 mm al año, la media anual de temperatura fue de 13,5 °C y la media anual de humedad relativa de 62,06 %.

Diseño experimental

Para el estudio se utilizaron semillas de zanahoria cv. 'Chantenay', producidas en la propia ESPOCH. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres tratamientos (T1, T2, T3) y tres repeticiones. La parcela experimental medía 34 m de largo y 34 m de ancho. Se utilizó una distancia de siembra de 0,20 m x 0,12 m. Cada tratamiento contó con tres parcelas de 100 m² de área separadas de las restantes por 2 m.

La investigación fue de tipo experimental, estableciendo los requerimientos del cultivo por tratamientos mediante el

uso de variables cuantitativas continuas. Se comparó la eficiencia de cada método a través de la diferencia entre aplicar fórmulas establecidas y la determinación directa por medio del lisímetro y evaporímetro. De esta forma se aplicaron los tratamientos siguientes:

- Tratamiento 1 (T1): Se tomaron las lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A.
- Tratamiento 2 (T2): Se calculó la evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO (Allen *et al.*, 2006).
- Tratamiento 3 (T3): Se midió la evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje.

Para la instalación de los lisímetros se tomaron en cuenta las consideraciones de León (2016). Para determinar el volumen de agua a aplicar dentro del lisímetro se utilizó la relación matemática dada por Garay (2009).

Se proporcionó agua al cultivo mediante un sistema de riego por goteo, para lo cual se determinó las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real. Para la instalación del riego a goteo se utilizó cinta de goteo no auto compensado, con goteros cada 15 cm con un caudal de 1,65 L ha⁻¹ con una línea por lomo y de acuerdo con la longitud de la parcela para así lograr un caudal homogéneo.

Previo a la aplicación de las láminas de riego, en cada tratamiento se procedió a determinar el contenido de humedad del suelo con el objetivo de tener un contenido de humedad uniforme. La disponibilidad de agua en el suelo fue determinada mediante el método gravimétrico y la utilización de la fórmula descrita por Enciso *et al.* (2011). Luego, se obtuvo la humedad en volumen mediante la fórmula señalada por García *et al.* (2012).

Se realizó una fertilización edáfica (N-P-K) fraccionada de acuerdo con los requerimientos del cultivo y la etapa de desarrollo (siembra 82,5-150-59,4; inicio de floración 82,5-0-59,4; ensanchado de la raíz 82,5-0-59,4). El control de arvenses se realizó de forma manual y química de acuerdo con la incidencia de estas, y el control fitosanitario fue integrado de acuerdo a la incidencia en el cultivo. Se realizó la cosecha cuando el 70 % de las raíces de la parcela tenían el diámetro comercial. El diámetro ecuatorial a los 120 días después de la siembra (dds) (para cosecha) en cultivares comerciales producidas en el Ecuador (semilargas como 'Chantenay') alcanza entre 20 a 25 cm (Caicedo y Sono, 2014).

Para la identificación y determinación de las etapas fenológicas del cultivo se realizaron observaciones directas a diez plantas tomadas al azar en cada tratamiento cada siete días. El resultado de estas evaluaciones se comparó con la escala BBCH.

En estas plantas se evaluaron las variables: altura de la planta (cm), diámetro del hombro de la raíz (cm), peso fresco de la planta (g) y peso seco de la planta (g). En todos

los casos, las evaluaciones se realizaron en 10 plantas tomadas al azar en cada réplica a los 30, 60, 90 y 120 dds. La altura se determinó con un flexómetro y el diámetro del hombro de la raíz con un calibrador. Para determinar la masa fresca se pesaron directamente las plantas colectadas y luego se colocaron en la estufa a 100 °C durante 24 h y se pesaron para determinar la masa seca. Para determinar si existían diferencias significativas entre las variables evaluadas en cada tratamiento se realizó un análisis de varianza, y en caso de que existieran se realizó la prueba de Tukey.

La determinación del requerimiento hídrico de los tratamientos se realizó de manera diferenciada en función de la naturaleza de cada tratamiento.

En T1 se obtuvo la información de las lecturas del tanque evaporímetro tipo A de la estación meteorológica de la ESPOCH desde el día de la siembra hasta la cosecha, y se aplicaron directamente las láminas de riego dependiendo de la evaporación acumulada. Se realizaron los riegos cuando el 25 % del agua útil se consumió.

En T2 el requerimiento hídrico se determinó mediante este método se aplicó la metodología descrita por Allen *et al.* (2006), consistente en el cálculo tres fórmulas:

$$Etc = Eto * Kc \quad (1)$$

$$Eto = Ev * Kp \quad (2)$$

$$Kc = 0,01335 + (0,04099 * C) - (0,0004 * (C^2)) \quad (3)$$

Dónde:

Etc: Evapotranspiración del cultivo, expresado en mm día⁻¹

Eto: Evapotranspiración de referencia, también expresada en mm día⁻¹

Kc: Factor de corrección

Ev: Evaporación acumulada (mm)

Kp: Datos climáticos: humedad relativa, velocidad del viento, barlovento (Estación Meteorológica ESPOCH)

C: Porcentaje de desarrollo del cultivo en el día en que se calculó

La lámina de riego se aplicó una vez que se hubo consumido el 25 % del agua útil.

En T3 para la evapotranspiración del cultivo (Etc) de forma lisimétrica se tomó lectura y registro de drenaje del agua de los lisímetros, en periodos de cada 24 h, y se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Etc = R - D \quad (4)$$

Dónde:

R: Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D: Agua drenada durante el periodo de análisis (mm)

Las láminas de riego se aplicaron una vez que el lisímetro dejó de drenar.

La Eto se calculó a través del programa Cropwat, con los datos climáticos suministrados por la Estación Meteorológica ESPOCH. Se emplearon datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación

solar para estimar la Eto, aplicando la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Los datos obtenidos de la aplicación de los tratamientos correlacionando con los días de cada etapa fenológica se obtuvo la lámina de riego ($L(m^2)^{-1}$) total que se aplicó por etapa, de la misma manera el número de riegos y la frecuencia en cada etapa. Al final del ciclo con la suma acumulada de los riegos se obtuvo un volumen total de agua aplicado ($L(m^2)^{-1}$) para cada tratamiento.

Para determinar el rendimiento total se anotó el peso de las raíces de la parcela neta y se expresaron en $t ha^{-1}$. Luego, se clasificaron en rendimiento de primera, segunda y tercera categoría.

Para determinar el coeficiente del cultivo (K_c) mediante Fórmulas FAO se utilizó la fórmula de Hargraves descrita anteriormente. Para la determinación de K_c mediante lisimetría se utilizó la fórmula descrita por Allen *et al.* (1998):

$$K_c = \frac{E_{tc}}{E_{to}} \quad (5)$$

Para obtener la huella hídrica se sumaron los aportes de riego y la precipitación efectiva para cada tratamiento y se correlacionó con los parámetros de rendimiento a través de la siguiente fórmula de FAO (2017):

$$HH = \frac{V}{R} \quad (6)$$

Dónde:

HH: Huella hídrica

V: Volumen total de agua utilizado en la producción ($L ha^{-1}$)

R: Rendimiento total ($kg ha^{-1}$)

Para el realizar el análisis económico utilizó la siguiente fórmula descrita por López (2011):

$$R/C = \frac{IT}{CT} \quad (7)$$

Dónde:

R/C: Relación beneficio -costo

IT: Ingresos totales por venta del producto

CT: Costo total de producción

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Duración de las etapas

La etapa inicial demoró 20 días en todos los tratamientos (Tabla 1). Forero-Ulloa *et al.* (2015) y Carvalho *et al.* (2016) concuerdan que esta primera etapa en el cultivo es bastante estable, sin importar el cultivar o la región, y varía entre 15 y 20 dds. La duración en días de las restantes etapas varió poco entre tratamientos. Como resultado final se obtuvo que el ciclo total del cultivo para T1 fue de 124 dds, para el T2 de 130 dds y para T3 de 127 dds.

En cuanto a las variables evaluadas, se puede destacar que en la etapa inicial solo se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos en la variable diámetro del hombro de la raíz (Figura 1). En la etapa de desarrollo se

Tabla 1. Duración de las etapas fenológicas del cultivo de la zanahoria

Tratamientos	Duración (días)			
	Etapa inicial	Etapa de desarrollo	Etapa intermedia	Etapa final
T1	20	38	41	25
T2	20	40	42	28
T3	20	39	42	28

T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje

produce un aumento importante en todas las variables evaluadas, fundamentalmente en altura de la planta, lo que concuerda con resultados de Forero-Ulloa *et al.* (2015). Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto a las variables altura de la planta y diámetro del hombro de la raíz.

En la etapa intermedia se produjeron diferencias significativas en las variables evaluadas, excepto en la masa seca de la planta (Figura 1), lo que concuerda con lo señalado por la Cámara de Comercio de Bogotá (2015), que plantea que esta etapa se caracteriza por la acumulación de carbohidratos y el engrosamiento que no cesa.

Por último, la etapa final se caracterizó por mostrar el mayor aumento de los valores de todas las variables con respecto a las etapas anteriores (Figura 1). Estudios referidos al cultivo de la zanahoria señalan que los mayores cambios en las variables de interés agronómico se producen en esta etapa fenológica, que culmina con la cosecha (Forero-Ulloa *et al.*, 2015; Carvalho *et al.*, 2016).

En general, se evidencia que en T2, determinado por la aplicación de las fórmulas FAO, presenta menores valores en las variables altura de la planta, diámetro del hombro de la raíz y masa fresca. Este resultado está influenciado por las diferentes láminas de riego aplicadas en los tratamientos.

Requerimientos hídricos en láminas de agua

El volumen de agua aplicada en cada etapa fenológica del cultivo y en cada tratamiento fue diferente (Figura 2), en función de los resultados obtenidos de la aplicación de fórmulas para cada método estudiado. De esta forma, la etapa fenológica que más agua demandó fue la intermedia en los tres tratamientos, y la etapa inicial fue la que recibió menor volumen de agua.

Se aplicaron diferentes láminas de agua en cada tratamiento durante el ciclo de cultivo de la zanahoria (Tabla 2), dependiendo de la aplicación de los diferentes métodos. El tratamiento con la mayor lámina de agua aplicada fue el T1 y la menor lámina de agua aplicada fue en T3.

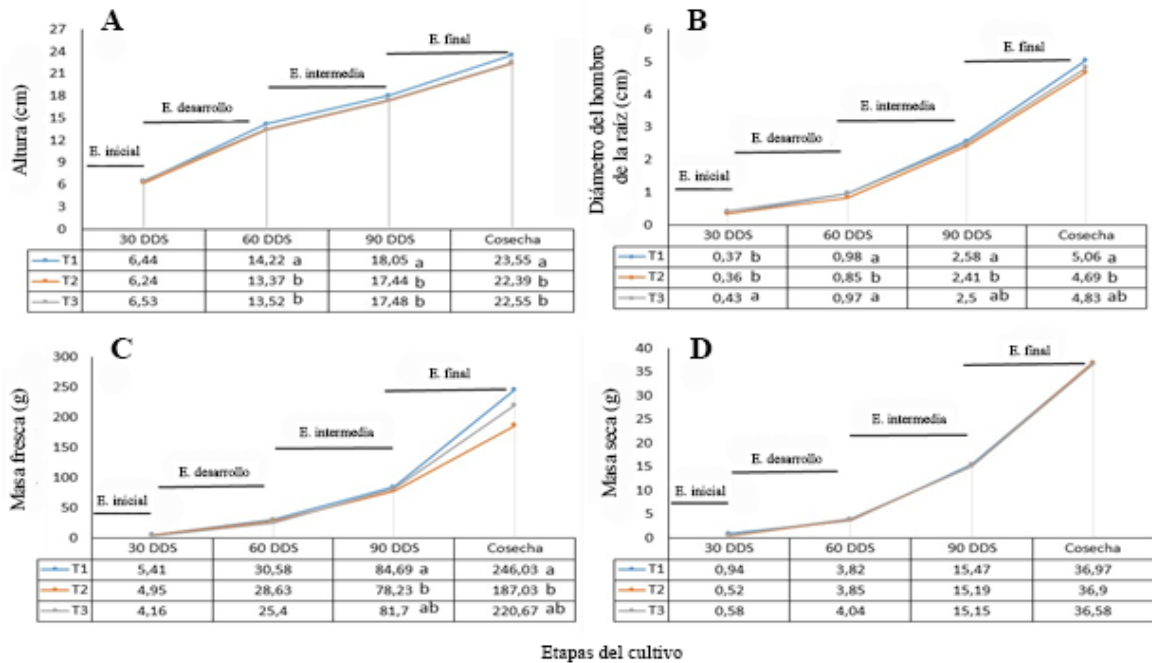


Figura 1. Variables evaluadas en el cultivo de la zanahoria en las diferentes etapas fenológicas. A) Altura de la planta (cm); B) Diámetro del hombro de la raíz (cm); C) Peso fresco de la planta (g); D) Peso seco de la planta (g). T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje. Las medias con letras presentan diferencias significativas según el análisis de la varianza ($p\text{-value} \leq 0,01$) Medias con letras distintas dentro de la misma columna difieren según prueba Tukey para $p \leq 0,05$

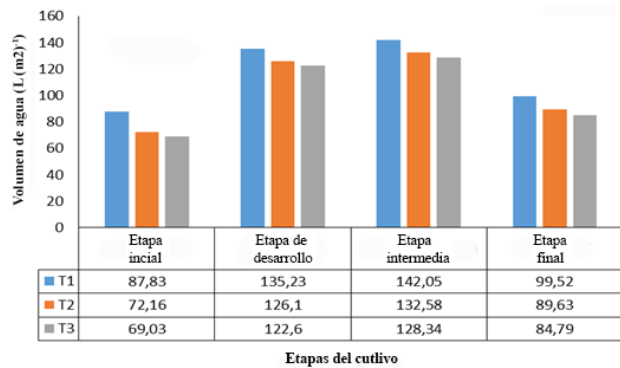


Figura 2. Volumen de agua ($L (m^2)^{-1}$) aplicada en cada etapa del cultivo de zanahoria. T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje

Rendimiento

Los rendimientos obtenidos muestran diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3). El mayor rendimiento se obtuvo con T1, sin embargo, de primera categoría hubo una mayor producción en T3. Esto se debe a que al incrementar el volumen de agua aplicado aumenta la producción, lo que concuerda con Barbieri *et al.* (2020),

pero se reducen las características comerciales (Carvalho *et al.*, 2016). El de menor rendimiento fue en T2. Sahara *et al.* (2006) mencionan que al aumentar el régimen de riego hay un aumento en la producción, pero se producen mayores raíces bifurcadas y raíces partidas.

Coefficiente del cultivo (Kc) ajustado para zanahoria

Los valores de Kc obtenidos para el cultivo de zanahoria, determinada por las fórmulas FAO (Figura 3a) fue inferior en las tres primeras etapas y superior en la etapa final, con respecto a los valores obtenidos mediante el tratamiento por lisimetría (Figura 3b).

Según Pereira *et al.* (2021), los valores de Kc en cada etapa fenológica están afectados por factores específicos. En este sentido, los valores de Kc inicial para cualquier cultivo están influenciados por la evaporación del suelo y los factores que lo determinan, como son la frecuencia de las precipitaciones y la irrigación, uso de abonos orgánicos o no, el manejo de los residuos del suelo y la frecuencia de riegos. Este último factor puede ser la causa de la marcada diferencia existente entre los valores de Kc de T2 y T3, ya que por el método de los lisímetros se utilizó menos agua en la etapa fenológica inicial.

Los valores de Kc en las restantes etapas fenológicas no están tan distantes en los dos tratamientos evaluados. Esto puede estar influenciado porque en estas etapas, el Kc está

Tabla 2. Lámina, frecuencia y números de riego en el cultivo de zanahoria

Tratamientos	Etapa inicial			Etapa de desarrollo			Etapa Intermedia			Etapa final			Volumen total aplicado (L/m ²)
	A.D (L/m ²)	Fr (días)	C.R	A.D (L/m ²)	Fr (días)	C.R	A.D (L/m ²)	Fr (días)	C.R	A.D (L/m ²)	Fr (días)	C.R	
T1	8,78	2	10	13,52	4	10	10,14	3	14	12,44	3	8	464,63
T2	7,22	2	10	9,70	3	13	9,47	3	14	9,96	3	9	420,47
T3	6,90	2	10	9,43	3	13	9,16	3	14	9,42	3	9	404,76

T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje. A.D: Aporte Diario; Fr: Frecuencia; C.R: Cantidad de riegos

Tabla 3. Análisis de la varianza de variable rendimiento del cultivo en cuanto a la primera, segunda y tercera categoría y el rendimiento total

Tratamientos	Rendimiento (t ha ⁻¹)			
	1ra categoría	2da categoría	3ra categoría	Total
T1	42,72 a	14,32 a	11,48 a	68,51 a
T2	32,10 b	11,36 b	7,70 b	51,16 b
T3	45,78 a	9,53 b	6,18 b	61,49 ab
F tratamientos	18,15 **	27,87 **	64,21 **	12,50 **
F replicas	0,42	0,40	0,34	0,40
cv	7,26	6,75	6,97	7,08

T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje. **Diferencias significativas (p-value ≤ 0,01). Medias con letras distintas dentro de la misma columna difieren según prueba Tukey para p ≤ 0,05

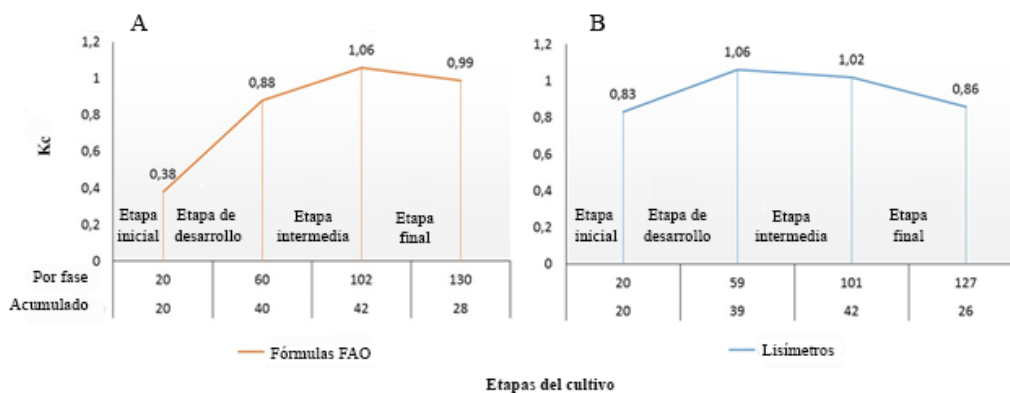


Figura 3. Coeficiente del cultivo (Kc) ajustado para cada etapa fenológica del cultivo de zanahoria, mediante fórmulas FAO (A) y mediante el método de lisímetros (B)

determinada por factores que pueden ser más controlados experimentalmente (Pereira *et al.*, 2021). Por ejemplo, el Kc en etapa de desarrollo depende de profundidad del suelo y del propio desarrollo de la planta. En la etapa intermedia, el Kc depende de la especie cultivada, de la humedad y de la velocidad del viento y en la etapa final depende de la especie cultivada y del día de la cosecha.

En estudios realizados en zanahoria, los valores de Kc que se obtienen son inferiores a los obtenidos en T3 y muy similares a los obtenidos en T2 (Allen *et al.*, 2006; Forero-Ulloa *et al.*, 2015). Aunque, según lo planteado por la FAO (2006), las etapas de cualquier cultivo no son iguales en

todas las latitudes y la literatura existente es útil como una guía general y para propósitos comparativos. En consecuencia, los valores de Kc y escalas de fenología son altamente influenciados por el clima, el cultivar, el sistema de producción, las características del suelo, entre otros, de ahí la importancia de generar información local (Wang *et al.*, 2018; Octura *et al.*, 2020).

Huella hídrica y análisis económico

Los resultados de huella hídrica muestran diferencias entre los tratamientos (Figura 4). En T3 se requiere menos agua para producir 1 kg de zanahoria que en T1 y T2. La

diferencia entre el tratamiento que tiene menor huella hídrica T3 y mayor huella hídrica T2 es de 16,36 L. Esto se debe a las diferentes láminas de agua aplicadas en cada tratamiento en el ciclo de cultivo, en el cual el T3 fue inferior a T2 y T1. Los resultados obtenidos son inferiores a los reportados por Mallma y Mejía (2015), quienes señalan que para la zanahoria se necesitan 260 L kg⁻¹.

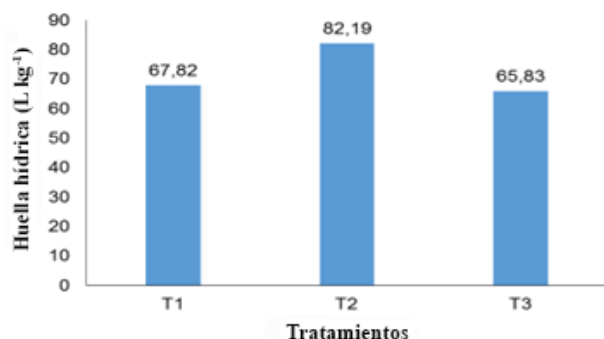


Figura 4. Huella hídrica (L kg⁻¹). T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje

En la presente investigación, en T1 se obtuvo el mayor beneficio/costo de 1,61, con una rentabilidad del 61 % (Tabla 4). A diferencia de T2 que presentó el menor beneficio/costo de 1,29.

Tabla 4. Ingreso total, costo total, relación beneficio/costo (B/C) y Rentabilidad (%) por cada tratamiento aplicado. T1) Lecturas de la evaporación en el tanque evaporímetro tipo A; T2) Evapotranspiración del cultivo con las fórmulas empíricas dictadas por la FAO; T3) Evapotranspiración del cultivo con la utilización de lisímetros de drenaje

Tratamiento	Ingreso total	Costo total	B/C	%
T1	8760,77	5446,54	1,61	61
T2	6986,03	5425,43	1,29	29
T3	8579,72	5477,93	1,57	57

CONCLUSIONES

El lisímetro, según la aplicación de agua, es el método más apropiado para determinar la lámina de riego en el cultivo de zanahoria ya que se obtiene un rendimiento total de 61,49 t ha⁻¹ de productos con mejores características comerciales. Los valores de Kc mediante este método muestran valores similares a los obtenidos a través de la aplicación de las fórmulas de la FAO. La menor huella hídrica se obtiene con este método, con una rentabilidad

aceptable de 57 %. Se recomienda la aplicación de este método para determinar los requerimientos hídricos en el cultivo de zanahoria cv. 'Chantenay' en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Juan Eduardo León Ruíz: Lideró y ejecutó el proyecto de investigación. Formuló los objetivos de la investigación, participó en el análisis de los resultados e hizo revisión crítica del manuscrito.

Juan Sebastián Silva Orozco: Responsable de supervisar y liderar la planificación y ejecución de las actividades de investigación, incluido el asesoramiento al equipo responsable de tomar los datos experimentales. Contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos. Hizo revisión crítica del manuscrito.

Daniel Arturo Román Robalino: Contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos. Hizo revisión crítica del borrador.

Robinson Fabricio Peña Murillo: Participó en el análisis de los resultados. Participó en la propuesta de revista para publicar e hizo revisión crítica del manuscrito.

Vicente Javier Parra León: Contribuyó en el análisis de los resultados. Participó en la propuesta de revista para publicar, redactó versión final del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEMAN, C. C. and MARQUES, P. A. 2016. Manejo e viabilidade econômica da irrigação no cultivo de *Calendula officinalis* L. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, Edição Especial: 29-37.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., *et al.* 1998. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO, Rome, Italy, 300 p.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., *et al.* 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56*. FAO, Rome, Italy, 298 p.
- BARBIERI, J. D., LOURENÇO de FREITAS, P. S., DALLACORT, R., *et al.* 2020. Influence of soil coverage on evapotranspiration and dual crop coefficients on

- soybean. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42 (6): 111-125.
- CAICEDO, W. F. y SONO, F. X. 2014. Fertilización química en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*) Con 3 fuentes nitrogenadas más el micronutriente boro precursores de carotenos y la vitamina A. Tesis para optar al título de Bachiller. Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, 113 p.
- CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. 2015. *Manual zanahoria*. Núcleo Ambiental S.A.S., Bogotá, Colombia, 24 p.
- CARVALHO, D. F., NETO, O., FELIX, L. F., *et al.* 2016. Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under different irrigation depths. *Ciência Rural*, 46 (7): 1145-1150.
- DOMÍNGUEZ, A., de JUAN, J. A., TARJUELO, J. M., *et al.* 2012. Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. *Agricultural Water Manage*, 110: 67-77.
- ENCISO, Z. 2011. Evaluación de zanahorias sembradas en verano. *Investigación Agraria*, 13 (2): 75-79.
- FAO. 2006. La calidad en frutas y hortalizas. en: Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006>. Consultado 30/03/2021.
- FAO. 2017. *Water for Sustainable Food and Agriculture-A report produced for the G20 Presidency of Germany*. FAO, Rome, Italy, 33 p.
- FORERO-ULLOA, F. E., CELY-REYES, G. E. y NEIRA-RODRÍGUEZ, E. E. 2015. Requerimientos hídricos de la zanahoria (*D. carota* L.) durante tres etapas de su desarrollo. *Ciencia y Agricultura*, 12 (2): 43-50.
- GARAY, O. 2009. *Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. No. F06 G37-F*. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- GARCÍA, M., PUPPO, L., HAYASHI, R., *et al.* 2012. Metodología para determinar los parámetros de un suelo a campo. Grupo del Desarrollo del Riego, Montevideo, Uruguay. Disponible en: <http://www.grupodesarrollo>
- lloriego.uy/pdf/2-seminario-2012/Metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo-a-campo.pdf. Consultado 30/03/2021.
- LEÓN, J. 2016. Modelación matemática para estimar los requerimientos hídricos del cultivo de papa (*Solanum* spp). Tesis para optar al título de Doctor en Recursos Hidráulicos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 188 p.
- LÓPEZ, F. 2011. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de la zanahoria (*Daucus carota* L.), híbrido Cupar, en el Chaupi, provincia de Pichincha. Tesis para optar al título de Ingeniero en Agroempresas. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, 62 p.
- MALLMA, C. T. y MEJÍA, M. J. 2015. Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la Sierra central y comercializados en Lima. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 05 (01): 128-134.
- OCTURA, R. J., GADIWARE, L. P. and OCTURA, R. E. 2020. Estimating evapotranspiration and crop coefficient of vegetable crops using pot micro-lysimeters. *Philippine Journal of Science*, 149 (4): 1107-1118.
- PEREIRA, L. S., PAREDES, P., HUNSAKER, D. J., *et al.* 2021. Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO 56 crop water requirements method. *Agricultural Water Management*, 243 (106466): 1-33.
- SAHARA, M., YADAV, A., DAHIYA, M., *et al.* 2006. Efecto de los niveles de riego en la producción de raíces de variedades de zanahoria recién desarrolladas. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*, 35 (3): 364-365.
- SENAGUA. 2017. Diagnóstico de las estadísticas del agua en el Ecuador. Secretaria Nacional del Agua. Disponible en: <http://www.silo.tips/download/diagnostico-de-las-estadisticas-del-agua-en-ecuador-informe-final>. Consultado 30/03/2021.
- WANG, J., ZHANG, Y., GONG, S., *et al.* 2018. Evapotranspiration, crop coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China Plain. *Field Crops Research*, 217: 218-228.

