

Necesidades hídricas del frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). calculadas con el coeficiente de cultivo utilizando lisímetro de drenaje

 ISSN 0122-8420
 eISSN2539-0899

 Fecha de recepción: 14 de junio de 2019
 Fecha de aceptación: 10 de septiembre de 2019

 DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746>

 Jesús Enrique Chavarría Párraga • 1
 Mikel Ugando Peñate • 2
 Ángel Ramon Sabando García • 3
 Jean Pierre Muñoz Parraga • 4
 Richard Xavier Bravo Ferrín • 5
 Antonio Villalón Peñate • 6

Resumen

El objetivo es estimar las necesidades hídricas del caupí (*Vigna unguiculata* L.) var. INIAP-463 a partir del coeficiente de cultivo, con el uso de lisímetros de drenaje. De enero a abril de 2018 se utilizaron tres parcelas de 25 m², colocando en el centro de ellas lisímetros de drenaje. Se empleó la información de las variables climatológicas necesarias para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) por el método de Penman Monteith modificado por la FAO. Se realizó el seguimiento diario de la lámina de drenaje del lisímetro, así como de la humedad del suelo. La lámina de riego fue aplicada diariamente, con base en la ET_o diaria y las precipitaciones del lugar. Se calculó el K_c para cada etapa del cultivo, determinando el cociente entre la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y ET_o. Los valores de K_c para frijol caupí fueron: primera etapa con una duración de 15 días, se obtuvo un K_c de 0,45; segunda etapa 20 días un K_c de 0.88; tercera etapa 25 días un K_c de 1,28; cuarta etapa 20 días un K_c de 0,70. La necesidad hídrica del caupí fue mayor en la tercera etapa con 114,33 mm y la de menor consumo fue la primera etapa con 20,46 mm. La necesidad hídrica total fue de 254 mm durante 80 días después del trasplante. Los resultados permiten concluir que las necesidades hídricas del caupí var. INIAP-463 fueron mayores en la tercera etapa del cultivo, por la presencia de los órganos de reproducción vegetativa y de abundante área foliar.

Palabras clave: requerimientos hídricos, evapotranspiración, lámina de drenaje, riego, etapas fenológicas.

Water requirements of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). calculated with the cultivation coefficient using drainage lysimeter

Abstract

The objective is to estimate the water needs of the cowpea (*Vigna unguiculata* L.) var. INIAP-463 from the culture coefficient using drainage lysimeter. From January to April 2018, three plots of 25 m² were worked, and drainage lysimeters were located in the center of them. The data of the climatological variables were used to estimate the reference evapotranspiration (ET_o) by the Penman Monteith method modified by the FAO. Daily monitoring of the drainage sheet of the lysimeter was carried out, as well as the soil moisture. The irrigation sheet was applied daily, based on the daily ET_o and the rainfall of the place. The calculation of the K_c was carried out for each stage of the culture, determining the ratio between the evapotranspiration of the culture (ET_c) and ET_o. The K_c values for the bean were: first stage with a duration of 15 days a K_c of 0.45 was obtained, second stage 20 days a K_c of 0.88, third stage 25 days a K_c of 1.28, fourth stage 20 days a K_c of 0.70. The water requirement of the cowpea was greater in the third stage with 114.33 mm and the one with the lowest consumption was the first stage with 20.46. The total water need was 254 mm for 80 days after transplantation. The results found allow us to conclude that the water needs of the cowpea var. INIAP-463 were higher in the third stage of cultivation due to the presence of organs of vegetative reproduction and abundant leaf area.

Keywords: water requirements, evapotranspiration, drainage sheet, irrigation, phenological stages.

- 1 MSc. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Ecuador. jchavarría@pucesd.edu.ec <https://orcid.org/0000-0001-8868-394X>
- 2 PhD. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo, PUCESD, Ecuador. upm@pucesd.edu.ec <https://orcid.org/0000-0003-2696-015X>
- 3 MSc. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo, PUCESD, Ecuador. sgar@pucesd.edu.ec <https://orcid.org/0000-0003-2696-015X>
- 4 I.H. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Ecuador. pier_-123@outlook.com <https://orcid.org/0000-0001-7480-8510>
- 5 I.H. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Ecuador. richardxavier1705@hotmail.es <https://orcid.org/0000-0002-4088-3034>
- 6 LCF. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo, PUCESD, Ecuador. avillalonp@pucesd.edu.ec <https://orcid.org/0000-0002-5746-1145>

I. Introducción

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), perteneciente a la familia Fabaceae, es de gran importancia por su uso como alimento de las comunidades y sus ganados en las sabanas semiáridas tropicales, gracias a sus características de tolerancia a condiciones de déficit hídrico y crecimiento en condiciones de baja fertilidad, que lo convierten en un cultivo importante para los agricultores de muchas regiones del mundo (Timko et al., 2008). Sin embargo, este presenta baja productividad, debido al empleo de cultivares de bajo rendimiento, al ataque de plagas y enfermedades, y al déficit hídrico, pues este último reduce la conductancia estomática, el potencial hídrico foliar y la producción de granos (DoNascimento, 2009). Debido a que el frijol caupí se cultiva en regiones tropicales y subtropicales del mundo, donde la sequía es un factor de restricción en la producción a causa de las bajas precipitaciones (Pungulani et al., 2013), es importante analizar la dinámica de las relaciones hídricas en esta especie (Cardona-Ayala et al., 2013; Cardona-Ayala et al., 2014; Kanda et al., 2018; Sousa et al., 2020).

En países en vías de desarrollo, el uso agrícola no solo consume la mayor cantidad de agua, sino que también afecta su calidad, situación que contribuye a la escasez de los recursos hídricos (Villa-Fontecha, 2014). Para mitigar dichos impactos se debe comenzar con la implementación de tecnologías que incorporen técnicas y métodos cuantitativos que permitan conocer el requerimiento de agua de los cultivos en las parcelas (Rosano et al., 2001; Gutiérrez et al., 2005). Para que estas tecnologías se consideren adecuadas es necesario que ayuden a resolver los cuestionamientos elementales del riego, como fechas y cantidades de riego (cuándo y cuánto) con cierto grado de precisión. En este sentido es importante la cuantificación de los requerimientos hídricos diarios por superficie de cultivo, que tienen su origen en la evapotranspiración (López et al., 1991; Jiyane & Zermeño, 2003; Allen et al., 2006).

El requerimiento de agua de los cultivos hace alusión a la dosis de agua necesaria para reponer la pérdida por evaporación y transpiración de las plantas (Santos et al., 2010). Dichas variables son muy complejas de calcularlas por separado. En consecuencia, se ha acogido generalmente el término evapotranspiración, el cual se considera una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan la pérdida de agua en forma de vapor en una superficie cubierta de vegetación (Allen et al., 2006). Las necesidades hídricas de los cultivos están vinculadas a diversos elementos, entre los que se encuentran los regímenes de precipitación, el suministro hídrico, el estado de las fases de desarrollo del cultivo y las características de suelo (Doorenbos & Pruitt, 1997).

El coeficiente de desarrollo del cultivo (K_c) es un parámetro muy importante para estimar las necesidades hídricas del mismo, pues permite optimizar el control, la proyección y la programación del riego. Este coeficiente está en función de la evapotranspiración de referencia (E_{To}) y la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) (Allen et al., 2006). Los lisímetros de drenaje han sido recomendados por su gran utilidad para determinar la demanda de agua de los cultivos con alta eficiencia (Chalmers et al., 1992; Puppo & García, 2010). En otros países se han hecho investigaciones para determinar la necesidad de agua del frijol, las cuales se consideran importantes referentes (Rajic et al., 1997; Jabow et al., 2013). No obstante, estos estudios se han ejecutado en ambientes completamente diferentes a las condiciones climáticas de Chone y se han desarrollado en distintas variedades o genotipos.

Teniendo en cuenta lo anterior, y conociendo los beneficios que reportan los lisímetros en distintos lugares y la gran cantidad de resultados encontrados para los requerimientos hídricos del frijol, es importante conocer la demanda de agua del frijol caupí en condiciones tropicales. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue estimar las necesidades hídricas de *V. unguiculata* cv. INIAP-463 a partir del coeficiente del cultivo utilizando lisímetro de drenaje bajo condiciones tropicales.

II. Metodología

La investigación se llevó a cabo en la finca de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí (PUCEM) campus Chone, ubicada geográficamente en la latitud (-0.664167) y longitud (-80.036389) a una elevación de 36 msnm. Se efectuó entre los meses de enero a abril del 2018, considerada como la época lluviosa de la costa ecuatoriana. Las condiciones climatológicas registradas durante el desarrollo de la investigación fueron: temperatura media máxima 31,7 °C, temperatura media mínima 22,6 °C, humedad relativa media 85 %, velocidad del viento promedio 1,60 m/s y precipitación total de 752 mm. Como material vegetal se empleó el frijol caupí cultivar INIAP-463, el cual es de crecimiento semierecto, color de hoja verde oscuro, flor blanca, de grano pequeño color blanco crema y alto rendimiento para el litoral ecuatoriano (Mendoza & Linzán, 2005).

Se diseñaron e instalaron tres lisímetros de drenaje. Cada uno de estos es un recipiente metálico de 1 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de alto, el cual lleva en su fondo una malla de orificios pequeños, material filtrante, y después lleva otra malla un poco más gruesa que separa las capas de material filtrante (grava gruesa y fina) y las capas de suelo; en el fondo va la tubería de drenaje y al final de ella está un recipiente de recolección para el agua drenada. Después de haber colocado la capa de material filtrante y la malla dentro del lisímetro de drenaje, se procedió a rellenar el lisímetro de acuerdo con los perfiles del suelo. Cada perfil fue colocado y saturado para lograr una mínima perturbación en el suelo, siguiendo las recomendaciones de Daza *et al.* (2017). Dicho suelo lo conformaban tres perfiles donde predominaba el suelo franco limoso. Las propiedades hidrofísicas del suelo fueron: densidad aparente 1,45 a 1,53 g/cm³, capacidad de campo 29.1 % a 30.5 %, punto de marchitez 16.0 % a 16.7 % y conductividad hidráulica 15,9 cm/h.

Se emplearon tres parcelas de 25 m², donde se sembró a un metro entre plantas y a un metro entre hileras, ubicando una planta por cada sitio de siembra. El lisímetro de drenaje fue ubicado en el centro de la parcela, es decir, se situó una planta en cada lisímetro. El área de evaluación fue la correspondiente al área del lisímetro de drenaje. Para el control de la humedad del suelo dentro del lisímetro, se instaló un tensiómetro a 30 cm de profundidad. Las lecturas del tensiómetro se realizaron una vez al día, con el fin de conocer la disponibilidad y el movimiento del agua en el suelo. Las reposiciones de agua en el lisímetro de drenaje y en las parcelas se hicieron diariamente.

El agua se aplicaba en el lisímetro mediante una probeta graduada, de forma homogénea en todo el lisímetro. El agua drenada se medía todos los días, teniendo la precaución de realizar la recolección a la misma hora durante el tiempo que duró la investigación. Se hicieron registros diarios de la lámina de drenaje, humedad de suelo (tensión) y de los parámetros climáticos por el tiempo que duró la investigación.

Los datos climáticos que se tuvieron en cuenta en la investigación fueron: precipitación, humedad relativa, velocidad de viento, temperatura y horas sol. Estos fueron obtenidos de la estación meteorológica del INAMHI, ubicada a diez metros del área de investigación. Para calcular la evapotranspiración de referencia se utilizó el método de Penman-Monteith modificado por la FAO. Este fue escogido debido a su alta precisión y a su representatividad en diferentes ambientes (González *et al.*, 2012). La fórmula es la siguiente:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Donde: ET_o es la evapotranspiración de referencia en (mm/día); R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2/día$); G es la densidad de flujo de calor del suelo ($MJ/m^2/día$); T es la temperatura del aire a 2 m de altura $^{\circ}C$; u_2 es la velocidad de viento a 2 m de altura (m/s); e_a es la presión de vapor actual (KPa); e_s es la presión de vapor saturado (KPa); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($K Pa/^{\circ}C$); γ es la constante psicométrica ($KPa/^{\circ}C$).

Se llevó un registro diario de las variables climatológicas del balance hídrico, para después calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) en lámina (mm) utilizando la fórmula (2).

$$ET_c = R - D \quad (2)$$

Donde: R es el agua de riego o por precipitaciones (mm); D es el agua drenada a través del lisímetro de drenaje.

Los cálculos de ET_o y ET_c fueron diarios para poder determinar la reposición de la lámina de riego dentro del lisímetro de drenaje y la parcela. Además, seguidamente se realizó el cálculo de K_c , teniendo en consideración los fundamentos de Allen *et al.* (2006).

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (3)$$

Donde: K_c es el coeficiente único de los cultivos; ET_c es la evapotranspiración del cultivo en mm/día; ET_o es la evapotranspiración de referencia en mm/día.

Los parámetros agroclimáticos fueron sometidos a un análisis descriptivo cuantitativo desde el mes de enero hasta abril, considerando el promedio de la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, insolación promedio y evapotranspiración inicial, de acuerdo con el método de Penman- Monteith FAO. Posteriormente se efectuó un análisis de la covarianza entre el coeficiente del cultivo (K_c) en relación con la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y evapotranspiración de referencia (ET_o); y simultáneamente se hizo un análisis de la regresión lineal mediante la fórmula $y = a + bx + e$, con sus respectivos coeficientes estandarizados y no estandarizados; análisis de la varianza (ANOVA); prueba T de Student para muestras relacionadas; y finalmente se complementa con el modelo de la regresión no lineal polinómico $Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + e$ utilizando como variable dependiente el coeficiente del cultivo (k_c) en función de la etapa del cultivo mediante el método del lisímetro, método de la FAO y mediante el método polinómico, empleando un nivel de significancia del 1 y 5 %. Estos modelos estadísticos de predicción se realizaron mediante el programa SPSS versión 20. Cabe resaltar que para tener una mayor confiabilidad de los datos se consideraron los supuestos de la distribución normal residual, la autocorrelación de Durbin y Watson y la prueba de homogeneidad de las varianzas mediante el estadístico de Levene.

III. Resultados y Discusión

Entre los parámetros climáticos registrados en la Tabla 1 desde el mes de enero a abril del 2018, se destacaron: la insolación promedio diaria, que presentó valores de 1,48 horas y 3,67 horas, y la temperatura máxima promedio diaria, que osciló entre $31,1^{\circ}C$ y $35,3^{\circ}C$; los cuales se utilizaron para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), dando como resultado valores que oscilaron entre $3,01 \text{ mm día}^{-1}$ y $3,58 \text{ mm día}^{-1}$. El mes de marzo presentó la mayor ET_o con $3,58 \text{ mm día}^{-1}$ y el mes de enero obtuvo la menor ET_o registrada $3,01 \text{ mm día}^{-1}$. Estos valores

calculados son muy útiles para determinar los coeficientes del cultivo, pues relacionan la evapotranspiración medida del cultivo con la evapotranspiración de referencia calculada. El lugar donde se desarrolló la investigación pertenece a la costa ecuatoriana y es una zona de clima subtropical, por lo tanto, los valores calculados de ETo son comunes para la zona de estudio. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Allen *et al.* (2006), quienes indican que la ETo para regiones tropicales y subtropicales con zonas húmedas y subhúmedas varía entre 3 a 5 mm día⁻¹, y por Vega y Jara (2009), los cuales afirman que la evapotranspiración de referencia para la costa ecuatoriana fluctúa entre 3 a 5 mm día⁻¹.

Tabla 1. Promedio de parámetros climáticos presentados durante la investigación

Meses	Temp. Máx (C°)	Temp. Min (C°)	Humedad relativa (%)	Vel. Viento (m/seg)	Insolación promedio (horas)	Eto Penman-Monteith FAO (mm/día)
Enero	35.3	22.2	85	1.98	1.48	3.01
Febrero	31.1	23.2	85	1.39	2.12	3.04
Marzo	31.5	22.8	84	1.72	3.67	3.58
Abril	32.3	21.6	85	1.63	3.36	3.36

El coeficiente de cultivo (Kc) para el frijol caupí INIAP-463 presentó tendencias normales según su fenología, como se muestra en la Figura 1 y la Tabla 2. Se caracterizaron cuatro etapas: el Kc para la primera etapa del cultivo fue de 0,45 con una duración de 15 días después de la siembra; en esta el cultivo alcanzó el 10 % de cobertura del suelo y un error estándar de 0,06. La segunda etapa duró 20 días, el cultivo alcanzó una cobertura completa del suelo con un Kc de 0,88, este también es llamado Kc de mediados de desarrollo, y un error estándar de 0,02. La tercera etapa del cultivo tuvo una duración de 25 días; en ese tiempo se evidenció la floración del cultivo con un Kc de 1,28 y un error estándar de 0,03. Por último, la cuarta etapa o etapa de cosecha, cuya duración fue de 20 días, reportó un Kc de 0,75 y un error estándar de 0,03. La etapa de floración presentó valores medios de Kc con tendencia ascendente, debido a que en dicha etapa el cultivo genera una mayor demanda de agua para realizar dicho proceso. Los resultados encontrados podrían asociarse con lo observado por Allen *et al.* (2006) para el cultivo de frijol; ellos proponen un Kc de 0,50 para la primera etapa, para la segunda fase un Kc de 1,05 y finalmente para la etapa final de desarrollo proponen un Kc de 0,90. Además, sugieren valores para otras leguminosas, tales como el guisante y las habas verdes, cuyos Kc son de 0,5, 1,15 y 1,10.

La variación de los resultados fue influenciada principalmente por la variedad que se utilizó, debido a que esta cubre el suelo a los 35 días después de la siembra; es decir, la planta posee abundante área foliar, con lo que aumenta la pérdida de agua por transpiración. Los resultados también se vieron afectados por la época del año en la que se llevó a cabo la investigación, debido a que esta influye en las variaciones de la evapotranspiración del lugar y por consiguiente en el Kc del cultivo.

Otro factor que pudo influir en los resultados fue el tipo de suelo predominante, ya que la evaporación del suelo varía según las características texturales sobresalientes, pues la disponibilidad del agua para el cultivo se relaciona con sus propiedades hidrofísicas. Al respecto, Spano *et al.* (2009) indican que existen diversos factores que afectan los valores de Kc, entre ellos están: (a) las diferencias en la morfología de la planta, que afectan la intercepción de luz y la resistencia aerodinámica, (b) la distribución y las respuestas de los estomas al ambiente, (c) el sistema de

riego y su efecto sobre la distribución de la humedad del suelo, (d) la frecuencia del riego y las precipitaciones, (e) la interceptación de rocío y condensación (neblina) que afecta la resistencia del dosel. Por su parte, González *et al.* (2014) indican que la demanda de agua de los cultivos varía dependiendo de la duración del ciclo del cultivo, el tipo de cultivo y la época de siembra.

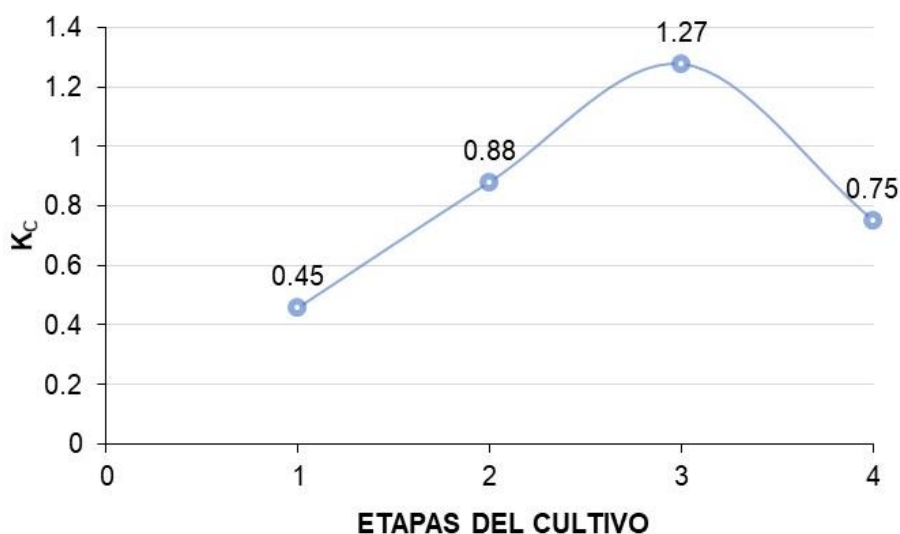


Figura 1. Valores de K_c obtenidos para cuatro etapas fenológicas del cultivo de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) bajo condiciones de estudio.

Tabla 2. Error estándar del K_c para cada una de las etapas evaluadas

Error estándar	Etapas del cultivo			
	1	2	3	4
K _c	0,06	0,02	0,03	0,03

La variedad de frijol caupí INIAP-463 presentó diferentes necesidades hídricas en cada una de las etapas en el ciclo del cultivo, según se muestra en la Figura 2. En la primera etapa, el cultivo necesitó 20,46 mm de agua; en la segunda etapa, 67,81 mm; en la tercera etapa, 114,33 mm; y en la cuarta etapa, 51,21 mm. En las primeras etapas, el consumo de agua por la planta fue menor, ya que el área foliar de la planta es relativamente pequeña en comparación con la etapa de floración. En la tercera etapa se obtuvo la mayor demanda de agua, puesto que la planta está formando órganos reproductivos y presenta mayor área foliar. Según Allen *et al.* (2006), cuando ocurren precipitaciones distribuidas durante el ciclo de la planta (96 días), se aumenta la humedad atmosférica afectando los valores de ETC o necesidades hídricas de los cultivos. El consumo total del cultivo fue de 254 mm. Resultados que contrastan con lo observado por López *et al.* (2011), quienes indican que las necesidades hídricas del frijol o las normas de riego totales máximas están entre 352–432 mm para suelos arcillosos y medios, y 415–498 mm para suelos arenosos.

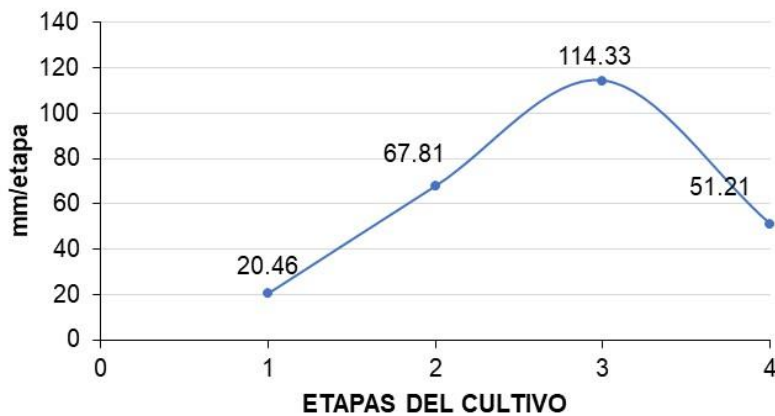


Figura 2. Necesidades hídricas para cuatro etapas fenológicas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) bajo condiciones de estudio.

En referencia al análisis de covarianza de la evapotranspiración del cultivo y evapotranspiración referencial, que son variables de predicción del coeficiente del cultivo (K_c), se observa que están fuertemente correlacionadas al 99,40% ET_c y 32,40% de ET_o (Tabla 3). Allen *et al.* (2006) indican que el coeficiente de desarrollo del cultivo (K_c) es un parámetro sustancial para estimar las necesidades hídricas del mismo, que permite optimizar el control, la proyección y la programación del riego. Adicionalmente, estos datos se pueden corroborar en la Tabla 4 del modelo, con el coeficiente de la regresión lineal y el análisis de la varianza (ANOVA), los cuales demuestran que existe mayor significancia estadística ($p < 0,001$) para la variable predictora evapotranspiración del cultivo (ET_c) y en menor probabilidad de aportación ($p < 0,05$) la evapotranspiración de referencia (ET_o) frente al coeficiente del cultivo (K_c). Del mismo modo, se puede observar el modelo de la regresión lineal que representa la primera variable $y = 0,074 + 0,281x$ acompañada de la segunda variable cuya ecuación $y = -1,961 + 0,886x$. Estas ecuaciones permiten previsualizar que el coeficiente del cultivo (K_c) se ve altamente influenciado por la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Tabla 3. Análisis de la covarianza de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y evapotranspiración de referencia (ET_o) en función del coeficiente del cultivo (K_c)

Correlaciones			Coficiente del cultivo (K_c)	Evapotranspiración del cultivo (ET_c) mm	Evapotranspiración de referencia (ET_o) mm/día
Coficiente del cultivo (K_c)	Correlación de Pearson	1		,994**	,324*
	Sig. (bilateral)			,000	,047
	N	38	38	38	38
Evapotranspiración del cultivo (ET_c) mm	Correlación de Pearson	,994**	1		,386*
	Sig. (bilateral)	,000			,017
	N	38	38	38	38
Evapotranspiración de referencia (ET_o) mm/día	Correlación de Pearson	,324*	,386*	1	
	Sig. (bilateral)	,047	,017		
	N	38	38	38	38

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 4. Regresión lineal de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y evapotranspiración de referencia (ETo) sobre el coeficiente del cultivo (Kc)

Modelo		ANOVA			Coeficientes de regresión					
V.D	R	R ²	F	P				T	P	VI
					B	E. T	Beta			
Coeficiente del cultivo (Kc)	0,99	0,98	3079,3	0,000***	0,074	0,020	0,994	3,714	0,001	(Constante)
					0,281	0,005		55,49	0,000***	ETc (mm)
	0,32	0,10	4,216	0,047*	-1,961	1,405	0,324	-1,396	0,171	(Constante)
					0,886	0,432		2,053	0,047*	ETo (mm/día)

***<0,001; *<0,05

En último término, se hace una comparación entre los Kc propuestos por la FAO para el cultivo de frijol y los obtenidos en la presente investigación (Figura 3). Al aplicar un modelo de regresión polinómico se puede manifestar que existe una fuerte relación entre los Kc, teniendo un ajuste de R²=0,886; esto indicó que la estimación de los Kc de esta investigación y los propuestos por la FAO son significativos, para la ecuación $y = -0.24x^2 + 1.33x - 0.685$. Allen *et al.* (2006) afirman que los valores de Kc propuestos por la FAO para el cultivo de frijol son representativos de climas subhúmedos con una humedad relativa mínima promedio (HRmin) de alrededor del 45% y con velocidades del viento suaves a moderadas, promediando 2 m s⁻¹. Los valores de Kc presentados son útiles solamente como una guía general y para propósitos comparativos.

Las características climáticas que presentó el lugar donde se desarrolló esta investigación fueron: clima subtropical, humedad relativa al 85% (considerada como alta), velocidades del viento suaves de 1,7 m s⁻¹ y suelo franco limoso. Bonet *et al.* (2010) mencionan que los resultados encontrados con base en la metodología FAO difieren notablemente de los valores resultantes de la fase experimental; estos últimos son determinados por las condiciones concretas de suelo y clima del lugar y con fundamento en los métodos recomendados para los estudios de la evapotranspiración del cultivo y de la evapotranspiración de referencia. Por lo tanto, la ecuación encontrada servirá en la estimación de Kc para el cultivo de frijol caupí, cuando la humedad relativa del lugar esté entre 45% y 85%, y la velocidad de viento medida a 2 m de altura sea entre 1,7 a 2 m s⁻¹.

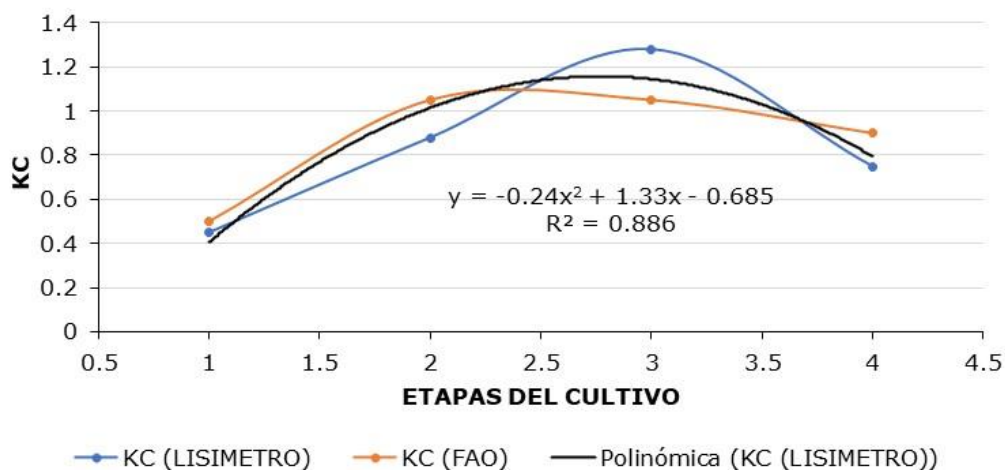


Figura 3. Relación entre el Kc calculado mediante lisímetro de drenaje y el Kc propuesto por la FAO para el cultivo de frijol caupí.

V. Conclusiones

Las necesidades hídricas del frijol caupí var. INIAP-463 fueron mayores en la tercera etapa del cultivo por la presencia de los órganos de reproducción vegetativa y de abundante área foliar. Los coeficientes de los cultivos (Kc), calculados mediante la utilización de los datos obtenidos de los lisímetros de drenaje, proporcionaron información relevante para estimar las necesidades hídricas del cultivo analizado. El requerimiento de agua de la var. INIAP-463 puede ser compensado por las precipitaciones que se generan en el periodo lluvioso. Por lo tanto, se podría recomendar la siembra de esta especie leguminosa en los valles del río Chone, Ecuador.

Referencias

- Allen, R., Pereira, I., Raes, D. & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO.
- Bonet, C., Acea, I., Brown, O., Hernández, M. & Duarte, C. (2010). Coeficientes de cultivo para la programación del riego de la piña. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3), 23-27.
- Chalmers, D., Andrews, P., Harris, K., Cameron, E. & Caspari, H. (1992). Performance of Drainage Lysimeters for the Evaluation of Water Use by Asian Pears. *HortScience*, 27(3), 263-265. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.3.263>
- Cardona-Ayala, C., Jarma-Orozco, A. & Araméndiz-Tatis, H. (2013). Mecanismos de adaptación a sequía en caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 277-288.
- Cardona-Ayala, C., Jarma-Orozco, A., Araméndiz-Tatis, H., Peña-Agresott, M. & Vergara-Córdoba, C. (2014). Respuestas fisiológicas y bioquímicas del frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) bajo déficit hídrico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 250-261.
- Daza, M., Meneses, H., Reyes, A. & Urrutia, N. (2017). Necesidades hídricas de estevia calculadas con el coeficiente del cultivo. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 509-521. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.24354>
- Do Nascimento, S. P., Bastos, E. A., Araújo, E. C., Freire, F. R. & Da Silva, E. M. (2011). Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(8), 853-860. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>
- Doorenbos, S. & Pruitt, W. (1997). *Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage. Paper 24*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- González, F., Herrera, J., López, T. & Cid, G. (2014). Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 21-27.
- González, G., Chávez, E., González, J., Dzul, A., Sánchez, I. & Potisek, M. (2012). Comparación de métodos para determinar la evapotranspiración y oportunidad de riego en nogal pecanero. *Revista Terra Latinoamericana*, 30(1), 29-38.

- Gutiérrez, J., Khosla, R., Searcy, S., González, G., Aranda, E., Dzul, A. & Rivera, M. (2005). La sostenibilidad de los recursos para la producción de nuez de pecana mediante el uso de nuevas tecnologías. *Rev. Transferencia ITESM* 18, 77.
- Jabow, M., Salih, A., Abdelhadi, A. & Ahmed, B. (2013). Crop Water Requirements for Tomato, Common Bean and Chick Pea in Hudeiba. River Nile State, Sudan. *Sudan Journal of Agricultural Research*, 22, 11-22.
- Jiyane, J. & Zermeño-González, A. (2003). Aplicación del enfoque de evapotranspiración a equilibrio en la agricultura de riego en zonas áridas. *Agrociencia*, 37(6), 553-563.
- Kanda, E., Kimutai, S., Aidan, M., Tafadzwanashe & Mubanga, S. C. (2020). Nutritional Yield and Nutritional Water Productivity of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) under Varying Irrigation Water Regimes. *Water SA*, 46(3), 410-418. <https://dx.doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i3.8651>
- López, J., Tijerina, L., Haro, G. & Arteaga, R. (1991). Calibración de fórmulas de evapotranspiración mediante un cultivo de alfalfa como referencia en el área de Montecillo, Estado de México. *Agrociencia*, 2, 55-72.
- López, T., Cid, G., González, F., Herrera, J. & Chaterlán, Y. (2011). Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica. *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(1), 24-29.
- Mendoza, H. & Linzán, L. (2005). *INIAP-463: Variedad de caupi de grano blanco y alto rendimiento para el litoral ecuatoriano*. INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Horticultura.
- Pungulani, L.L.M., Millner, J.P., Williams, W.M. & Banda, M. (2013). Improvement of Leaf Wilting Scoring in Cowpea (*Vigna sinensis* (L.) Walp.): From Qualitative Scale to Quantitative Index. *Aust. J. Crop Sci.*, 7(9), 1262-1269.
- Pupo, L. & García, M. (2010). Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(1), 25-31. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100004>
- Rajic, M., Skoric, M. & Stojiljkovic, D. (1997). Calculation of Irrigation Water Requirements for Sweet Pepper and Beans. *Acta Hort.* 449, 193-198. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.26>
- Rosano, M., Rendón, L., Pacheco, P., Etchevers, J., Chávez, J. & Vaquera, H. (2001). Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad. *Agrociencia*, 35(6), 577-588.
- Santos, L., De Juan, J., Picornell, M. & Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Editorial CREA-UCLM.
- Spano, D., Snyder, R., Sirca, C. & Duce, P. (2009). ECOWAT- A Model for Ecosystem Evapotranspiration Estimation. *Agric. For. Meteorol.* 149(10), 1584-1596. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.04.011>
- Souza, P., Farias, V., Pinto, J., Nunes, H. G., Souza, E. B. de & Fraise, C. W. (2020). Yield Gap in Cowpea Plants as Function of Water Deficits during Reproductive Stage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(6), 372-378. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p372-378>
- Timko, M.P., Rushton, P.J., Laudeman, T.W., Bokowiec, M.T., Chipumuro, E., Cheung, F., Town, C.D. & Chen, X. (2008). Sequencing and Analysis of the Gene-rich Space of Cowpea. *BMC Genomics*, 9, 103. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-103>

Vega, E. & Jara, J. (2009). Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (costa y región andina) del Ecuador. *Revista Engenharia Agrícola*, 29(3), 390-403. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000300006>

Villa-Fontecha, G. (2014). A propósito de la gestión del agua en el mundo contemporáneo. Un enfoque biopolítico. *Anal. Polit*, 74, 109-13.

Cómo citar este artículo: Chavarría, J., Ugando, M., Sabando, A., Muños, J, Bravo, R. & Villalón, A. (2020). Necesidades hídricas del frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). calculadas con el coeficiente de cultivo utilizando lisímetro de drenaje. *Cien. Agri.* 17(3), 111-121. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746>