



Coeficiente del cultivo de *Vigna unguiculata* L. Walp. para períodos secos y lluviosos en el valle del río Chone

Coefficient of *Vigna unguiculata* L. Walp. for dry and rainy periods in the Chone river valley

Autores: Jesús Enrique Chavarria-Párraga¹

Julio Cesar Ramírez-Caicedo²

Jorge Isaac Zambrano-Kuffó³

Richard Xavier Bravo-Ferrín⁴

Luis Enrique Párraga-Muñoz⁵

Dirección para correspondencia: jchavarria@pucem.edu.ec

Recibido: 2020-11-02

Aceptado: 2020-12-09

Resumen

El uso del agua en la agricultura es una actividad muy demandante a nivel mundial, por ello es necesario conocer la cantidad de agua que consumen los vegetales de interés agrícola. Se investigó el coeficiente del cultivo (Kc) de *Vigna unguiculata* L. Walp. (cv. INIAP-463) para períodos secos y lluviosos de Chone, Manabí, Ecuador a través de lisimetría de drenaje. Se ejecutó en el año 2019, implementándose tres lisímetros de drenaje cerca de la estación climatológica M0162. La lámina de riego fue aplicada en base a la evapotranspiración de referencia diaria (ET₀). Se realizó el cálculo del Kc para cada etapa fenológica del cultivo determinando el cociente entre la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y ET₀. El frejol presentó cuatro etapas según su consumo hídrico, reportando

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. Docente Titular Agregado 2, Manabí, Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-8868-394X>

² Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. E-mail: julay.cesar@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0001-7813-4904>

³ Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. E-mail: jorgeisaacz95@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4290-7172>

⁴ Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí. E-mail: richardxavier1705@hotmail.es <https://orcid.org/0000-0002-4088-3034>

⁵ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí-Manuel Félix López. E-mail: lenrique1961@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-0584-2835>

valores de Kc de 0,55; 0,92; 1,30 y 0,80 para el periodo seco y 0,45; 0,88; 1,28 y 0,75 para el periodo lluvioso. Las necesidades hídricas del frejol fueron 219,37 mm para el periodo seco y 237,82 mm para el periodo lluvioso durante 85 días que duró el ciclo del cultivo. Los valores de Kc y necesidades hídricas varían según las condiciones climáticas de las zonas en donde se desarrollen los cultivos.

Palabras clave: evapotranspiración; lámina de drenaje; necesidades hídricas; riego; leguminosa.

Abstract

Water use in agriculture is a very demanding activity worldwide, therefore it is necessary to know the amount of water consumed by vegetables of agricultural interest. The crop coefficients (Kc) of *Vigna unguiculata* L. Walp was investigated. (cv. INIAP-463) for dry and rainy periods of Chone, Manabí, Ecuador through drainage lysymmetry. It was executed in 2019, implementing three drainage lysimeters near the M0162 weather station. The irrigation sheet was applied based on the daily reference evapotranspiration (ET₀). Kc was calculated for each phenological stage of the crop by determining the quotient between the evapotranspiration of the crop (ET_c) and ET₀. The bean presented four stages according to its water consumption, reporting Kc values of 0.55; 0.92; 1.30 and 0.80 for the dry period and 0.45; 0.88; 1.28 and 0.75 for the rainy season. The water needs of the beans were 219.37 mm for the dry period and 237.82 mm for the rainy period during the 85 days of the crop cycle. The Kc values and water needs vary according to the climatic conditions of the areas where the crops are grown.

Keywords: evapotranspiration; drainage sheet; irrigation; water needs; legume.

Introducción

Vigna unguiculata L. Walp. (Fabaceae) es la leguminosa más cultivada y consumida en Ecuador, sea como grano seco o con alto contenido de humedad cosechado antes de la madurez fisiológica (vaina verde) (Ernest, Falconí, Peralta, & Kelly, 2008). Se considera como la cuarta fuente de proteína en América tropical (González, Abreu, Herrera, & López, 2017). El cultivo de esta leguminosa en el litoral ecuatoriano lo desarrollan pequeños agricultores durante todo el año, preferiblemente en la época de verano; su producción está orientada al autoconsumo, es decir, abastece el mercado interno (Garcés, Olmedo, Garcés, & Díaz, 2015). Por lo tanto, es importante analizar la dinámica de las relaciones hídricas en esta especie (Sousa et al., 2020).

La agricultura es la actividad que más agua demanda en todo el mundo; siendo el riego una técnica agrícola que emplea alrededor del 70 % de este recurso a nivel global (Margat, Frenken, & Faurès, 2005). Se considera que tan sólo el 20 % de las extensiones de tierras dedicadas para uso agrícola en el mundo se

encuentran bajo riego, las mismas que proporcionan un estimado del 40% de lo que se produce en general a escala mundial (Mossande, Brown, & Mujica, 2015).

El manejo adecuado del riego permite realizar una programación del riego que defina la cuantía y el momento de cada riego en dependencia de las necesidades de las plantas (Santos, De Juan, Picornell, & Tarjuelo, 2010). Con la aplicación adecuada del agua se logra obtener altos rendimientos de los cultivos, disminuir los costos de producción, un uso racional de los recursos naturales, y atenuar el problema de la contaminación ambiental (Chavarría, Pilaloa, González, & Párraga, 2017). Arévalo, Vélez y Camacho (2013) señalaron que conocer la evapotranspiración del cultivo (ETc), es esencial para no someter a la planta a períodos de falta o exceso de agua. El riego excesivo no solamente desperdicia agua y lava nutrientes sino que puede crear condiciones de estrés que predisponga al cultivo a enfermedades (Tarjuelo et al., 2015).

El coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc) es un parámetro sustancial para estimar las necesidades hídricas de los mismos, permitiendo optimizar el control, proyección y programación del riego (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). Está en función de la evapotranspiración de referencia (ETo) y la evapotranspiración del cultivo (ETc), y preferiblemente debe determinarse para las condiciones locales en las que se utilizará (Medeiros, Arruda, & Sakai, 2004).

Existen varios factores que afectan los valores de Kc, entre ellos están: (a) las diferencias en la morfología de la planta, que afecta la intercepción de luz y la resistencia aerodinámica, (b) la fisiología vegetal, incluidos los efectos sobre el número, la distribución y las respuestas de los estomas al ambiente, (c) las etapas fenológicas del cultivo (Spano, Snyder, Sirca, & Duce, 2009). Investigaciones realizadas en Europa proponen un Kc para el frejol 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 (Allen et al. 2006).

Los lisímetros son dispositivos que contienen un volumen de suelo, aislado hidrológicamente del suelo circundante, en el cual resulta posible controlar y medir los diferentes términos que intervienen en el balance (Puppo & Garcia, 2010). El lisímetro de drenaje es altamente recomendado para determinar la demanda de agua de los cultivos con una mayor eficiencia (Chalmers, Andrews, Harris, Cameron, & Caspari, 1992; Puppo & Garcia, 2010).

Al conocer los diversos requerimientos hídricos del *Vigna unguiculata* es necesario saber si la demanda de agua en condiciones tropicales para los diferentes períodos de siembra, sean estos lluviosos y secos, difiere de los demás resultados encontrados. Con estos antecedentes, esta investigación tuvo como objetivo estimar el coeficiente del cultivo de *V. unguiculata* cv. INIAP-463 para períodos secos y lluviosos de Chone, Manabí, Ecuador a través de lisimetría de drenaje.

Metodología

Área de estudio

La investigación se ejecutó en los predios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Manabí campus Chone, situada en el sitio Garrapata del cantón Chone, ubicada geográficamente en la latitud $-0,664167^{\circ}\text{S}$ y longitud $-80,036389^{\circ}\text{O}$, a una elevación de 36 m.s.n.m. Se efectuó en el año 2019, entre los meses de febrero a abril, los cuales pertenecen al periodo lluvioso y de septiembre a noviembre, pertenecientes al periodo de secano de la costa ecuatoriana (INAMHI, 2017). Las condiciones climatológicas registradas durante el desarrollo de la investigación en el periodo lluvioso fueron temperatura máxima $26,05^{\circ}\text{C}$ y mínima $22,75^{\circ}\text{C}$, humedad relativa media 95 %, promedio de horas de sol diarias 2,55 h, velocidad del viento promedio 1,40 m/s y una precipitación total de 932 mm; y en el periodo seco la temperatura máxima $31,85^{\circ}\text{C}$ y mínima $24,53^{\circ}\text{C}$, humedad relativa media 83 %, promedio de horas de sol diarias 2,67 h, velocidad del viento promedio 1,80 m/s y una precipitación total de 30 mm (INAMHI, 2019).

Instalación del experimento

Se instalaron tres lisímetros de drenaje, recipientes metálicos de 1 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de alto, y que lleva en su fondo una malla de orificios pequeños con material filtrante en capas separadas (grava gruesa y fina). Encima lleva las capas de suelo con otra malla un poco más gruesa y, en el fondo lleva la tubería de drenaje y al final de ella está un recipiente de recolección para el agua drenada.

Finalmente, se rellenó el lisímetro de acuerdo a los perfiles del suelo. Cada perfil se fue colocando y saturando con agua para lograr una mínima perturbación en el suelo siguiendo las recomendaciones de Daza, Meneses, Reyes y Urrutia (2017). Dicho suelo lo conformaban tres perfiles, a continuación se detallan las propiedades hidrofísicas: en el perfil 1, profundidad del perfil 15 cm, clase textural franco limosa, estructura granular, densidad aparente $1,53 \text{ g/cm}^3$, capacidad de campo 29,16 %, punto de marchitez 16,04 % y conductividad hidráulica 15,87 cm/h. En el perfil 2, profundidad del perfil 20 cm, clase textural franco arenosa, estructura prismática, densidad aparente $1,50 \text{ g/cm}^3$, capacidad de campo 30,20 %, punto de marchitez 16,61 %. En el perfil 3, profundidad del perfil 65 cm, clase textural franco limosa, estructura prismática, densidad aparente $1,46 \text{ g/cm}^3$, capacidad de campo 30,07 %, punto de marchitez 16,54 %.

El lisímetro de drenaje fue ubicado en el centro de cada parcela. Estas características se mantuvieron tanto para el periodo lluvioso como el período seco del lugar de estudio. Para el control de la humedad del suelo dentro del lisímetro, durante el tiempo que duró la investigación, se instaló un tensímetro a 30 cm de profundidad, las lecturas del tensímetro se realizaban a las 10 de la mañana, con el fin de conocer la disponibilidad y movimiento del agua en el suelo. Los

riegos en el lisímetro de drenaje y en las parcelas se realizaron diariamente utilizando probetas graduadas.

La reposición de la lámina de agua en el lisímetro se calculaba considerando el valor de ETo diario y su aplicación se realizaba mediante el uso de una probeta graduada, aplicándose en todo el lisímetro. El agua drenada se midió 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 y de los parámetros climáticos por el tiempo que duró la investigación.

Se implementó tres parcelas de 25 m² donde se sembró *V. unguiculata* cv. INIAP-463 a un distanciamiento de 1 m entre plantas y 1 m entre hileras; este cultivar es de crecimiento semi erecto, color de hoja verde oscura, flor de color blanca, de grano pequeño color blanco crema y alto rendimiento para el litoral ecuatoriano (Mendoza & Linzán, 2005).

Cálculos de ETo, ETc y Kc

Los datos climáticos utilizados en la investigación fueron: precipitación, humedad relativa, velocidad de viento, temperatura y horas sol, se tomaron de la estación meteorológica del INAMHI ubicada a 10 metros del área de investigación. Varios datos sirvieron para calcular la evapotranspiración de referencia por el método de Penman-Monteith modificado por la FAO empleando la siguiente fórmula:

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

Dónde: ETo es la evapotranspiración de referencia en (mm/d); Rn es la radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/d); G es la densidad de flujo de calor del suelo (MJ/m²/d); T es la temperatura del aire a 2 m de altura (°C); u₂ es la velocidad de viento a 2 m de altura (m/s); ea es la presión de vapor actual (KPa); es presión de vapor saturada (KPa); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor (KPa/°C); γ es la constante psicométrica (KPa/°C).

Se llevó un registro diario de las variables climatológicas del balance hídrico, para después calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc) en lámina (mm) utilizando la siguiente formula:

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

Dónde: R es el agua de riego o por precipitaciones (mm) estimada con la ETo diaria; D es el agua drenada a través del lisímetro de drenaje.

Los cálculos de ETo y ETc 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 Kc, teniendo en consideración los fundamentos de Allen et al. (2006).

$$Kc = ETc/ETo \quad (3)$$

Dónde: K_c es el coeficiente único de los cultivos; ET_c es la evapotranspiración del cultivo en mm/día; ET_0 es la evapotranspiración de referencia en mm/d.

Las necesidades hídricas del cultivo se determinaron considerando el valor obtenido de K_c para cada una de sus etapas multiplicándolo por el ET_0 y relacionándolo con los días que dura cada etapa del cultivo.

Análisis estadístico

Para obtener el coeficiente único del cultivo para cada etapa del cultivo se procedió a promediar los resultados de K_c de varios días según el consumo reportado por el cultivo y su desarrollo vegetativo. Los valores de K_c y NH_c obtenidos en el periodo lluvioso y seco fueron sometidos a pruebas estadísticas con el fin de testear normalidad, linealidad y homocedasticidad de las variables para los diferentes grupos de comparación (KolmogorovSmirnov y Levene). Se utilizó el estadístico t Student para muestras pareadas. Posteriormente se efectuó un análisis de la correlación entre el coeficiente del cultivo (K_c) en relación con las necesidades hídricas del cultivo (NH_c), la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y evapotranspiración de referencia (ET_0). Estos modelos estadísticos de predicción se los realizaron mediante el programa SPPS versión 20.

Resultados

En la figura 1 se muestra el comportamiento de la precipitación y evapotranspiración determinados semanalmente desde el mes de febrero a abril donde se desarrolló el periodo lluvioso y de septiembre a noviembre considerado periodo seco del año 2019, donde la precipitación promedio diaria de la segunda semana después del trasplante en el periodo lluvioso presentó el valor más alto con 20,63 mm y la décima semana después del trasplante presentó el valor más bajo con 0,04 mm. Así mismo, en el periodo seco, la décima segunda semana después del trasplante presentó el valor más alto con 2,43 mm/día y varias semanas no presentaron precipitación, lo cual es característico en este periodo. Así mismo, la evapotranspiración de referencia (ET_0) calculada por Penman-Monteith modificado por la FAO, para el periodo lluvioso presentó valores semanales que oscilaron entre 2,50 mm/d a 3,60 mm/d y para el periodo seco, estuvieron en el rango de 2,40 mm/d a 3,10 mm/d.

Al mismo tiempo, la ET_0 influye directamente en la ET_c de frejol mostrando que, en la sexta semana después del trasplante del periodo lluvioso presentó el valor más alto con 4,35 mm/d y en la primera semana después del trasplante presentó el valor más bajo con 1,13 mm/d. Similar, en el periodo seco, la sexta semana después del trasplante presentó el valor más alto con 3,64 mm/d y en la primera semana después del trasplante presentó el valor más bajo con 1,13 mm/d.

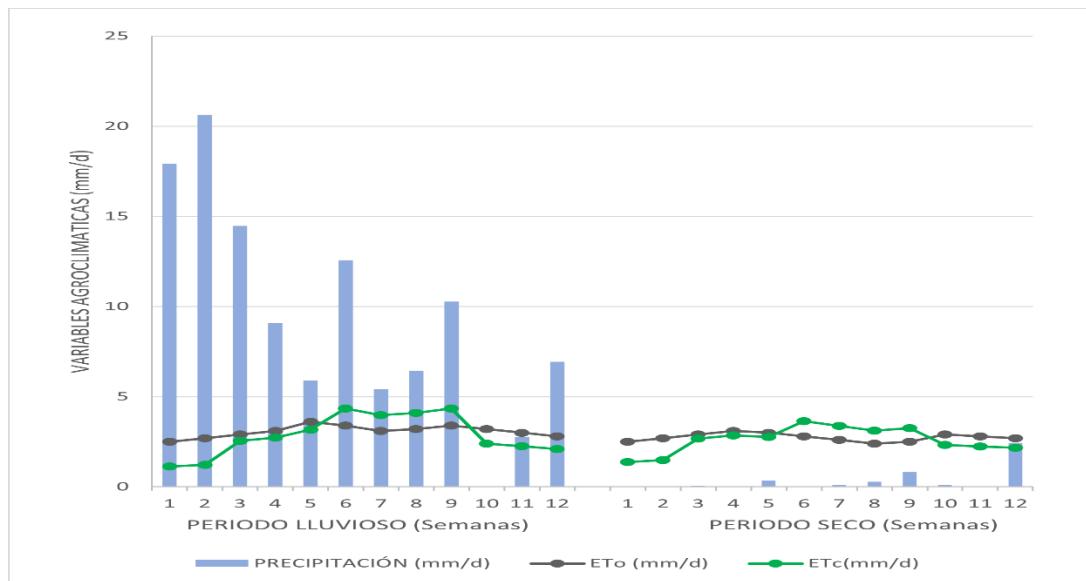


Figura 1. Evapotranspiración y precipitación presentadas durante la investigación

El Kc para *V. unguiculata* (cv. INIAP-463) fue diferente según el crecimiento del cultivo en su ciclo de vida y para los periodos de siembra (figura 2). Presentó cuatro etapas, el Kc de la etapa inicial del cultivo de frejol para los periodo lluvioso y seco fueron de 0,45 y 0,55 con una duración de 15 días después de la germinación donde el cultivo alcanzo el 10 % de cobertura del suelo; la etapa de mediados de desarrollo ocupó un lapso de tiempo de 25 días donde el cultivo alcanzó una cobertura completa del suelo, con un Kc de 0,88 para el periodo lluvioso y 0,92 para el periodo seco; la etapa de desarrollo y producción del cultivo tuvo una duración de 25 días donde se evidenció la floración del cultivo con un Kc de 1,28 para el periodo lluviosos y 1,30 para el periodo seco; por último la etapa de cosecha y senescencia cuyo lapso de tiempo duró 20 días presentó para el periodo lluvioso un Kc de 0,75 y para el periodo seco 0,80.

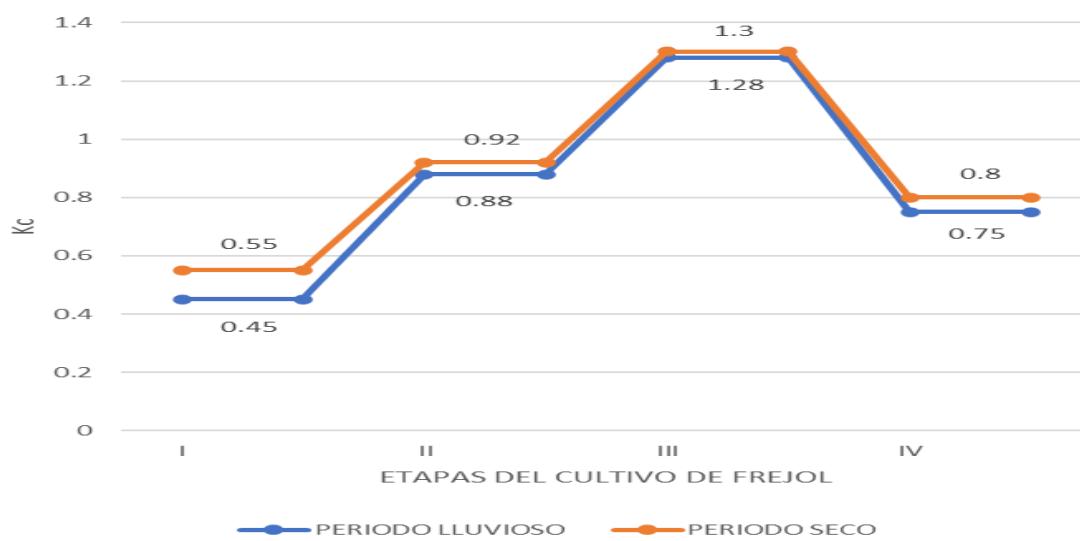


Figura 2. Valores de Kc del cultivo de *Vigna unguiculata* L. Walp. (cv. INIAP-463) para los periodos lluvioso y seco

En la tabla 1 se presenta el análisis estadístico para dos muestras pareadas, utilizando la prueba de “t” donde muestra que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los períodos de siembra con respecto al Kc de frejol en la primera, segunda y cuarta etapa, mientras que en la tercera etapa no existe diferencias estadísticas entre sí. El coeficiente de variación presentó valores que variaron de 11,10 % a 2,63 %.

Tabla 1. Prueba de t del Kc de Vigna unguiculata L. Wall. (cv. INIAP-463) en diferentes períodos de siembra

Período de siembra	Kc			
	Etapa inicial	Etapa mediados de desarrollo	Etapa de desarrollo y producción	Etapa de cosecha y senescencia
Lluvioso	0,45b	0,88b	1,28a	0,75b
seco	0,55a	0,92a	1,30a	0,80a
p-valor	0,0003	0,0080	0,0705	0,0036
Coeficiente de Variación	11,10 %	2,63 %	2,64 %	3,72 %

El cultivo de *V. unguiculata* (cv. INIAP-463) presentó en el periodo lluvioso y seco diferentes necesidades hídricas en cada una de las etapas en el ciclo del cultivo (figura 3). En el periodo lluvioso, durante las cuatro etapas necesitó 17,60 mm, 70,75 mm, 104,32 mm y 45,15 mm de agua respectivamente. Para el periodo seco, el consumo de agua en las cuatro etapas fue 21,51 mm, 69 mm, 83,98 mm y 44,88 mm respectivamente. El consumo total del cultivo fue de 237,82 mm para el periodo lluvioso y 219,37 para el periodo seco.

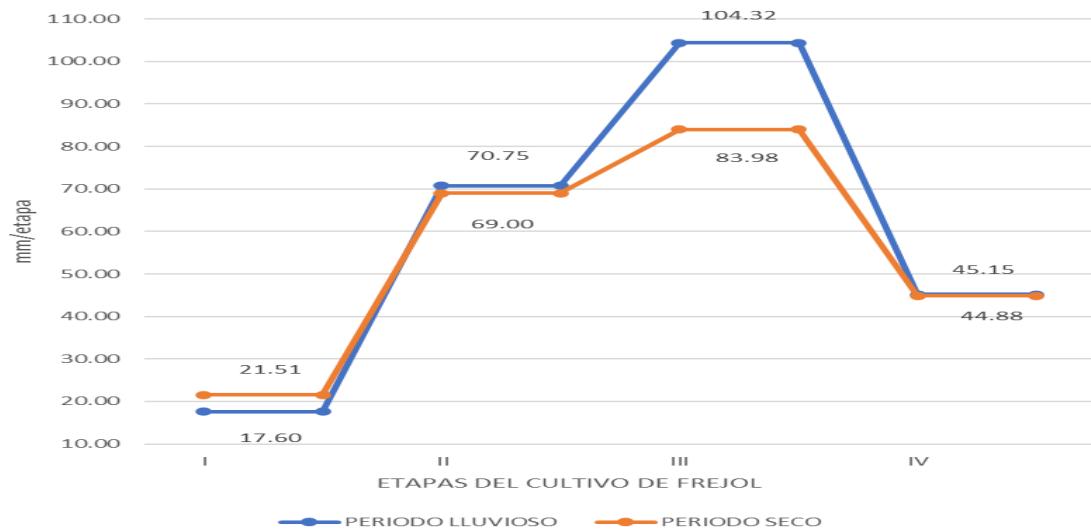


Figura 3. Necesidades hídricas del cultivo de Vigna unguiculata (cv. INIAP-463) para el periodo lluvioso y seco

El análisis estadístico que se muestra en la tabla 2, es para dos muestras pareadas, utilizando la prueba de “t”, lo cual indica que, existen diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los períodos de siembra del *V.*

unguiculata (cv. INIAP-463) con respecto a las necesidades hídricas del cultivo (NHc). El coeficiente de variación fue de 4,45 %. La diferencia que existe entre las necesidades hídricas de cultivo de frejol en el periodo lluvioso y seco se debe a la variabilidad climática que existe entre los periodos de siembra del cultivo, lo cual se ha evidenciado en los datos climáticos reportados.

Tabla 2. Prueba de t de las NHc de *Vigna unguiculata* (cv. INIAP-463) en diferentes periodos de siembra

Periodo de siembra	NHc (mm)
Lluvioso	237,82a
seco	219,37b
p-valor	0,0001
Coeficiente de Variación	4,45 %

En referencia al análisis de correlación de las NHc, ETc y ETo (tabla 3) que son variables de predicción del Kc, se observa que están fuertemente correlacionada al 94 % de la ETc y 71 % de las NHc. Así mismo, las NHc están fuertemente correlacionadas al 81 % de la ETc, 71 % del Kc y 62 % de la ETo. Además, la ETc está fuertemente correlacionada al 94 % del Kc, 81 % de las NHc y 55 % de la ETo.

Tabla 3. Análisis de la correlación de las NHc, ETc y ETo en función del Kc de *Vigna unguiculata* (cv. INIAP-463) para el sitio Garrapata.

Correlaciones		Kc	NHc	ETc	ETo
Kc	Correlación de Pearson	1	0,71**	0,94**	0,24
	Sig. (bilateral)		0,0001	<0,0001	0,2668
	N	24	24	24	24
NHc	Correlación de Pearson	0,71**	1	0,81**	0,62**
	Sig. (bilateral)	0,0001		<0,0001	0,0014
	N	24	24	24	24
ETc	Correlación de Pearson	0,94**	0,81**	1	0,55**
	Sig. (bilateral)	<0,0001	<0,0001		0,0054
	N	24	24	24	24
ETo	Correlación de Pearson	0,24	0,62**	0,55**	1
	Sig. (bilateral)	0,2668	0,0014	0,0054	
	N	24	24	24	24

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

Discusión

El aporte de lluvia en el sitio Garrapata del cantón Chone es significativo para que se desarrolle el cultivo de frejol a partir del mes de febrero. Resultados que

contrastan con Pérez, Cabrera, Hinostroza y Mancaba (2018) quienes manifestaron que para realizar producción agrícola en la provincia de Manabí se debe hacer una planificación de riego durante 11 meses del año con excepción del mes de febrero. El comportamiento de las condiciones agroclimáticas de la zona de estudio, especialmente de la precipitación en el periodo lluvioso indica, que sembrando el cultivo de frejol en el mes de febrero puede satisfacer sus necesidades hídricas con la precipitación de la zona. Mientras que en el periodo seco se debe aplicar riego para suplir las necesidades hídricas del frejol.

Los valores presentados de evapotranspiración de referencia (ET₀) en el periodo lluvioso se encuentran dentro del rango encontrado por Chavarriá et al. (2020) quienes reportaron que los valores de ET₀ para el periodo lluvioso estimados mensualmente fluctuaron entre 3,01 mm/d a 3,58 mm/d. Los valores de ET₀ obtenidos para el periodo seco son normales para esta zona, según Allen et al. (2006) para regiones tropicales y subtropicales con zonas humedad y subhúmedas la ET₀ varía entre 3 a 5 mm/d. Además, el método de Penman-Monteith modificado por la FAO es el método más confiable para la determinación de ET₀, por lo tanto, el coeficiente del cultivo se puede determinar relacionando la evapotranspiración del cultivo (ET_c) con la ET₀ calculada (González et al., 2012).

La mayor y menor ET_c de frejol se presentó a mediados e inicios del ciclo del cultivo respectivamente, y se evidenció en los dos periodos de siembra. Resultados que coinciden con Alves, Farias, Santos, Pereira y Lins (2017) quienes indicaron que la mayor ET_c se presenta a mediados del ciclo del cultivo y la menor ET_c se presenta a inicios del cultivo. Así mismo, Araya, Stroosnijder, Girmay y Keesstra (2011) mencionaron que, a mediados del ciclo biológico, la ET_c está por encima de ET₀, debido a la alta cobertura del suelo proporcionada por la planta, lo que determina que la mayor pérdida de agua sea por transpiración del cultivo y muy poco por evaporación del suelo.

Debido a la presencia de órganos reproductores en la planta de frejol, los valores de K_c ascendieron, por lo tanto, incrementó el consumo de agua del cultivo. Resultados que contrastan con Allen et al. (2006) donde indican que para el cultivo de frejol, propone un K_c inicial de 0,50 para la primera etapa, para la segunda fase el K_c dado es 1,05 y finalmente para la fase final de desarrollo propone un K_c de 0,90. Además, de sugerir valores para otras leguminosas tales como el guisante y las habas verdes cuyos de K_c son 0,5, 1,15 y 1,10. Los resultados presentados son respaldados por González, Herrera, López, y Cid (2014) donde indicaron que, la demanda de agua de los cultivos varía en dependencia de la duración del ciclo del cultivo, tipo de cultivo y la época de siembra. Así mismo, Bonet, Acea, Brown, Hernández y Duarte (2010) mencionaron que, los valores de K_c encontrados en ensayos experimentales, son precisos, debido a que se desarrollan con las metodologías recomendados y con las interacciones del suelo y clima del lugar.

Dentro de las primeras etapas el consumo de agua por parte de la planta de frejol fue menor, ya que la planta poseía menos hojas en comparación con la etapa de floración. En la tercera etapa se obtuvo la mayor demanda de agua, debido a que la planta está formando órganos reproductivos y tenía mayor cantidad de hojas. Además, debido a la presencia de precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, se vio afectada las necesidades hídricas del cultivo de *V. unguiculata* (cv. INIAP-463), Allen et al. (2006) indicaron que, cuando la humedad relativa aumenta debido a las precipitaciones, el ETc o necesidades de agua de los cultivos es afectada. El consumo total de agua del cultivo de frejol varió entre 237,82 y 219,37 mm para los diferentes períodos de siembra. Resultados que contrastan con lo dicho por González, Herrera, Hernández, López y Cid (2012) indicaron que el consumo de agua para frijoles en Cuba es de 280 a 372 mm. Así mismo, dichos resultados contrastan con lo dicho por Chavarria et al. (2020) donde indican que estableciendo el fríjol caupí en época lluviosa el consumo de agua por parte del cultivo fue de 254 mm. Considerando que ambas investigaciones son realizadas con el mismo material genético vegetal y en las mismas condiciones de suelo, el consumo de agua es afectado por la evapotranspiración referencial.

El consumo de agua del frejol está correlacionado con la evapotranspiración de la zona. Estos resultados coinciden con Jensen et al. (2014) quienes indicaron que la evapotranspiración es el origen de los requerimientos hídricos diarios por superficie de cultivo. El Kc está fuertemente correlacionado con NHc y ETc tal como lo describen Allen et al. (2006), indicando que, el Kc es un parámetro sustancial para estimar las necesidades hídricas de los mismos, permitiendo optimizar el control, proyección y programación del riego. Estas correlaciones encontradas en la investigación dan validez a los resultados descritos anteriormente, en donde se observaba influencia entre las variables analizadas.

Conclusiones

Se puede cultivar frejol en el valle del río Chone durante todo el año. Al sembrarlo en el mes de febrero, los 237,82 mm de agua que necesita el cultivo en todo su ciclo biológico son compensados con la precipitación del periodo lluvioso.

El Kc de frejol para el periodo lluvioso en sus cuatro etapas presenta valores de 0,45, 0,88, 1,28 y 0,75 y para periodo seco 0,55, 0,92, 1,30 y 0,80, lo que indica que, el Kc de frejol es diferente en los períodos de siembra en zonas de clima tropical y especialmente en el cantón Chone.

Conociendo el Kc de frejol para el valle del río Chone se pueden realizar investigaciones de uso eficiente del agua en función a la producción del cultivo, para esta zona o para zonas que posean climas similares.

Referencias bibliográficas

Allen, R., Pereira, I., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Ed. FAO, Roma. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

Alves, E., Farias, D., Santos, J., Pereira, D., & Lins, M. (2017). Determinação do coeficiente de cultivo para a cultura do rabanete através de lisimetria de drenagem. *Irriga*, 22(1), 194-203. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p194-203>

Araya, A., Stroosnijder, L., Girmay, G., & Keesstra, S. (2011). Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* Zucc.). *Agricultural Water Management*, 98, 775-783. <https://doi.org/10.1016j.agwat.2010.12.001>

Arévalo, J., Vélez, J., & Camacho, J. (2013). Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(8), 811-17. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800002>

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. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000300005

Chalmers, D., Andrews, P., Harris, K., Cameron, E., & Caspary, H. (1992). Performance of drainage lysimeters for the evaluation of water use by Asian Pears. *HortScience*, 27, 2631-2651. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.3.263>

Chavarria, J., Pilaloa, W., González, C., & Párraga, L. (2017). Restricción del riego en la producción de biomasa del pasto *Pennisetum* sp. *Ciencia y Tecnología*, 10(2), 83-87. <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i2.212>

Chavarria, J., Ugando, M., Sabando, A., Muñoz, J., Bravo, R., & Villalón, A. (2020). Necesidades hídricas del fríjol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) calculadas con el coeficiente de cultivo utilizando lisímetro de drenaje. *Ciencia y Agricultura*, 17(3), 111-121. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746>

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>

Ernest, E., Falconí, E., Peralta, E., & Kelly, J. (2008). Encuesta a productores para orientar el fitomejoramiento en frijol en Ecuador. *Agricultura Mesoamericana*, 19(1), 7-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=437/43711424002>

Garcés, F., Olmedo, I., Garcés, R., & Díaz, T. (2015). Potencial agronómico de 18 líneas de fréjol F6 en Ecuador. *Idesia (Arica)*, 33(2), 107-118. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000200013>

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. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 29-38. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000100029&lng=es&tlng=es.

González, F., Herrera, J., Hernández, O., López, T., & Cid, G. (2012). Base de datos sobre necesidades hídricas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2), 42-47. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542012000200008&lng=es&tlng=es.

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. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000400004&lng=es&tlng=es.

González, O., Abreu, B., Herrera, M. & López, E. (2017). Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1), 71-77. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000100009&lng=es&tlng=es.

INAMHI, (2017). Anuario Meteorológico Nro. 53-2013. Estación Chone-U Católica M0162. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito-Ecuador.

INAMHI, (2019). Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas. Estación Chone-U Católica M0162. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito-Ecuador.

Jensen, C., Ørum, J., Pedersen, S., Andersen, M., Plauborg, F., Liu F., & Jacobsen, S. (2014). A short overview of measures for securing water resources for irrigated crop production. *Agronomy and crop science*, 200, 333-343. <https://doi.org/10.1111/jac.12067>

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(2), 41-47. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAGric/article/view/547>

Margat, B., Frenken, K., & Faurès, J. (2005). Key water resources statistics in aquastat- FAO's global information system on water and agricultura. IWG-Env, international work session on water statistics, Vienna, June 20-22.

Medeiros, G., Arruda, F., & Sakai, E. (2004). Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. *Acta Scientiarum Agronomy*, 26(4), 513-519. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v26i4.1815>

Mendoza, H., & Linzán, L. (2005). INIAP-463: Variedad de caupi de grano blanco y alto rendimiento para el litoral Ecuatoriano. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Horticultura. (Plegable Divulgativo no. 218).

Mossande, A., Brown, O., & Mujica, A. (2015). Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(2), 5-10.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000200001&lng=es&tlang=es.

Pérez, R., Cabrera, E., Hinostroza, M., & Manzaba, J. (2018). El Régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: estudio climatológico. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 27(1), 5-12.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542018000100001&lng=es&tlang=es.

Pupo, L., & Garcia, M. (2010). Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14(1), 25-31.
<http://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100004>

Santos, L., De Juan, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. Ed. CREA-UCLM.
http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf

Spano, D., Snyder, R., Sirca, C., & Duce, P. (2009). ECOWAT-A model for ecosystem evapotranspiration estimation. Meteorología agrícola y forestal, 149(10), 1584-1596. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.04.011>

Souza, P., Farias, V., Pinto, J., Nunes, H., Souza, E., & Fraisse, C. (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://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p372-378>

Tarjuelo, J., Rodriguez, J., Abadía, R., Camacho, E., Rocamora, C. & Moreno, M. (2015). Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. Agricultural Water Management, 162, 67-77.
<http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.009>.