

Requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol variedad Calima en Riobamba, Ecuador

Juan Eduardo León Ruiz. email: juan.leon@esPOCH.edu.ec
Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador.

Vicente Javier Parra León. email: vparraleon@gmail.com
Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador.

Juan Sebastián Silva Orozco. email: juan.silvaso@esPOCH.edu.ec
Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador.

Robinson Fabricio Peña Murillo. email: robinson_2588@hotmail.com
Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador.

Daniel Arturo Román Robalino. email: daniel.roman@esPOCH.edu.ec
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Ecuador.

RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de definir los requerimientos hídricos del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Calima en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. El diseño fue de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones: tratamiento 1, láminas de riego por lisímetro de drenaje; tratamiento 2, láminas de riego por Tanque de evaporación Tipo A; tratamiento 3 láminas de riego por cálculo empírico de la evapotranspiración del cultivo. Se determinaron y ajustaron valores de coeficiente de cultivo (K_c) para cada etapa fenológica. Se evaluaron las variables días a la emergencia, floración, envainado y cosecha, altura de la planta, contenido relativo de agua (WRC), número de vainas por plantas, rendimiento, y huella hídrica. Los valores de coeficiente de cultivo (K_c) ajustado fueron de 0,65, 0,96, 1,05, 0,86 para la etapa inicial, de desarrollo, intermedia y final respectivamente.

Palabras claves: Coeficiente K_c , láminas de riego, lisímetros de drenaje, tanque de evaporación

Hydric requirements for the beans cultivation variety Calima in Riobamba, Ecuador

ABSTRACT

The current research proposes defining the water requirements for (*Phaseolus vulgaris* var. calima) under the weather conditions of Riobamba County, Chimborazo province, Ecuador. For this, it was necessary to use a complete randomized block design with three treatments and three repetitions. Treatment 1, irrigation sheets determined by the drain lysimeter; treatment 2, irrigation sheets determined by the evaporation tank Type A; and treatment 3, irrigation sheets determined by the empirical calculation of the evapotranspiration of the crop. In addition, the crop coefficient values were also determined and adjusted for each phenological stage. The variables evaluated were days to emergency, flowering, sheathed and harvest, plant height, WRC, number of sheath, yield, and water footprint. The adjusted crop coefficient values (K_c) were 0,65, 0,96, 1,05, 0,86 for the first, intermediate, and final development stage respectively.

Keywords: K_c coefficient, irrigation sheets, drain lysimeters, evaporation tank water

INTRODUCCIÓN

El agua para riego en la agricultura es el uso que más agua demanda a nivel mundial, aproximadamente el 80% del agua destinada a todos los usos; el 25% de los recursos que son factibles de utilizar y el 9% del total de recursos hídricos. El riego contribuye con casi el 40% de la producción total de alimentos, aun cuando solamente el 17% de la tierra cultivada tiene acceso al riego, a nivel mundial. Según FAO (2017) en países en vías de desarrollo el consumo del agua para riego llega a ser el 95% de la disponibilidad del recurso en el país. 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.

Para evaluar la eficiencia en el uso del agua para riego en cualquier cultivo, es necesario conocer el volumen de agua que consumen las plantas en el proceso evapotranspiración y la cantidad de precipitación o de agua proveniente del riego que puede ser aprovechada en dicho proceso. Estimar estos componentes es muy difícil, debido a la cantidad de factores del clima, del suelo y de las plantas que influyen (Pereira et al. 2021).

Los Coeficientes de cultivo (K_c) permiten la proyección, control y programación del riego, ya que relaciona la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), con la evapotranspiración de referencia (E_{To}). Los coeficientes de cultivo (K_c), varían con el desarrollo vegetativo de la planta, clima y el sistema de riego utilizado.

El fréjol es uno de los granos más cultivados en el mundo y más demandado por la población. El fréjol seco forma el 0,90% de la producción nacional ecuatoriana, en los cultivos transitorios. En Ecuador, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2020), fueron sembradas 19 094 ha para fréjol seco y 7 591 ha para fréjol tierno. El rendimiento promedio registrado en el 2019 es de 6 141 hg ha⁻¹, muy por debajo de la media para América del Sur, la cual es de 11 231 hg ha⁻¹.

Una de las causas principales de los bajos rendimientos es la sequía. Es evidente la necesidad del riego, pero para hacerlo de manera correcta se deben determinar los requerimientos hídricos del cultivo. Por esta razón, el objetivo de este trabajo es definir los requerimientos hídricos del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Calima en Macají, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Campus Macají, cantón Riobamba, de la provincia Chimborazo, Ecuador.

El clima de la región está clasificado como estepa montano bajo. La ubicación geográfica está caracterizada por una latitud 2 821 m.s.n.m, latitud 1° 39' 18,82" S, longitud 78° 40' 39,99". Según datos ofrecidos por la Estación Meteorológica ESPOCH, la temperatura media de la región es 13,5°C y las precipitaciones son de 350 mm año⁻¹ con una humedad relativa del 66,4%.

Diseño experimental

Se trabajó con semilla de fréjol var. Calima. Para el estudio se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizado con tres tratamientos y tres repeticiones. Las dimensiones de la parcela experimental fueron 34 x 34 m. La siembra se realizó a una distancia de 0,30 m entre plantas y 0,60 m entre hileras con dos semillas por golpe. Cada tratamiento contó con tres parcelas experimentales de 100 m² de área, con una distancia entre parcelas de 2 m. Los tratamientos fueron:

- Tratamiento 1 (T1). Utilización de lisímetros.
- Tratamiento 2 (T2). Utilización de tanque de evaporación tipo A.
- Tratamiento 3 (T3). Aplicación de fórmulas empíricas de la FAO (Allen et al. 2006).

En T1 la lámina de riego se aplicó cuando el drenaje del lisímetro había cesado. En el caso de T2 y T3 las láminas de riego se aplicaron una vez que se hubo consumido el 25% del agua útil.

Para determinar la capacidad de campo se utilizó el método gravimétrico y la fórmula de García et al. (2017). De igual forma, se utilizó la metodología de León (2012) para determinar el porcentaje de humedad inicial. En función de estos valores se calibraron los tensiómetros en T2 y T3, y se comenzó a regar cuando los tensiómetros marcaban los 10 centibares, equivalente a 10,5% de humedad del suelo.

El riego se realizó a través del sistema de riego a goteo, de acuerdo con los tratamientos establecidos y al comportamiento climático. Para tal efecto se determinaron las ofertas y demandas del cultivo en tiempo real valiéndonos de la información de la estación meteorológica, lisimetría y desarrollo del cultivo. Cuando se produjeron precipitaciones se realizó una resta a la lámina a aplicar en cada tratamiento. El control de malezas se realizó de forma manual. Las aplicaciones fitosanitarias se realizaron utilizando productos preventivos (de contacto) o curativos (sistémicos), con la aparición de los primeros síntomas de plagas y enfermedades.

Para determinar la evapotranspiración de referencia (*E_{to}*) se utilizó la fórmula dada por León (2012): $E_{to} = E_v * K_p$ donde

E_{to}= Evapotranspiración de referencia (mm/día)

E_v= Evaporación acumulada (mm)

K_p= coeficiente de tanque clase A. datos climáticos: humedad relativa, velocidad del viento, barlovento (Estación Meteorológica ESPOCH)

Para determinar la evapotranspiración del cultivo (*E_{tc}*) de forma lisimétrica se siguió la metodología de Garay (2009), que responde a la fórmula: $E_{tc} = R - D$ donde:

R = Agua agregada por riegos o precipitaciones (mm)

D = Agua drenada durante el período de análisis (mm)

Para determinar la *K_c* se utilizó la fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samari (1985):

$$K_c = 0,01335 + 0,04099 * (\text{etapa del cultivo}) - 0,0004 * (\text{etapa del cultivo})^2$$

En el caso del método de lisímetros el ajuste de *K_c* se realizó de acuerdo a la metodología de León (2012), mediante la fórmula $K_c = E_{tc}/E_{to}$

Para la evaluación de las variables se tomaron 10 plantas al azar de cada parcela experimental. Las variables fueron:

- **Días a la emergencia:** cuando el 30% del total de las semillas emergieron.
- **Días a la floración:** cuando el 30% del total de las plantas tuvieron flores.
- **Días al envainado:** cuando el 30% del total de las plantas tuvieron vainas.
- **Días a la cosecha en verde:** cuando el 30% del total de las plantas tuvieron vainas listas para la cosecha en verde.
- **Altura de la planta:** la medición se realizó en cm desde la base del tallo hasta el ápice de la planta cada 15 días, este registro se obtuvo a partir de los 30 días después de la siembra (DDS).
- **Contenido relativo de agua (WRC):** se utilizó la metodología de Ekanayake (1993).
- **Número de vainas por plantas:** se contó directamente el número de vainas por planta.
- **Rendimiento de la parcela neta y por hectáreas:** se anotó el peso de la cosecha y se expresó en t ha⁻¹.

Para calcular la huella hídrica se utilizó la siguiente fórmula de FAO (2017):

$$HH = \frac{V}{R}$$

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 relación costo-beneficio descrita por López (2011):

$$\frac{R}{C} = \frac{IT}{CT}$$

Dónde:

R/C=Relación beneficio-costos

IT= Ingresos totales por venta del producto

CT= Costo total de producción

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Las precipitaciones en los meses en que se realizó el estudio oscilaron entre 6 mm en agosto y 60,5 mm en noviembre (tabla 1). FAO (2017) manifiesta que el requerimiento hídrico en el cultivo de fréjol varía de 300 y 362,9 mm para el total del periodo vegetativo. Este planteamiento demuestra que las precipitaciones no son suficientes para cubrir los requerimientos hídricos en el cultivo por lo que se debe recurrir al riego.

La humedad relativa en el mes de agosto es de 42,66% y en los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre varía desde 64,83% hasta 68,26% (tabla 1). Según FAO (2017), el óptimo desarrollo en el cultivo de fréjol se da en temperaturas que van desde 10 a 27°C y una humedad relativa entre 70 y 80%, por lo que la humedad relativa tampoco es suficiente para el óptimo desarrollo del cultivo.

Sin embargo, la velocidad del viento (tabla 1), entre 1,94 y 2,4 m s⁻¹, son favorables para el fréjol, según Hernández (2009). Los vientos de alta velocidad y duración causan daños al cultivo al provocar deshidratación de las partes áreas de las plantas.

Tabla 1. Precipitaciones, humedad relativa y velocidad del viento en los meses de duración del ciclo fenológico del fréjol

Meses	Precipitaciones (mm)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (m s ⁻¹)
Agosto	6	42,66	1,94
Septiembre	10,1	66,93	2,32
Octubre	41,2	68,26	2,37
Noviembre	60,5	67,03	2,15
Diciembre	42,1	64,83	2,4

Etapas fenológicas

Se determinaron cuatro fases fenológicas en el cultivo del fréjol (tabla 2): Etapa Inicial (E. Inicial), Etapa de desarrollo (E. Desarrollo), Etapa intermedia (E. Intermedia) y Etapa Final (E. Final). La etapa inicial del cultivo demoró 15 días en todos los tratamientos. Las restantes etapas tuvieron poca variación en cada uno de los tratamientos. Como resultado final se obtuvo que el ciclo total del cultivo fue de 119 días para T1, 126 días para T2 y 124 días para T3. Similares resultados fueron obtenidos por Curay (2019) en esta variedad y en otras también de fréjol en Ecuador.

Tabla 2. Duración de las etapas fenológicas y del ciclo total del cultivo en cada tratamiento

Tratamientos	Duración (días)				
	E. Inicial	E. Desarrollo	E. Intermedia	E. Final	Total
T1	15	32	21	51	119
T2	15	35	20	56	126
T3	15	33	21	55	124

Requerimientos hídricos en láminas de agua

La lámina de agua aplicada fue diferente en cada tratamiento y para cada etapa fenológica del cultivo del fréjol (tabla 3). La etapa fenológica que más agua demandó fue la final, incluso siendo ésta, la etapa que más agua recibió por precipitaciones. Chavarría et al. (2020) plantean que en las etapas iniciales los cultivos como el fréjol demandan menor cantidad de agua porque el área foliar es pequeña en comparación con las etapas de floración y fructificación. Esta mayor demanda de agua en las últimas etapas se debe a que es en este momento cuando se están formando los órganos reproductivos y el cultivo presenta mayor área foliar. Además, según Allen et al. (2006), cuando ocurren precipitaciones distribuidas durante el ciclo de la planta, se aumenta la humedad atmosférica afectando las necesidades hídricas de los cultivos.

También los tratamientos recibieron diferentes láminas de agua en función de las fórmulas aplicadas (figura 1). De esta forma, a T1 se le aplicó la menor cantidad de agua y T2 recibió la mayor cantidad de agua, lo que pudo provocar la diferencia, ya que la falta o insuficiencia de agua provocan un aceleramiento de la madurez (Hernández, 2009). Esto permitió que la duración del ciclo fenológico fuera menor en T1 (119 días) con respecto a T2 y T3 (126 y 124 días respectivamente)

Tabla 3. Requerimientos hídricos, láminas aportadas por riego y láminas aportadas por precipitación en cada etapa fenológica y en los tratamientos evaluados

Tratamientos	Requerimientos hídricos	Láminas aportadas por riego	Láminas aportadas por precipitación
		Etapa Inicial	
T1	33,13	27,13	6
T2	53,14	47,14	6
T3	10,55	4,55	6
		Etapa Desarrollo	
T1	62,51	32,71	29,8
T2	174,28	144,48	29,8
T3	88,05	58,25	29,8
		Etapa Intermedia	
T1	43,93	20,43	23,5
T2	97,64	74,14	23,5
T3	69,28	45,78	23,5
		Etapa Final	
T1	152,81	52,21	100,6
T2	289,9	175,4	114,5
T3	135,85	21,95	113,9

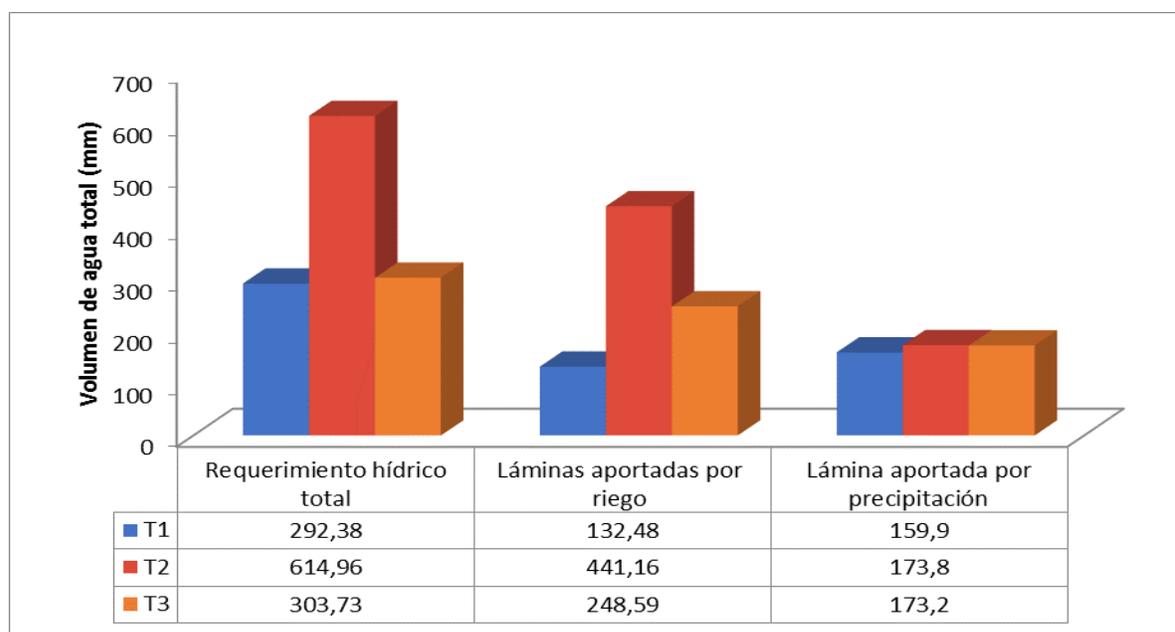


Figura 1. Volumen de agua total aportada a cada tratamiento

Coefficiente del cultivo (Kc) aplicado para el fréjol

Los valores de Kc obtenidos en T2 fueron superiores en todas las etapas fenológicas a los obtenidos por T1 y T3 (figura 2). En cuanto a T1 y T2 los valores obtenidos son similares en las etapas de desarrollo e intermedia, mientras que, en las restantes etapas son ligeramente inferiores

en T3 con respecto a T1. Estudios realizados por Pereira et al. (2021) con varios cultivos también encuentran similares diferencias entre el tratamiento de las formulas empíricas de la FAO y otros tratamientos. Los propios autores plantean que entre los diversos factores que afectan los valores de K_c , se encuentran: el sistema de riego y su efecto sobre la distribución de la humedad del suelo, y la frecuencia del riego y las precipitaciones. Por esta razón, las diferencias obtenidas en nuestro estudio pueden ser resultado de la lámina de riego aplicada en cada tratamiento.

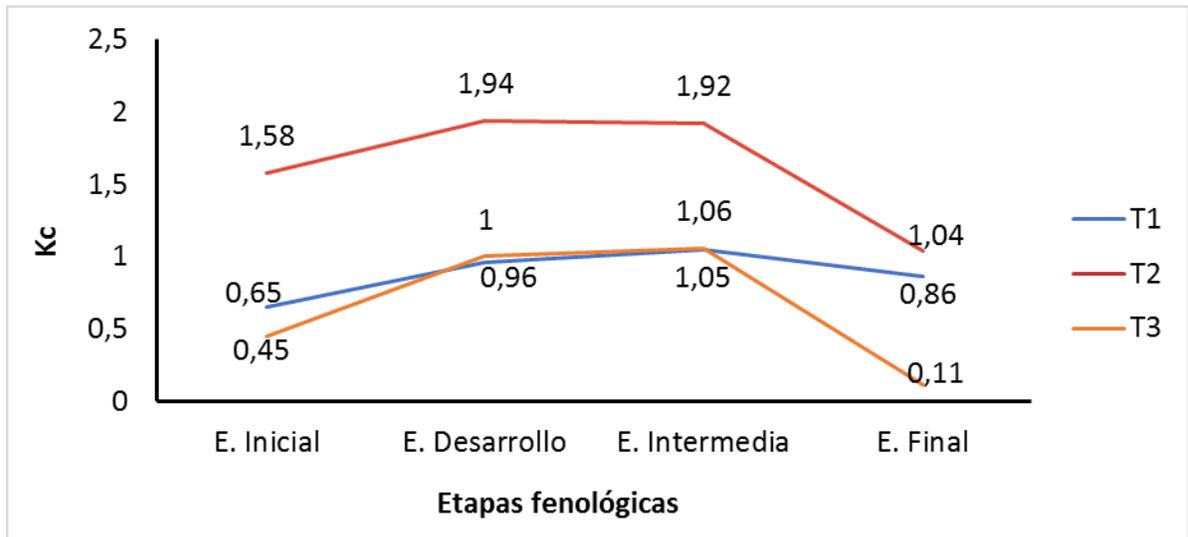


Figura 2. Coeficiente del cultivo (K_c) ajustada para cada tratamiento

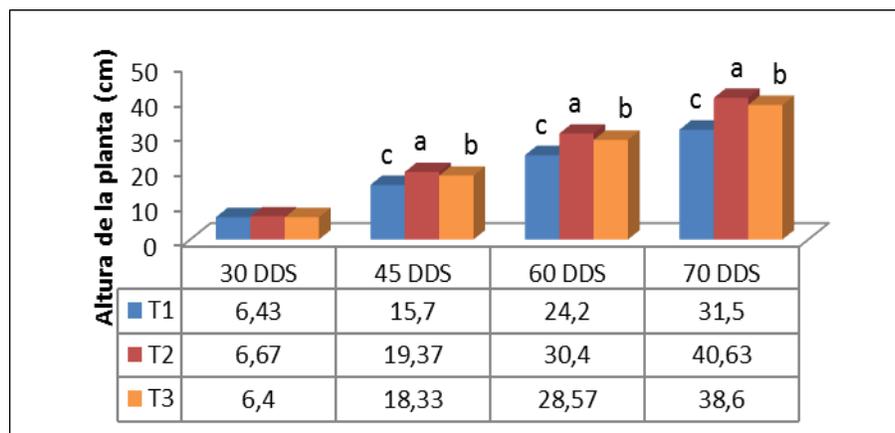
La segunda etapa, que coincide con el desarrollo vegetativo del cultivo, presentó valores medios de K_c con tendencia ascendente en todos los tratamientos (figura 2), debido a que en dicha etapa el cultivo genera una mayor demanda de agua para realizar dicho proceso. Según (González et al. 2017) las etapas más sensibles al déficit de agua en las leguminosas, conocidas como etapas críticas; son las etapas de desarrollo vegetativo, prefloración y llenado de vainas.

Los resultados encontrados (figura 2) podrían asociarse con los valores de K_c propuestos por la FAO (Allen et al., 2006) para el cultivo de fréjol; ellos proponen un K_c de 0,50 para la primera etapa, para la segunda fase un K_c de 1,05 y finalmente para la etapa final de desarrollo proponen un K_c de 0,90. Sin embargo, estos valores referenciados por Allen et al. (2006) son representativos de climas subhúmedos con una humedad relativa mínima promedio (HR min) de alrededor del 45% y con velocidades del viento suaves a moderadas, promediando 2 m.s^{-1} . Por tanto, los valores de K_c presentados por la FAO son útiles solamente como una guía general y para propósitos comparativos, de ahí la importancia de generar información local.

Variables evaluadas

La variable altura de la planta no presenta diferencias significativas a los 30 DDS (figura 3). Sin embargo, las restantes evaluaciones (a los 30, 60 y 70DDS) si presentan diferencias significativas entre los tratamientos. En cada caso, T2 presenta mayores valores que T1 y T3. Este resultado está influenciado por la lámina de agua aplicada a cada tratamiento, ya que T2 recibió la mayor cantidad de agua con respecto a T1 y T3, y los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas están sujetos a las variaciones de la humedad en el suelo según

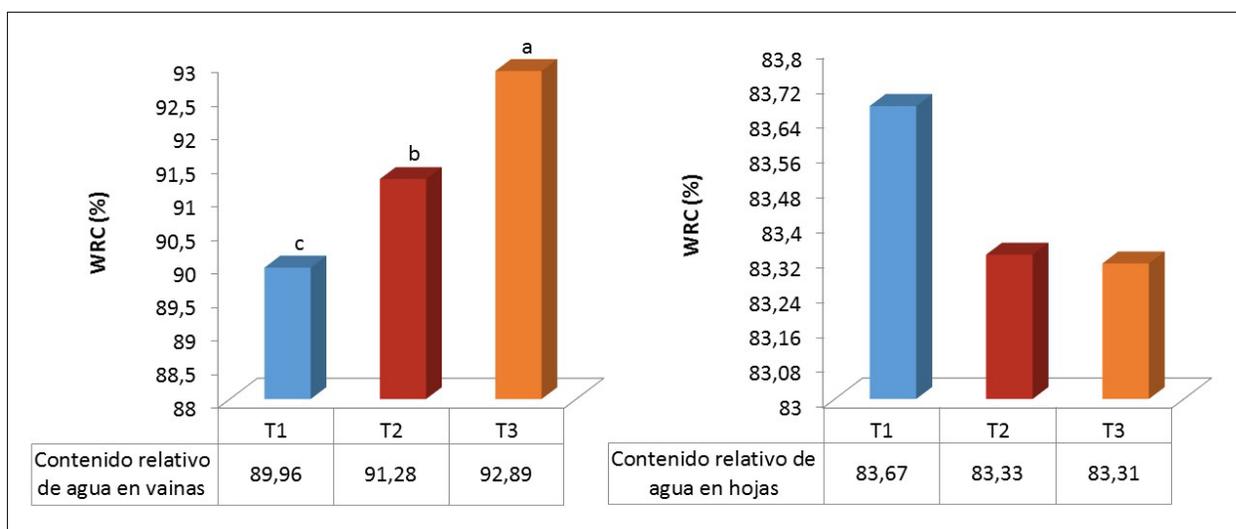
Hernández (2009). Además, el T2 recibió una mayor cantidad de agua en la Etapa de Desarrollo con respecto a los restantes tratamientos, lo que propició un mayor crecimiento de las plantas.



Letras diferentes en la columna difieren para $p \leq 0,05$

Figura 3. Altura de la planta en cada etapa fenológica y cada tratamiento

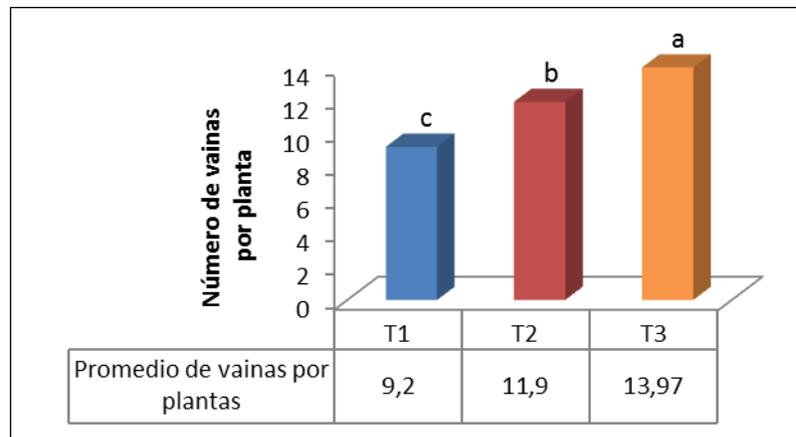
El contenido relativo de agua (*WRC*) presentó diferencias significativas entre los tratamientos cuando se evaluó en las vainas de la planta (figura 4), mientras que no presentó diferencias en las hojas de la planta. Los resultados de la variable *WRC* muestran que T3 presenta los mayores valores mientras que T1 presenta los menores valores. Debido a que el T1 recibió menor cantidad de agua es comprensible que presente los menores valores de *WRC*, sin embargo, los resultados no son tan evidentes en cuanto a T2 y T3. En este caso, T2 presenta menor *WRC* aunque recibió un mayor contenido de agua que T3. Este resultado puede estar influenciado porque T2 recibió una mayor cantidad de agua en la Etapa de Desarrollo que T3. Este último tratamiento recibió la mayor cantidad de agua en la Etapa Intermedia y la Etapa Final, que coinciden con la floración y el llenado de vainas. Resultados similares fueron obtenidos por López et al. (2011); González et al. (2017); Chavarría et al. (2019)



Letras diferentes en la columna difieren para $p \leq 0,05$

Figura 4. Contenido Relativo de Agua (WRC) en las vainas y las hojas en cada tratamiento

Los tres tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al número de vainas por plantas (figura 5). En esta variable también T3 presenta los mayores valores y T1 los menores valores. En este caso la explicación es similar a la de la variable altura y WRC. En este caso también es importante la etapa fenológica en la cual se aplicó la mayor cantidad de agua, de esta forma, en T3 la mayor cantidad de agua se aplicó en la etapa Final, que coincide con el llenado de las vainas. Por otra parte, T2 recibió la mayor cantidad de los tres tratamientos pero con un mayor por ciento en la Etapa de Desarrollo en comparación con T1 y T3, lo que favoreció la variable altura de la planta por encima de número de vainas.



Letras diferentes en la columna difieren para $p \leq 0,05$

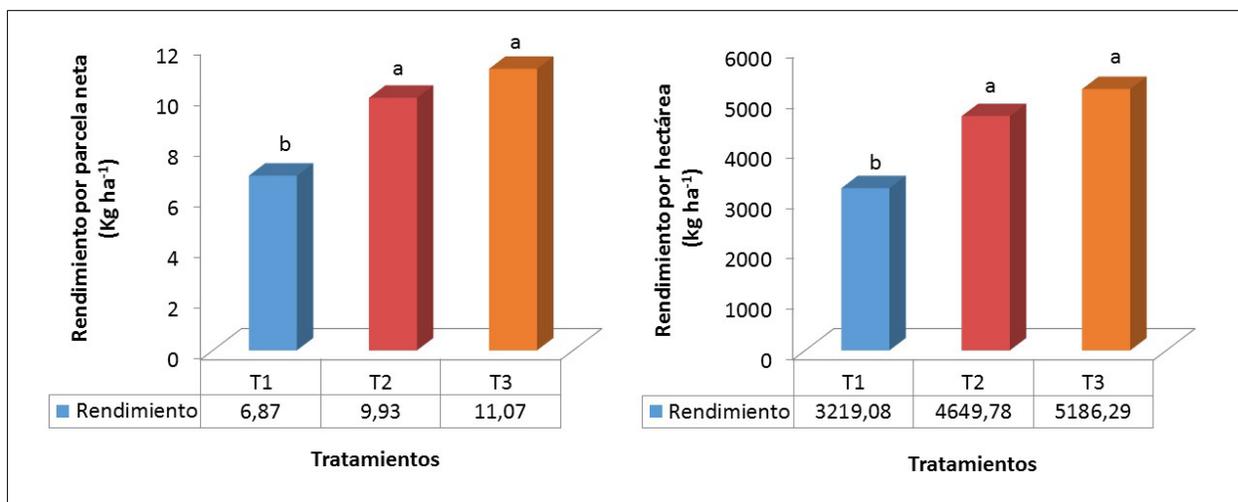
Figura 5. Número de vainas por planta en cada tratamiento

Rendimiento por parcela neta y por hectáreas

La variable rendimiento presentó diferencias significativas entre los tratamientos, tanto al evaluarse por parcela neta como por hectárea (figura 6). En ambos casos T2 y T3 presentan diferencias con respecto a T1. Este último tratamiento presenta los menores valores.

En esta variable es evidente la influencia de las diferentes láminas de agua aplicadas en los diferentes tratamientos. En este caso, T2 y T3 recibieron más riegos que T1 en las etapas fenológicas de Desarrollo e Intermedia, que coinciden con la prefloración y llenado de los granos. Según Peralta et al. (2010) los riegos en estas etapas son fundamentales para obtener buenos rendimientos y mayor calidad del grano.

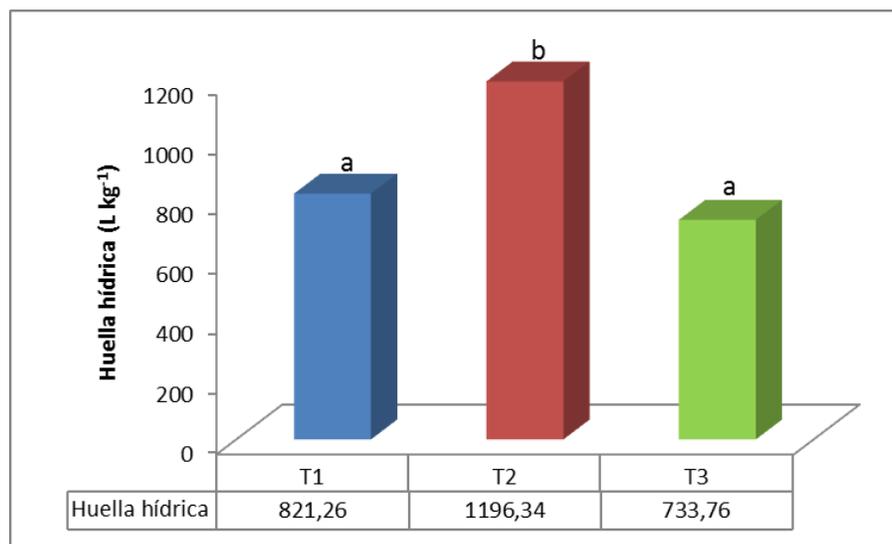
Sin embargo, a pesar de que el T2 recibió mayor contenido de agua no se evidencian diferencias significativas con T3. Esto puede estar determinado porque el aumento del consumo de agua por la planta, a partir del valor que genera mayor rendimiento, implica un decrecimiento de la productividad (González et al., 2017), lo cual demuestra la importancia de la aplicación a la planta de solo el agua necesaria para obtener su pleno desarrollo y máximo rendimiento.



Letras diferentes en la columna difieren para $p \leq 0,05$

Figura 6. Rendimiento por parcela neta y por hectáreas en cada uno de los tratamientos Huella hídrica

La huella hídrica fue superior estadísticamente en T2 con respecto a T1 y T3 (figura 7). Este resultado es consecuencia de la mayor lámina de agua aplicada a T2 con respecto a los restantes tratamientos.



Letras diferentes en la columna difieren para $p \leq 0,05$

Figura 7. Huella hídrica del cultivo del fréjol en los tres tratamientos

Análisis económico

En la presente investigación el tratamiento que presenta mayor beneficio neto es T3 con un valor de 3889,71 USD y una relación costo beneficio de 1,85 expresado en términos de rentabilidad de 85,05% (tabla 4). En el caso de T2 presenta un beneficio neto con un valor de 3 487,33 USD y una relación costo beneficio de 1,66 expresado en términos de rentabilidad de 65,91 %. Finalmente, T1 presenta el menor beneficio neto con un valor de 2 414,30 USD y una relación costo beneficio de 1,15 expresado en términos de rentabilidad de 14,86%

Tabla 4. Análisis económico costo beneficio por tratamiento

Tratamiento	Ingreso Total	Costo Total	B/C	Rentabilidad (%)
T1	2 414,30	2 101,96	1,15	14,86
T2	3 487,33	2 101,96	1,66	65,91
T3	3 889,71	2 101,96	1,85	85,05

CONCLUSIONES

Según la aplicación de agua el método más apropiado para determinar la lámina de riego en el cultivo de fréjol es mediante las fórmulas empíricas de la FAO ya que se obtiene un rendimiento total de 5186,29 kg ha⁻¹. Los valores de Kc mediante este método muestran valores similares a los obtenidos a través de la aplicación de los lisímetros. Además, este método obtiene la menor huella hídrica y la mayor rentabilidad de 85,05%. Teniendo en cuenta estos resultados, recomendamos la aplicación de este método para definir los requerimientos hídricos en el cultivo del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Calima en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

REFERENCIAS

- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M.** (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56, FAO, 298p. ISBN 92-5-304219-2, Rome, Italy.
- Chavarría J., Ugando M., Sabando A., Muños 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. Vol. 17, no.3, pp. 111-121. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11746>.
- Curay J.** (2019). Evaluación agronómica de tres variedades de Fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo las condiciones climáticas de la comunidad de Rumichaca del cantón Pelileo. Tesis para obtener el grado de ingeniera agrónoma. Universidad Técnica de Abato. 73 p.
- Ekanayake I.** (1993). CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. Lima - Perú.
- FAO.** (2017). Water for Sustainable Food and Agriculture-A report produced for the G20 Presidency of Germany, FAO, Rome, Italy, 33 p.
- 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 V. J., Huahuachampi J., Soto L.** (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium quinoa* Willd) en la Molina. Anales Científicos. Vol. 78, no.2, pp. 200-209. Lima, Perú, extraído de: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>. ISSN 2519-7398.

González O., Abreu B., Herrera M., López E. (2017) Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 26, no.1, pp. 70-77. ISSN -1010-2760.

Hargreaves G., Samani Z. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engenieric in Agriculture*. Vol. 1, no.2, pp. 96-99.

Hernández J. (2009). [Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de fréjol. San José, Costa Rica.](#)

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Ecuador, extraído de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/> en julio 2021.

León J. (2012). Riegos y drenajes. (1ª. ed.). Riobamba Ecuador: E – Copycenter, ISBN-978-959-285-007-1.

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 obtener el grado de Ingeniero en Agroempresas. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador, extraído de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1369/1/102391.pdf> en julio 2021.

López T., Herrera J., González F., Cid G. (2011). Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica. *Ingeniería Agrícola*. Vol. 1, no.2, pp. 41-47. ISSN: 2227-8761.

Peralta E., Murillo Á., Mazón N., Monar C., Pinzón J., Marco R. (2010). Control de plagas y enfermedades. Manual agrícola del fréjol y otras leguminosas. Ecuador, extraído de: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL-FRÉJOL-Y-LEGUMIN2010.pdf> en julio 2021.

Pereira L. S., Paredes P., Hunsaker D. J., López U. R., Mohammadi S. Z. (2021). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. *Agricultural Water Management*, vol. 243, no. 106466, pp.1-33, extraído de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106466> en agosto 21.

SENAGUA. (2017). Diagnóstico de las estadísticas del agua en el Ecuador. Secretaria Nacional del Agua, Ecuador, Extraído de: <https://silo.tips/download/diagnostico-de-las-estadisticas-del-agua-en-ecuador-informe-final> en julio 2021.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Juan Eduardo León Ruiz. <https://orcid.org/0000-0003-1379-8878>.

Lideró el proyecto de investigación. Formuló los objetivos de la investigación y redactó el manuscrito.

Vicente Javier Parra León. <https://orcid.org/0000-0002-7632-2474>.

Participó en las actividades de investigación y contribuyó en el análisis de los resultados.

Juan Sebastián Silva Orozco. <https://orcid.org/0000-0003-4271-8363>.

Responsable de supervisar y liderar la planificación y ejecución de las actividades de investigación. Contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos.

Robinson Fabricio Peña Murillo. <https://orcid.org/0000-0001-6196-4039>.

Participó en las actividades de investigación y en el análisis de los resultados. Participó en la propuesta de revista para publicar e hizo revisión crítica del manuscrito.

Daniel Arturo Román Robalino. <https://orcid.org/0000-0001-9172-3201>.

Participó en las actividades de investigación y contribuyó en el análisis de los resultados. Participó en la propuesta de revista para publicar