

Dose of irrigation and coefficient of the culture (Kc) in the production of bean (*Phaseolus vulgaris L.*) in Lima, Perú.

Cruz Pérez-Iriarte ^{*a} , Miguel Sánchez-Delgado ^a , Luis Razuri-Ramírez ^a ,
Antonio Enciso-Gutiérrez ^b 

^aPrograma de Maestría en Riego y Drenaje-Departamento de Recursos Hídricos de Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.

^bDepartamento de Recursos Hídricos de Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.



<https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i3.44>

Abstract.- The objective of this study was to evaluate the effect of three doses of irrigation and to determine the coefficient of culture (Kc) in the production of beans Canary Centenary. A design was used completely at random (DCA), with four repetitions and three treatments: T_1 (100 % of ETc), T_2 (80 % of ETc) and T_3 (60 % of ETc.). As far as the height of plant, diameter of stem, cases by plant, length of cases, weight of 100 grains and yield, did not register statistical differences in T_1 and T_2 , but the T_3 is different statistically from T_1 and T_2 . As soon as in the number of grains by case and productivity of water (WP) was not statistical difference between the treatments. It hydric deficit with 60 % of ETc affected all the variables of growth and yield, whereas the hydric deficit of 80 % of ETc did not affect the reproductive nor vegetative organs with a yield smaller than the T_1 , but with minimum differences, in this sense he concludes that the T_2 can be used satisfactorily since better productivity of the water with respect to T_1 and T_3 was obtained.

Keywords: Irrigation dose; Kc ; Canario Centenario bean; Etc; ETo.

Dosis de riego y coeficiente del cultivo (Kc) en la producción del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en Lima, Perú.

Resumen.- El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres dosis de riego y determinar el coeficiente de cultivo (Kc) en la producción del frijol Canario Centenario. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro repeticiones y tres tratamientos: T_1 (100 % de ETc), T_2 (80 % de ETc) y T_3 (60 % de ETc). En cuanto a la altura de planta, diámetro de tallo, vainas por planta, longitud de vainas, peso de 100 granos y rendimiento, no se registraron diferencias estadísticas en el T_1 y T_2 , pero si el T_3 es diferente estadísticamente del T_1 y T_2 . En cuanto en el número de granos por vaina y productividad de agua (WP) no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos. El déficit hídrico con el 60 % de ETc afectó todas las variables de crecimiento y rendimiento, mientras que el déficit hídrico del 80 % de ETc no afectó los órganos reproductivos ni vegetativos con un rendimiento menor que el T_1 , pero con diferencias mínimas, en este sentido se concluye que el T_2 se puede emplear satisfactoriamente ya que se obtuvo mejor productividad del agua con respecto al T_1 y T_3 .

Palabras clave: dosis de riego; Kc , frijol Canario Centenario; ETc; ETo.

Recibido: 20 de octubre, 2021.

Aceptado: 13 de diciembre, 2021.

1. Introducción

El desafío actual en la agricultura es aumentar los rendimientos utilizando menos cantidad de agua, especialmente en regiones con recursos limitados

de tierra y agua [1]. En Perú la costa desértica concentra el 70 % de la población y sólo cuenta con el 2 % de disponibilidad hídrica, donde el 80 % del recurso es utilizado en las actividades agrarias que se desarrollan sobre todo en la costa, lo que genera un grave problema de estrés hídrico [2].

El éxito del uso del agua para fines de riego depende de un conocimiento preciso de la demanda de agua del cultivo [3]. Por lo tanto, el Kc por cada fase de desarrollo, es fundamental para proyectar

* Autor para correspondencia:

Correo-e: cpereziriarte2@gmail.com (C.H. Pérez-Iriarte)

y manejar el riego, permitiendo el aumento de la productividad del agua y la optimización de los recursos hídricos y energéticos [4]. También, el riego deficitario es una técnica que tiene como objetivo aumentar la eficiencia del uso del agua para los cultivos mediante la reducción del volumen de agua de riego por medio de la reducción del número de eventos de riego [5].

La demanda de agua del cultivo de frijol depende de su fase de desarrollo, siendo el cultivo exigente en la fase de germinación y muy exigente en la fase de diferenciación floral, fructificación y llenado del grano [6]. El frijol es un cultivo susceptible, tanto al exceso de humedad como a su déficit durante su ciclo de desarrollo [7].

El frijol (*P. vulgaris L.*) es una de las especies de leguminosas de grano más importantes para el consumo humano, especialmente entre las poblaciones de las regiones menos desarrolladas [8, 9]. En el año 2017, el Perú ha cultivado un total de 65.985,0 has de leguminosas alimenticias, considerada como una de las actividades económicas de la pequeña agricultura familiar, con una creciente oferta exportable a más de 40 países. Las leguminosas que destacan como potencial exportable son el caupí, el pallar y del género *Phaseolus vulgaris L.* destacando el frijol canario [10].

La determinación del K_c mediante la combinación de parcelas de campo y lisímetros de drenaje permite la planificación y diseño de proyectos de riego y aplicaciones más racionales de agua [11]. Por otro lado, el riego deficitario es un potencial método para lograr una alta eficiencia en el uso del agua por diferentes cultivos [5].

Dado que las necesidades de riego del frijol no se han investigado lo suficiente en condiciones áridas de la costa peruana, se evaluaron tres dosis de riego en la producción del frijol Canario Centenario, además se determinó el K_c mediante lisímetro de drenaje, con el fin de obtener información necesaria que conlleve a obtener los requerimientos hídricos del cultivo en condiciones edafoclimáticas locales de La Molina, Lima, Perú.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Área Experimental de Riego (AER) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicada en el distrito La Molina y en la provincia de Lima, Perú. Geográficamente está a $12^{\circ}4'49,29''$ latitud sur y $76^{\circ}57'5,49''$ longitud oeste, a 235 metros de altitud. El periodo de evaluación de los tratamientos fue de octubre, a diciembre del año 2020 y enero del año 2021, las variables climáticas fueron monitoreadas a tiempo horario mediante la estación automática Rain Bird-Climate Minder. Las variables monitoreadas fueron las siguientes: temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, lo que permitió calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante el método FAO Penman-Monteith y la obtención de curvas características del comportamiento de cada variable a nivel diario y promedio mensual.

Las características hídricas del suelo se determinaron con el método gravimétrico, la densidad aparente del suelo con el método anillo volumétrico y el análisis físico-químico del suelo y agua se realizó en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola-UNALM. Las muestras de suelo se colectaron a una profundidad de 0,25 m. La Figura 1 presenta los equipos y materiales más relevantes utilizados durante la investigación.

Los tratamientos fueron en función de la evapotranspiración de cultivo (ET_c): 100 % de ET_c (T_1), 80 % de ET_c (T_2) y 60 % de ET_c (T_3), el déficit hídrico se inició a partir de los 15 días después de siembra (DDS) hasta la cosecha. La ET_c se determinó mediante la ET_o diaria afectado por un K_c de la FAO (K_c inicial 0,5; K_c medio 1,05; K_c Final 0,90), luego se calculó la lámina neta de riego (dn) a través de la ecuación (1):

$$dn = (ET_o \cdot K_c) - Pe \quad (1)$$

El requerimiento de lixiviación (RL) se determinó tomando en cuenta la conductividad eléctrica del agua de riego (CE_{ar}) que fue de 0,72 dS/m), y la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CE_e) para un rendimiento del 100 % de



(a) Sistema de riego por goteo y tratamientos



(b) Sensor TDR



(c) Porómetro DECAGON



(d) Estación automática Rain Bird-Climate Minder

Figura 1: Equipos y materiales utilizados durante la investigación

1 mmhos/cm mediante la ecuación (2):

$$RL = \frac{CE_{ar}}{2(\max CE_e) \cdot 100} \quad (2)$$

La lámina bruta de riego (db) se calculó mediante la ecuación (3):

$$db = \frac{dn}{(1 - RL)Cu} \quad (3)$$

El tiempo de riego (Tr) se determinó mediante la relación de la lámina bruta (db) y la intensidad de aplicación del gotero ($I_{aplic.}$) a través de la ecuación (4):

$$Tr = \frac{db}{I_{aplic.}} \quad (4)$$

La intensidad de aplicación del gotero ($I_{aplic.}$) se calculó mediante la relación del caudal del gotero (q) y área de mojado del gotero (A) a través de la ecuación (5):

$$I_{aplic.} = \frac{q L/h}{A} \quad (5)$$

El monitoreo de la humedad del suelo se realizó con el sensor TDR 150 (Time Domain Reflectometry), calibrado con el método gravimétrico, las lecturas del TDR se registraron antes de suministrar la lámina de riego.

Se determinó el Kc por etapa fenológica mediante el método de la FAO, para lo cual se utilizó un lisímetro de drenaje HDPE (1 m; 1,20 m; 0,90 m), el que permitió obtener el valor de la ETc incógnita del balance hídrico según la ecuación (6):

$$ETc = R + P - D \pm \Delta SW \quad (6)$$

La lámina de riego (R), la precipitación (P), la lámina drenada (D) y la variación de humedad del suelo (ΔSW) se midieron en cada evento de riego. Luego, se procedió a obtener el valor del Kc mediante ecuación (7):

$$kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (7)$$

Para el establecimiento del cultivo se preparó el suelo con tractor utilizando el implemento de arado de discos, se marcó el área de cada parcela haciendo el levante de la cama de manera manual, se instalaron las cintas de riego Eurodrip con una descarga del goteo de 1 L h^{-1} a una distancia entre goteo de 0,30 m y 0,80 m entre laterales, el sistema de riego se calibró a una presión de trabajo de 1 bar y se determinó el coeficiente de uniformidad del riego. Se empleó un riego pesado para lavado de sales, cuando la humedad del suelo llegó a capacidad de campo se realizó la siembra a dos semillas por golpe y al siguiente día se aplicó el primer riego.

Se utilizó la fórmula de fertilización de 95 N; 48,98 P_2O_5 ; 75 K_2O ; 18,35 CaO; 7 MgO kg ha^{-1} respectivamente, que se aplicó a través del riego por goteo y que se distribuyó de acuerdo con la demanda del cultivo, con una frecuencia de fertirriego de una vez por semana. Se aplicó foliar a los 22 y 47 DDS, el control de plagas fue en combinación de control biológico (*Bacillus thuringiensis*), químico (Cipermetrina) y control etológico (Trampas amarillas), se aplicó fungicida (Mancozeb) para prevenir enfermedades. El control de malezas fue manual.

Se evaluó la conductancia estomática de acuerdo con el método de Vega [12], diámetro de tallo, número de vainas por planta, longitud de vainas, número de granos por vaina, peso de 100 granos, rendimiento, productividad del agua, la muestra de plantas por parcela fue de 20 plantas para todas las variables excepto para la conductancia estomática que fue de 3 plantas por el grado de dificultad del uso del equipo. También se determinó el contenido de proteína total por tratamiento.

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Las características de las parcelas fueron las siguientes: área de cada parcela ($12,5 \text{ m}^2$), número de surcos por parcela (3), longitud del surco (5 m), distancia entre surcos (0,80 m). Las variables se sometieron al análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$), se utilizó el Software SAS.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la comparación de medias de las variables evaluadas en la investigación. Los promedios con diferente letra son significativamente diferentes por prueba de medias de Tukey al 5 %.

Tabla 1: Comparación de medias, según prueba Tukey, de las variables evaluadas en la variedad de frijol Canario Centenario

Variables	Tratamientos y ciclo fenológico		
	$T_1=87$ días	$T_2=85$ días	$T_3=75$ días
Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	405,43 a	342,70 b	294,23 c
Altura (cm)	57,35 a	49,65 a	39,95 b
Diámetro de tallo (mm)	8,75 a	8,15 a	6,85 b
Número de vainas por planta	35,10 a	32,10 a	19,88 b
Longitud de vainas (cm)	11,95 a	11,55 a	10,28 b
Número de granos por vaina	4,70 a	4,65 ab	4,13 b
Peso de 100 granos (g)	46,38 a	46,28 a	40,49 b
Rendimiento (kg ha^{-1})	3,405.1 a	3,013.0 a	1,677.0 b
Productividad del agua (kg m^{-3})	0,90 a	1 a	0,83 a

T_1 : 100 % de ETc; T_2 : 80 % de ETc; T_3 : 60 % de ETc.

3.1. Resultados de las variables climáticas

Se presentó una temperatura mínima de $14 \text{ }^\circ\text{C}$ en el mes de noviembre y una máxima de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ en enero; la temperatura mínima se presentó en la etapa de desarrollo, superior a la temperatura base $8 \text{ }^\circ\text{C}$ [13], con una tendencia de incremento alcanzando un valor de $28 \text{ }^\circ\text{C}$, superior a la temperatura máxima $24 \text{ }^\circ\text{C}$ [14], por lo que provocó una aceleración de la maduración del cultivo. Las lluvias fueron esporádicas, no afectando el balance hídrico, solo registró 0,40 mm en el mes de diciembre. La humedad relativa fluctuó entre 70 a 89 por ciento, se registró un rango de velocidad del viento que va desde $0,6$ a 2 m s^{-1} y la radiación solar (RS) fluctuó entre 6 a $21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Figura 2). La RS global está estrechamente relacionada con la variación en la evapotranspiración de los cultivos [15]. La ETo también fue variando en el transcurso del tiempo obteniendo una máxima de 4,29 mm en el mes de enero en la etapa de senescencia y una mínima de 1,69 mm en el mes de diciembre (Figura 3). La ETo total durante la investigación fue 268,2 mm equivalente a $2,682 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$.

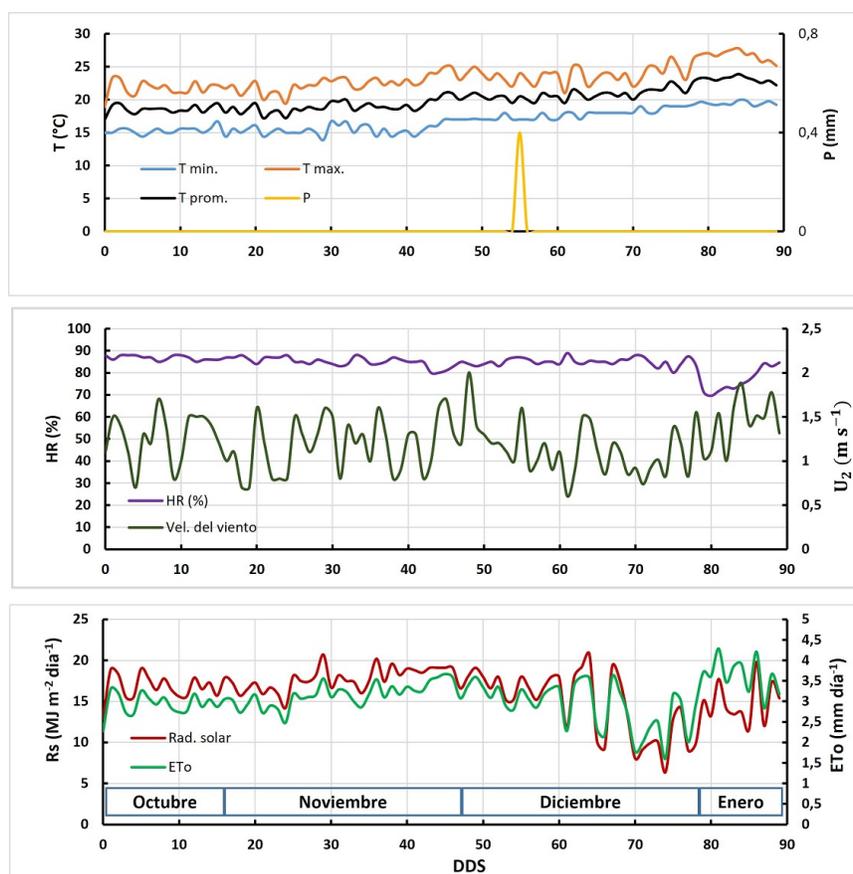


Figura 2: Variación temporal de las variables climáticas del 14/10/20 al 10/01/21

3.2. Resultados de las características físico-químicas del suelo y agua

El suelo es de textura franca con una densidad aparente de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, conductividad eléctrica (CE) de $1,20 \text{ dS m}^{-1}$, considerado un suelo ligeramente salino, moderadamente alcalino (pH 7,69), nivel bajo de materia orgánica (1,68 %), nivel alto de fósforo asimilable (45,47 ppm), alta disponibilidad de potasio (320 ppm), porcentaje de sodio intercambiable (1,53 %). Los parámetros hídricos; capacidad de campo (CC); 30,7 % (θ_v) y el punto de marchitez permanente (PMP) mediante la ecuación de Silva [16] fue de 15,3 % (θ_v). Se considera un agua con salinidad moderada y medio sódica clasificándose dentro del grupo C2-S1, pH (7,55), CE ($0,72 \text{ mmhos cm}^{-1}$), relación de absorción de sodio (RAS 1,95) y dureza del agua (24 ghf). Se considera agua apta para el riego de los cultivos. El coeficiente de uniformidad del riego fue de 98 %

3.3. Monitoreo de la humedad del suelo

La humedad del suelo volumétrica varió de 18,5 a 23,4 % (T_1); 17,1 a 21,3 % (T_2) y 11,1 a 20,3 % (T_3). El T_1 y T_2 mantuvieron la humedad del suelo dentro los límites de (CC y PMP), mientras que el T_3 si estuvo por debajo del PMP a partir los 15 DDS que se aplicó el déficit hídrico, por otro lado, la humedad del suelo en el lisímetro fue distinta esto debido que, al tratarse de un dispositivo introducido en el suelo, relleno con suelo del mismo terreno permite manejar la humedad con más precisión varió de 27,7 a 32,1 % (Figura 3).

3.4. Coeficiente de cultivo (K_c)

Los valores de K_c obtenidos en esta investigación para las etapas fenológicas; inicial (0,56), media (1,19) y final (0,81), son diferentes a los propuestos por la FAO y a los de Alla [17], quien mediante balance hídrico estimó el K_c para las mismas etapas fenológicas en tres especies de leguminosas; *P. vulgaris L.* (0,26; 1,08; 0,52),

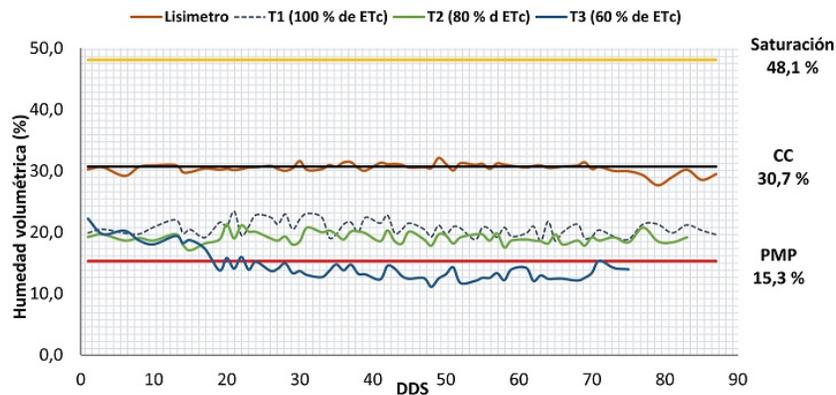


Figura 3: Monitoreo de la humedad del suelo con sensor de humedad TDR

Vicia faba L. (0,33; 1,22; 0,60, *Cicer arietinum L.* (0,20; 1,07; 0,52). Según López [18] las diferencias que muestran los valores de K_c se deben a las condiciones de manejo del cultivo, las características de la variedad de cultivo y las condiciones climáticas locales.

3.5. Conductancia estomática

En la conductancia estomática si existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos (Tabla 1) con un patrón de comportamiento similar (Figura 4), durante los primeros 35 DDS los tres tratamientos estuvieron dentro de un rango de transpiración de lujo (300 a $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), cuando el cultivo inició la floración, la conductancia estomática disminuyó manteniéndose dentro de un rango óptimo (200 a $300 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), excepto el T_3 que ligeramente presenta un estrés leve a los 55 DDS, los valores se incrementan nuevamente sobrepasando el rango óptimo a los 55 a 68 DDS, esto posiblemente a las variaciones del clima y de las propiedades del suelo como lo menciona Vega [12].

El comportamiento de la conductancia estomática en condiciones de déficit hídrico impuesto por la suspensión de riego depende del cultivar [19]. Por consiguiente, este comportamiento está asociado posiblemente a que las plantas manifiesten un mayor control estomático de las pérdidas de agua por transpiración. Este control estomático, es un fenómeno de suma importancia para las plantas, debido a que permite evitar la deshidratación y asegurar la entrada del CO_2 [20].

3.6. Altura de planta

En cuanto a la variable de altura de planta la prueba estadística confirma que no existe diferencia en el T_1 y T_2 mientras que el T_3 si es diferente, el mejor crecimiento se obtuvo en el T_1 (Tabla 1). Los hallazgos de Ntukamazina [21] demuestran que la disminución de la altura de la planta de frijol inducida por el estrés hídrico en las plantas jóvenes podría deberse a la reducción del estado hídrico de la planta, lo que reduce el alargamiento de los brotes y la expansión de las hojas, junto con una actividad de fotosíntesis reducida que conduce a la inhibición del crecimiento de la planta.

3.7. Diámetro de tallo

El mayor diámetro se obtuvo en el T_1 (8,75 mm), luego el T_2 (8,15 mm) y en menor proporción el T_3 (6,85 mm), aunque las diferencias son mínimas. Según los resultados estadísticos el diámetro de tallo es similar en el T_1 y T_2 mientras que el T_3 si es diferente estadísticamente del T_1 y T_2 (Tabla 1).

3.8. Número de vainas por planta

Los resultados estadísticos comprueban que la producción de vainas de las plantas de frijol es similar en el T_1 (35,10) y T_2 (32,10), mientras que el T_3 (19,88) si es diferente significativamente del T_1 y T_2 (Tabla 1). Reyes-Matamoros y Rueda-Luna [22] dice que la producción de vainas esta intrínsecamente relacionada con el rendimiento, un estrés severo puede afectar directamente a nivel general toda la planta, pero un estrés hasta cierto estado vegetativo puede estimular la producción

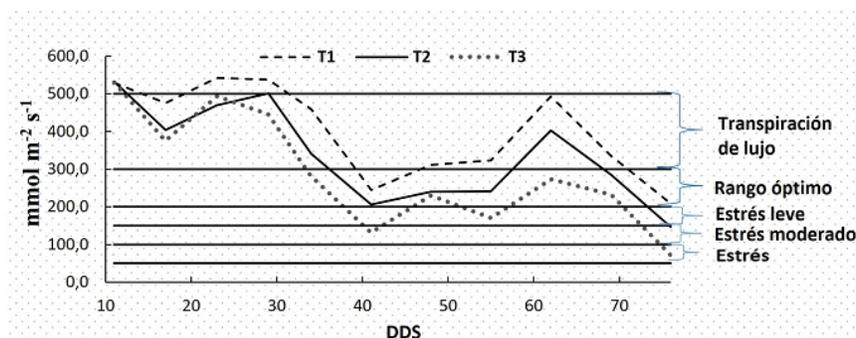


Figura 4: Comportamiento de la conductancia durante la investigación

de vainas y por ende el rendimiento. Polón-Perez [7] afirma que, al someter al cultivo de frijol a un estrés de agua en la fase vegetativa se incrementa el rendimiento en granos, el número de vainas por planta, sin embargo, Dell [23] indica que un déficit hídrico afecta directamente el número de vainas. Por lo tanto, el déficit hídrico si influye en la producción de vainas en el frijol Canario Centenario.

3.9. Longitud de vainas

En la longitud de vainas se demuestra que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos T_1 (11,95 cm) y T_2 (11,55 cm), mientras que el T_3 (10,28 cm) si es diferente significativamente del T_1 y T_2 , aunque con diferencias mínimas (Tabla 1). Los hallazgos de Abebe [24] en el noroeste de Amhara sobre judías verdes en Etiopía son inferiores a los obtenidos en esta investigación, donde informa que la longitud de vaina más baja (8,07 cm) y la más alta (8,6 cm) de frijol rojo se obtuvieron a 50 y 100 % de ETC a intervalos de riego de 7 y 10 días, respectivamente.

3.10. Número de granos por vaina

Los resultados estadísticos demuestran que no hay diferencia significativa entre los tratamientos con respecto al número de granos por vaina, es decir, que el T_1 (4,70); T_2 (4,65) y T_3 (4,13) producen similar (Tabla 1). Estos resultados no coinciden con Estrada [8] y Dell [23], quienes afirman que el déficit hídrico si afecta directamente el número de granos por vaina.

3.11. Peso de granos secos

El peso de granos secos más alto se obtuvo en el T_1 , luego el T_2 y el menor peso se obtuvo en el T_3 , estadísticamente se comprueba que no hay diferencia significativa entre los T_1 y T_2 , mientras que el T_3 es diferente del T_1 y T_2 (Tabla 1). El peso de granos secos se ajustó a una humedad comercial del 14 %.

3.12. Rendimiento

Según los datos estadísticos se comprueba que el rendimiento del T_1 (3.045,1 kg ha⁻¹) y T_2 (3.013,0 kg ha⁻¹) es similar, mientras que el T_3 (1.677,0 kg ha⁻¹) si es diferente significativamente (Tabla 1). Polón-Pérez [7] afirma que, al someter al cultivo de frijol a un estrés de agua en la fase vegetativa se incrementa el rendimiento en granos y sus componentes con un uso más eficiente del agua respecto al tratamiento testigo (riego normal), sin embargo, Dell [23] encontró que el mejor rendimiento correspondió a las plantas de los tratamientos que recibieron mayor aporte hídrico. En otra investigación, Estrada [25] indica que el déficit hídrico afectó significativamente a las variedades en los indicadores ancho de las vainas, número de semillas por vainas, peso de semillas por planta y peso de 100 semillas; solo se vieron favorecidas las plantas tratadas con Azofert®(inoculador).

En La Molina-Perú reportó rendimientos del Canario Centenario 2,523 kg ha⁻¹ utilizando inoculación de cepas de *Rhizobium sp.* y 3,062 kg ha⁻¹ utilizando fertilización nitrogenada, los riegos fueron oportunos [26]. En Cholon, Huánuco-Perú, aplicando abono orgánico de oveja y

riegos oportunos, se obtuvo un rendimiento de $2.712,50 \text{ kg ha}^{-1}$ utilizando la variedad de frijol Canario [27]. Por lo tanto, queda en evidencia que la variedad Canario Centenario en déficit hídrico leve logra rendimiento aceptable con un buen manejo agronómico como un programa de fertirriego idóneo, preparación de suelo adecuado y un buen manejo integrado de plagas y enfermedades.

En un estudio de adaptación del frijol Canario Centenario en Luz de América, Ecuador se reportó un rendimiento de $1.960,0 \text{ kg ha}^{-1}$ [28] superior a $1.677,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (T_1) e inferior a $3.013,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (T_2) obtenidos en esta investigación con diferencias importantes. Estas diferencias posiblemente se atribuyan por la época de siembra, clima, manejo agronómico y variedad. Se puede afirmar que la variedad Canario Centenario responde al estrés hídrico con un 80 % de riego (T_2), aun así, con un el 60 % de riego (T_3) se obtuvo un buen rendimiento de $1.677,0 \text{ kg ha}^{-1}$ superior al promedio nacional de 1.140 kg ha^{-1} [29].

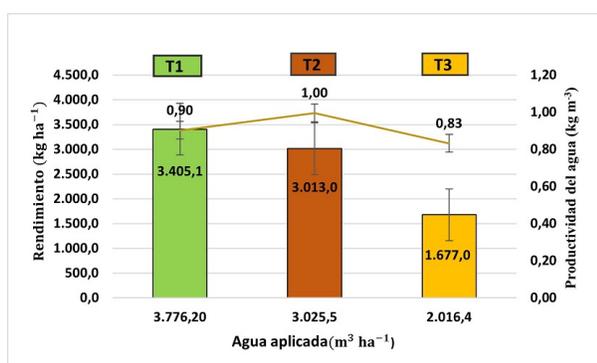


Figura 5: Rendimiento, agua aplicada y productividad del agua

3.13. Productividad del agua

La prueba estadística determinó que la productividad del agua entre los tratamientos es similar (Tabla 1 y Figura 5). Inzunza [30] encontró que los resultados mostraron que la mayor eficiencia de uso del agua del frijol se manifestó al desarrollarse bajo un régimen de humedad del suelo equivalente a irrigar al 59 y 61 % de la humedad aprovechable consumida del suelo con un valor de $0,232 \text{ kg m}^{-3}$ y un consumo de agua de 440 y 430 mm

respectivamente, en las dos etapas fenológicas estudiadas (siembra a inicio de floración y de inicio de floración a madurez fisiológica).

Ortiz y Larios [31] en sistema de riego por aspersion encontraron que la mayor productividad del agua en el frijol se obtuvo aplicando 298 mm y un rendimiento de 762 kg ha^{-1} , equivalente a $0,256 \text{ kg m}^{-3}$, también González [32] aplicó la tecnología de riego por aspersion y propone una productividad del agua de $0,22 \text{ kg m}^{-3}$; quienes indican que el principal factor que provoca la baja productividad del agua en el cultivo es la aplicación de agua en exceso.

Los resultados de Ortiz y Larios [31] y González [32] son similares, pero son inferiores a los obtenidos en esta investigación utilizando tecnología de riego por goteo, esto quiere decir que el sistema de riego empleado influye en la productividad del agua. Ríos [33] comenta que una de las estrategias para elevar la productividad del agua es la tecnificación y modernización del riego agrícola, que para el cultivo de frijol el sistema que mejor se adapta para aumentar la producción de frijol y elevar la productividad del agua, es el riego por goteo con una eficiencia de 97,9 %.

En condiciones edafoclimáticas de Vicoso-Brasil se encontró que la productividad hídrica del frijol en función de diferentes frecuencias de riego y densidades de siembra fue de $2,03 \text{ kg m}^{-3}$ [34], mientras que en Cuba indican rangos de valores de productividad agronómica del agua de 0,60 y $1,91 \text{ kg m}^{-3}$ respectivamente [35]. Se concluye que los valores de productividad de agua varían de acuerdo con la zona, manejo, cultivo, insumos externos o internos y todos los elementos que intervienen en el proceso de producción [31].

La mayor productividad de agua se obtuvo aplicando $3.025,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ que equivale a 302,55 mm (T_2), esto permite gestionar de forma oportuna el sistema de riego, disminuir la cantidad de agua y energía consumida y mejorar la asignación de agua en el sistema agrícola, a su vez, representa la eficiencia de transformación en un bien de consumo con la aplicación de menor volumen de agua al sistema como lo menciona Ortiz y Larios [31]. En términos generales se puede indicar que la productividad del agua representa el valor

económico del agua en la producción.

3.14. Contenido de proteína total

En relación con el contenido de proteína total todos los tratamientos tuvieron un contenido proteico similar; 23,25 % (T_1), 22,37 % (T_2) y 22,54 % (T_3), esto posiblemente ocurrió porque las plantas con déficit hídrico (80 % de ETc y 60 % de ETc) mantuvieron la actividad fisiológica normal porque se reportan rangos óptimos de 200-300 mmol m⁻² s⁻¹ de conductancia estomática, sin embargo, Faroot [36], dice que el estrés por sequía aumentó el contenido de proteína en granos, mientras que es estrés por calor disminuyó el contenido de proteína de grano. También Hummel [37] reportó que los niveles de proteína aumentan en los frijoles en condiciones de estrés hídrico.

Ardakani [38] informa que la mayor cantidad de proteína de grano en el tratamiento del estrés hídrico en la etapa reproductiva en un 23,21 % y la menor cantidad de proteína de grano se observó en el tratamiento control en un 21,87 %. Parece que el aumento de proteína de grano en condiciones de estrés hídrico se asocia con el aumento de la proporción de proteína a almidón en el grano. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los rangos (19 % y 25 %) obtenidos en estudios efectuados en México [39], también valores promedios que indican en Latinoamérica (20 %), cuyos valor es ligeramente inferior [40], así mismo a nivel general las fuentes bibliográficas reportan rangos (20-25 %) parecidos de contenido de proteína [41]. Las variaciones de contenido de proteína existirán debido a las características típicas de la variedad, así como también de las condiciones edafoclimáticas y del manejo.

4. Conclusiones

Se puede afirmar que al someter al cultivo a un estrés hídrico a partir de la etapa fenológica inicial en la variedad de frijol Canario Centenario, disminuye el rendimiento, crecimiento y desarrollo vegetativo con respecto al tratamiento de riego normal (100 % de ETc), con una mejor productividad del agua en el T_2 (80 % de ETc). Se puede decir que el T_2 responde al déficit hídrico ya que

las diferencias fueron mínimas con respecto al T_1 . Los coeficientes del cultivo del frijol Canario Centenario según las etapas definidas por la FAO (Kc inicial, Kc medio y Kc final) fueron de 0,56; 1,19 y 0,81, respectivamente, bajo riego por goteo.

5. Referencias

- [1] Amanullahand, S. Khalid, F. Khalil, and Imranuddin., "Influence of irrigation regimes on competition indexes of winter and summer intercropping system under semi-arid regions of Pakistan," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 8129, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65195-7>
- [2] T. Burstein-Roda, "Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública," *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 35, no. 2, pp. 297–303, 2018. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3641>
- [3] J. Da Silva, M. dos Santos, C. da Silva, W. de Oliveira, D. dos Santos, and L. Reis, "Evapotranspiração e coeficiente de cultura da cenoura irrigada no agreste alagoano," *Rev. Ceres, Viçosa*, vol. 65, no. 4, pp. 297–305, 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865040001>
- [4] R. Cun-González, C. Duarte-Díaz, y L. Montero-San José, "Evapotranspiración y coeficiente de cultivo de la lechuga (BSS-13) en condiciones de organopónico," *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 5, no. 2, pp. 10–15, 2015.
- [5] M. Abuarab, s. Hafez, M. Shahein, A. Hassan, M. El-Sawy, M. El-Mogy, and E. Abdeldaym, "Irrigation scheduling for green beans grown in clay loam soil under a drip irrigation system," *Water SA*, vol. 46, no. 4, pp. 573–583, 2020. <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i4.9070>
- [6] J. Flores-Pacheco, W. Lazo Sánchez, y J. Méndez-Sevilla, "Necesidades hídricas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) INTA rojo en condiciones del trópico húmedo de Nicaragua," *La Calera*, vol. 19, no. 32, pp. 16–23, 2019. <https://doi.org/10.5377/calera.v19i32.8436>
- [7] R. Polón-Pérez, M. Ruiz-Sánchez, A. Miranda-Caballero, and M. Ramírez-Arrebató, "Effects of Water Stress on Grain Yield in the Vegetative Phase of bean Cultivation (*Phaseolus vulgaris* L.)," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 26, pp. 66–70, 2017.
- [8] W. Estrada-Prado, A. Sosa-Rodríguez, Y. Maceo-Ramos, C. Cordoví-Domínguez, E. Jerez-Mompie, y M. Nápoles-García, "Respuesta de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la sequía utilizando diferentes índices de selección," *Cultivos Tropicales*, vol. 17, no. 3, pp. 78–84, 2016.
- [9] M. Prieto-Cornejo, J. Matus-Gardea, F. Gavi-Reyes, J. Omaña-Silvestre, J. Brambila-Paz, J. Sánchez-

- Escudero, y M. Martínez-Damián, “Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México,” *Fitotecnica Mexicana*, vol. 42, no. 2, pp. 172–182, 2019. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.2.173-182>
- [10] C. Silvera-Pablo, L. Ramos-Luna, L. Rosario Adrián, P. Gamarra-Losano, J. Julca-Heredia, y P. Zevallos-Huerto, “Respuesta a la fertilización potásica de tres variedades de frijol canario (*Phaseolus vulgaris* L.), bajo las condiciones climáticas de los Anitos- Barranca,” *Revista Investigación Agraria*, vol. 2, no. 2, pp. 18–26, 2020. <https://doi.org/10.47840/ReInA.2.2.840>
- [11] M. Daza-Torres, H. Meneses-Carvajal, A. Reyes-Trujillo, y N. Urrutia-Cobo, “Necesidades hídricas de estevia calculadas con el coeficiente del cultivo,” *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, no. 2, pp. 509–521, 2017. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.24354>
- [12] E. Vega-Ponce y J. Mejía-Marcacuzco, “Desempeño del *Phaseolus vulgaris* bajo riego parcial cultivado en un sistema de respuesta hidrogravitropica,” *Scientia Agropecuaria*, vol. 8, no. 2, pp. 137–147, 2017. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.06>
- [13] J. Barrios-Gómez y C. López-Castañeda, “Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol,” *AGROCIENCIA*, vol. 43, pp. 29–35, 2009.
- [14] H. Alemu, “Review Paper On Breeding Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Genotypes For Acidic Soil Tolerance,” *International Journal of Advanced Research and Publications*, vol. 1, no. 3, pp. 39–46, 2017.
- [15] D. De Oliveira-Mangarotti, R. Rezende, R. Saath, T. Hachmann, C. Salim-Lozano, y A. Andrade-Gonçalves, “Requerimientos de agua y coeficientes de cultivo de rúcula cultivada en un ambiente protegido,” *IDESIA*, vol. 37, no. 2, pp. 75–79, 2019. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200075>
- [16] M. Silva, *Resúmenes de investigaciones en quinua (Chenopodium quinoa Willd.) de la Universidad Nacional del Altiplano 1962-1999*. Universidad Nacional del Altiplano, 1978, ch. Evapotranspiración en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).
- [17] M. Alla Jabow, O. Ibrahim, and H. Adam, “Evapotranspiration and crop coefficients of grain legumes in semi- desert climatic conditions,” *African Crop Science Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 239–247, 2015.
- [18] J. López-Avenida, J. Rodríguez, J. Martínez-Gallardo, R. Lizárraga-Jiménez, y T. Diaz-Valdés, “Uso de FAO-56 y cintilómetro para estimar la evapotranspiración de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y sus componentes: evaporación del suelo y transpiración de la planta,” *Terra Latinoamericana*, vol. 37, pp. 141–150, 2019. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.393>
- [19] E. Acosta-Díaz, C. Trejo-López, L. Ruiz-Posadas, J. Padilla-Ramírez, y J. Acosta-Gallegos, “Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva,” *Terra Latinoamericana*, vol. 22, no. 1, pp. 49–58, 2004.
- [20] J. Dell Amico-Rodríguez y M. Morales-Guevara, “Comportamiento de la conductancia estomática de dos variedades de tomate cubanas en condiciones de campo y riego limitado,” *Cultivos Tropicales*, vol. 2, no. 8, pp. 137–144, 2017.
- [21] N. Ntukamazina, R. Onwonga, R. Sommer, C. Mukanuso, J. Mburu, and J. JRbyogo, “Effect of excessive and minimal soil moisture stress on agronomic performance of bush and climbing bean (*Phaseolus vulgaris* L.),” *Cogent Food & Agriculture*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, 2017. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1373414>
- [22] J. Reyes-Matamoros, D. Martínez-Moreno, R. Rueda-Luna, y T. Rodríguez-Ramírez, “Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero,” *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 1, no. 2, pp. 192–203, 2014.
- [23] J. Dell-Amico, D. Morales, E. Jerez, P. Rodríguez, I. Álvarez, R. Martín, y Y. Días, “Efecto de dos variantes de riego y aplicaciones foliares de PectiMorf® en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.),” *Cultivos Tropicales*, vol. 38, no. 3, pp. 129–134, 2017.
- [24] A. Abebe, A. Tsige, M. Work, and A. Enyew, “Optimizing irrigation frequency and amount on yield and water productivity of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in NW Amhara, Ethiopia: A case study in Koga and Ribb irrigation scheme,” *Cogent Food & Agriculture*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2020. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1773690>
- [25] W. Estrada-Prado, L. Chávez-Suarez, E. Jerez-Mompie, M. Nápoles-García, A. Sosa-Rodríguez, C. Cordiví-Domínguez, y F. Celeiro-Rodríguez, “Efecto del Azofert® en el rendimiento de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de déficit hídrico,” *Centro Agrícola*, vol. 44, no. 3, pp. 33–42, 2017.
- [26] H. Cántaro-Segura, A. Huaranga-Joaquín, y D. Zúñiga-Dávila, “Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Perú,” *IDESIA*, vol. 37, no. 4, pp. 73–81, 2019. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000400073>
- [27] H. Ferrer-Vilca y A. Valverde-Rodríguez, “Rendimiento del frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad canario con tres fuentes de abonos orgánicos en el distrito de Cholón, Huánuco-Perú,” *Revista de Investigación Agraria*, vol. 2, no. 3, 2020. <https://doi.org/10.47840/ReInA.2.3.901>
- [28] N. Guaman, T. Desiderio-Veral, A. Villavicencio, S. Ulloa-Cortázar, y S. Romero-Salgado, “Adaptabilidad de cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la parroquia Luz de América – Ecuador,” *Siembra*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2020. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1908>
- [29] W. Yzarra-Tito, J. Franco-Villafuerte, y S. Falcón-Cáceres, *Impacto de variabilidad y cambio climático en*

- el cultivo de frijol*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2017.
- [30] M. Inzunza-Ibarra, E. Catalán-Valencia, M. Villa-Castorena, R. López, y J. Muñoz-Villalobos, “Productividad del agua en frijol bajo déficit hídricos en el suelo,” *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 17, no. 2, pp. 11–118, 2017.
- [31] A. Ortiz-Aragón y R. Larios-Gonzales, “Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión,” *La Calera*, vol. 20, no. 35, 2020. <https://doi.org/10.5377/calera.v20i35.10302>
- [32] O. González-Cueto, B. Abreu-Ceballo, M. Herrera-Suárez, y E. López-Bravo, “Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol,” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 26, no. 1, pp. 70–77, 2017.
- [33] J. Ríos-Flores, M. Torres-Moreno, M. A. Torres-Moreno, y J. Cantú-Brito, “Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México,” *Ciencia Ergo Sum*, vol. 24, no. 2, pp. 152–163, 2017. <https://doi.org/10.30878/ces.v24n2a7>
- [34] s. Alves-Souza, J. Higino-Viera, D. dos Santos Farias, G. Da Silva, and C. Cabral-Aleman, “Impact of Irrigation Frequency and Planting Density on Bean’s Morpho-Physiological and Productive Traits,” *Water*, vol. 12, no. 2468, pp. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12092468>
- [35] F. González-Robaina, J. Herrera-Puebla, T. López-Seijas, y G. Cid-Lazo, “Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba,” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23, no. 4, pp. 21–27, 2014.
- [36] M. Farooq, M. Hussain, M. Usman, S. Faroot, S. Alghamdi, and K. Siddique, “Impact of Abiotic Stresses on Grain Composition and Quality in Food Legumes,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 1, no. 41, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02924>
- [37] M. Hummel, B. Hallahan, G. Brychkova, J. Ramirez-Villegas, V. Guwela, B. Chataika, E. Curley, P. McKeown, L. Morrison, E. Talsma, S. Beebe, A. Jarvis, R. Chirwa, and C. Spillane, “Reduction in nutritional quality and growing area suitability of common bean under climate change induced drought stress in Africa,” *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33952-4>
- [38] L. Ardakani, H. Farajee, and A. Kelidari, “The effect of water stress on grain yield and protein of spotted bean (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Talash,” *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, vol. 1, no. 9, pp. 940–949, 2013.
- [39] L. Pliego-Marín, J. López-Baltazar, y E. Aragón-Robles, “Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico,” *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, pp. 1197–1209, 2013.
- [40] Y. Mederos, “Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.),” *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 3, pp. 55–62, 2006.
- [41] N. Jamanca-Gonzales y J. Aliaga-Camarena, “Caracterización físico y sensorial de 8 variedades de la especie *Phaseolus vulgaris* L.” *Infinitum*, vol. 8, no. 1, pp. 51–61, 2018. <https://doi.org/10.51431/infinitum.v8i1.463>