



Recepción: 24/02/2019

Aceptación: 25/32/2019

Publicación: 05/04/2019



Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

“Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*)”

"Effect of three frequencies of drip irrigation in the production of bean (*Phaseolus vulgaris*)"

"Efeito de três frequências de irrigação por gotejamento na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*)"

Mario Francisco Játiva-Reyes ^I
mario.jaitiva@esPOCH.edu.ec

Jorge Gonzalo Rentería-Regalado ^{II}
jorge.renteriare@esPOCH.edu.ec

María Paulina Poma-Copa ^{III}
paulina.poma@esPOCH.edu.ec

Jorge Rodrigo Sivisaca-Caraguay ^{IV}
utic2014@hotmail.com

Correspondencia: mario.jaitiva@esPOCH.edu.ec

^I Magíster Scientiarum Agrariarum in Tropical and Subtropical Studies, Ingeniero Agrónomo, Docente Escuela Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

^{II} Especialista en Riego Comunitario Andino, Magíster en Riego Comunitario Andino, Ingeniero Agrícola, Docente Escuela Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

^{III} Magíster en Calidad, Seguridad y Ambiente, Ingeniera Química, Docente Escuela Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

^{IV} Magíster en Riego, Ingeniero Civil, Investigador Autónomo, Docente Escuela Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

Resumen

La presente investigación se efectuó en el sector Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, perteneciente al cantón Catamayo, provincia de Loja. El objetivo general fue contribuir a la tecnificación del riego, para un uso eficiente de recurso hídrico y mejoramiento de la producción de los cultivos. Los objetivos específicos fueron: Determinar la frecuencia de riego óptima para el cultivo de fréjol, según la evaporación del tanque evaporímetro Clase A; y, validar un tanque evaporímetro no tradicional (artesanal) para el manejo tecnificado de riego por los agricultores. El modelo estadístico fue mono factorial con distribución de bloques al azar, con tres tratamientos y cuatro repeticiones bajo riego por goteo. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: tratamiento 1, frecuencia de riego diario; tratamiento 2, frecuencia de riego cada dos días; y tratamiento 3, frecuencia de riego cada tres días. El coeficiente de ajuste entre el tanque evaporímetro artesanal y el Clase A es de 1,001 con un coeficiente de correlación $R = 0,946$. El factor de ajuste entre el pluviómetro estándar y el artesanal es de 1,069 con un coeficiente de correlación $R = 0,998$; lo que permite validar los dispositivos artesanales implementados en el ensayo experimental y por ende recomendar su uso.

Palabras claves: Tecnificación del riego; recursos hídricos; cultivo del fréjol.

Abstract

The present investigation was carried out in the Togueros sector, San Pedro de la Bendita parish, belonging to the canton of Catamayo, province of Loja. The general objective was to contribute to the technification of irrigation, for an efficient use of water resources and improvement of crop production. The specific objectives were: To determine the optimum irrigation frequency for the bean crop, according to the evaporation of the Class A evaporimeter tank; and, validate a non-traditional (artisanal) evaporimeter tank for the technified management of irrigation by farmers. The statistical model was mono-factorial with random block distribution, with three treatments and four repetitions under drip irrigation. The treatments applied were the following: treatment 1, frequency of daily watering; treatment 2, irrigation frequency every two days; and treatment 3, irrigation frequency every three days. The coefficient of adjustment between the artisan evaporimeter tank and Class A is 1.001 with a correlation coefficient $R = 0.946$. The adjustment factor between the standard and craft rain gauge is 1.069 with a correlation coefficient $R = 0.998$;

which allows to validate the artisan devices implemented in the experimental test and therefore recommend its use.

Keywords: Watering technology; water resources; bean cultivation.

Resumo

A presente investigação foi realizada no setor de Togueros, paróquia de San Pedro de la Bendita, pertencente ao cantão de Catamayo, província de Loja. O objetivo geral era contribuir para a tecnificação da irrigação, para um uso eficiente dos recursos hídricos e melhoria da produção agrícola. Os objetivos específicos foram: Determinar a frequência ótima de irrigação para o feijoeiro, de acordo com a evaporação do tanque evaporímetro Classe A; e, validar um tanque de evaporímetro não artesanal (artesanal) para o manejo tecnificado da irrigação pelos agricultores. O modelo estatístico foi monofatorial, com distribuição aleatória de blocos, com três tratamentos e quatro repetições sob irrigação por gotejamento. Os tratamentos aplicados foram os seguintes: tratamento 1, frequência de rega diária; tratamento 2, frequência de irrigação a cada dois dias; e tratamento 3, frequência de irrigação a cada três dias. O coeficiente de ajuste entre o tanque do evaporímetro artesanal e Classe A é de 1,001 com um coeficiente de correlação $R = 0,946$. O fator de ajuste entre o padrão e o pluviômetro artesanal é de 1,069 com um coeficiente de correlação $R = 0,998$; o que permite validar os dispositivos artesanais implementados no teste experimental e, portanto, recomenda seu uso.

Palavras-chave: Tecnologia de rega; recursos hídricos; cultivo de feijão.

Introducción

El agua que se destina a actividades agropecuarias aborda el 70% del total del agua dulce del planeta, es por eso que se debe tomar precauciones en el uso de la misma por la importancia que significa para los pueblos.

La mayoría de los productores en el Ecuador están haciendo agricultura basada en la experiencia empírica, que tienen en el manejo agronómico de sus cultivos, con técnicas de riego de baja eficiencia. Se estima que en promedio la eficiencia global de riego estaría por el 25% (Sánchez, 2007). La mayor parte de estas pérdidas ocurren a nivel parcelario y se evidencian en la

producción de los cultivos, debido a un suministro hídrico inadecuado que ocasiona estrés hídrico o anegamiento, disminución del crecimiento de los cultivos, lixiviación de nutrientes disponibles en el suelo; y, en consecuencia, un incremento en los costos y degradación del suelo.

Otra problemática que enfrenta el riego en el país, específicamente en la provincia de Loja, es el bajo nivel técnico que se usa: se estima que el 51% de la superficie regada aplica el agua a las parcelas por gravedad, ocasionando pérdidas del agua y de suelo; el 20% utiliza el riego por aspersión, el 2% por goteo y el 27% otro tipo de riego (CAMAREN, 2006).

UGALDE A. 2005, comparando cuatro sistemas de riego-fertilización N-P-K en fréjol (rodado-fertilización manual 40-40-0, aspersión-fertilización manual 40-40-0, goteo fertilización manual 40-40-0 y goteo-fertirriego 70-20-50), determinó que el mayor porcentaje de eficiencia en el uso de agua (97.9%) se obtuvo con el sistema de riego por goteo con la dosis 70-20-50 de N, P y K y fue el sistema más productivo y rentable con una tasa de retorno marginal de 151%,

De aquí la importancia en poder realizar investigaciones para motivar a nuestros agricultores a tecnificarse en el riego, en la cual es pertinente que las universidades e investigadores sean parte fundamental para en un futuro cercano lograr este objetivo; desde luego hace falta la decisión política y económica efectiva de las instituciones del Estado.

Para el uso adecuado del agua, a nivel parcelario, es necesario conocer los requerimientos hídricos de los cultivos para cuantificar los volúmenes de agua que se debe suministrar en su debido tiempo, es decir, la frecuencia de riego. El cálculo de requerimientos hídricos de los cultivos implica conocer una serie de factores, tanto edafoclimáticos como agronómicos, entre los cuales se puede citar: evaporación, precipitación, temperatura, humedad relativa, disponibilidad de nutrientes y características hidrofísicas del suelo. Para evitar implementar una estación meteorológica convencional que representan costos que no están al alcance de los agricultores, se realizó la validación y obtención de factores de ajuste entre: un tanque evaporímetro Clase A y un recipiente de evaporación de plástico color blanco; y, entre un pluviómetro estándar y un artesanal, dispositivos que permitieron obtener valores diarios de evaporación y precipitación en la zona de cultivo, mismos que fueron complementados con equipos de medición para obtener la temperatura media, humedad relativa media y velocidad de viento; contando con la información necesaria para realizar la determinación de la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o),

mediante la aplicación de los métodos indirectos. El cálculo de la evaporación de referencia se lo realizó mediante el método del tanque evaporímetro Clase A, implementado en el área de experimentación. Para tener mejores elementos de validación del tanque evaporímetro artesanal se realizó la determinación de ETo, por los métodos de Thornthwaite y Hargreaves.

Para determinar las láminas de riego, tiempos y volúmenes de aplicación del riego, se investigó diversas bibliografías -las más actualizadas y difundidas-, de las cuales se ha extraído las tablas y ecuaciones correspondientes; logrando de esta manera elaborar una metodología sencilla, de fácil aplicación por los agricultores, accesible; y, sobre todo técnica y práctica.

Con los resultados obtenidos se valida la metodología aplicada que bien puede ser asumida por los productores para mejorar la eficiencia de uso del agua y obtener mejores rendimientos en sus cultivos; y, por ende, incrementar sus ingresos.

Con la finalidad de comparar los rendimientos se procedió a auscultar la experiencia sobre el cultivo de fréjol de un agricultor, muy cerca de la parcela experimental y que además participó como agricultor experimentado en la investigación realizada. El suelo de características similares, bajo 3 riegos por goteo, con un programa de fertilización y control fitosanitario de acuerdo a su experiencia y con diferentes prácticas de suministro de las láminas de riego durante el ciclo fenológico del cultivo.

Esta investigación planteó contribuir al mejoramiento de la tecnificación del riego, para un uso eficiente del recurso hídrico y mejoramiento de la producción de los cultivos.

Al concluir la investigación se comprobó que la frecuencia de riego diario es la que permitió obtener mayor rendimiento de fréjol.

El uso de equipos artesanales tanto para evaluar la evaporación como la pluviosidad proporcionó valores similares que los equipos estandarizados.

Desarrollo

Principales enfermedades y plagas que se presentan en el cultivo de fréjol

Las enfermedades más comunes que se presentan en el cultivo de fréjol son las siguientes: Roya (*Uromyces appendiculatus*), Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), bacteriosis común (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*), añublo de halo o mancha de aceite (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*), mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*), mildiú polvoso o cenicilla (*Erysiphe polygoni*), ascoquita o mancha anillada (*Phoma exigua*), virus del mosaico común, pudriciones de raíz y nemátodos (INIAP,2010).

Las plagas más comunes que se presentan en el cultivo de fréjol son las siguientes: Trozadores (*Agrotys*sp), mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* B. *tabasi*), lorito verde o mosquilla (*Empoasca kraemeri*), barrenador de tallo y vainas (*Epinotia aporema*), arañita roja (*Tetranychus*sp), trips (*Thysanoptera: Thripidae*), gorgojo (*Acanthoscelides obtectus*) (INIAP, 2010).

En las tablas 1 se presentan los síntomas de las plagas y enfermedades más comunes del fréjol.

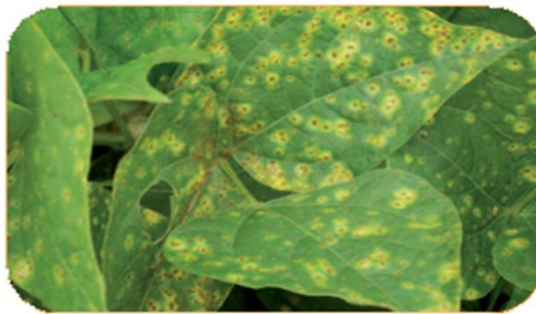
Tabla 1. *Plagas y enfermedades del fréjol comunes*



Mosca blanca o "palomilla"



Gorgojo



Roya



Antracnosis



Rhizoctonia solani



Fusarium solani



Fusarium oxysporum

Fuente: INIAP, (2010).

Riego por goteo

El riego por goteo consiste básicamente en aplicar el agua de riego en forma localizada en los cultivos que se siembran en hileras. Se adapta a diferentes tipos de cultivos, permitiendo un ahorro considerable de agua por su alta eficiencia. El sistema, como cualquier otro de este tipo, consta de tres unidades fundamentales:

- Cabezal de riego y filtros.
- Red de conducción y distribución.
- Emisores de riego.

Cabezal de riego

El cabezal de riego está constituido, en primer lugar, por la bomba que sirve para dar presión al sistema. También puede ser alimentado desde un reservorio aprovechando la energía del agua por el desnivel existente entre la fuente y el cabezal. En segundo lugar, en el cabezal se encuentra el equipamiento necesario para medir y controlar el caudal (válvulas volumétricas y de paso) y la presión de operación (manómetros y/o piezómetros).

En tercer lugar, aparecen los equipos de filtrado, elementos imprescindibles que tienen como función principal el impedir el taponamiento o la obturación de los emisores. Están constituidos por filtros de arena, de malla o por ambos, dependiendo del tipo de materiales contaminantes que contenga el agua de riego. Es importante subrayar la obligatoriedad de filtros en estos equipos, incluso si el agua proviene de pozos o vertientes.

Red de conducción y distribución

El sistema de conducción y distribución está conformado por una red de tuberías enterradas primarias, secundarias y -dependiendo del tamaño del equipo- terciarias y cuaternarias. Estas tuberías son, en su gran mayoría, de PVC, material de bajo costo y de fácil manejo.

La red primaria es la encargada de conducir el agua desde la fuente a la red secundaria, ésta a su vez a la red terciaria y finalmente hacia los emisores de riego.

Además, en el inicio de cada sector de riego se encuentra una válvula de regulación de flujo que puede ser manual de tipo compuerta o bien automática. Ambas de un diámetro equivalente a la tubería donde va inserta.

Desde las tuberías terciaria o secundaria emergen a la superficie las laterales o porta emisores a una distancia fluctuante, dependiendo del marco de plantación.

Emisores

El agua es distribuida sobre el terreno mediante una red de tuberías de polietileno de 8, 12 ó 16 mm de diámetro. Sobre o en la línea de polietileno se disponen los emisores llamados goteros (2, 4 y 8 l/h), a una distancia de 20 a 50 cm entre ellos, dependiendo especialmente de las condiciones de suelo y tipo de cultivo.

Los goteros dejan escapar el agua en forma de gotas, las que difunden en el perfil formando el bulbo húmedo.

Programación y manejo del riego

En la agricultura bajo riego es necesario optimizar el manejo del agua y aumentar la eficiencia de uso del recurso hídrico mediante un conjunto de procedimientos técnicos que brinden información necesaria para regar un cultivo con una frecuencia y tiempo óptimos.

El objetivo de la programación de riego es permitir decidir cuándo se debe regar y cuánta agua aplicar con el fin de cubrir las necesidades hídricas de los cultivos. Es preciso tener en cuenta que, gracias al desconocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos, se puede aplicar riego de manera incorrecta, ocasionando problemas fisiológicos, aumento de costos de agua y 19 fertilizantes y posterior contaminación de aguas subterráneas. En la medida en que se conozcan las respuestas del cultivo a ciertas cantidades de agua, la frecuencia de riego se utilizará con criterios técnicos y económicos, ahorrando agua en algunos períodos concretos del desarrollo de la planta (Cely, 2010)

Metodología

La investigación se efectuó en el sector Togueros, parroquia San Pedro de la Bendita, perteneciente al cantón Catamayo, provincia de Loja. El área experimental estuvo ubicada aproximadamente a 52 Km de la ciudad de Loja (figura 1).



Figura 1. Ubicación del área experimental

La parcela experimental tiene las siguientes características geográficas y climáticas:

Coordenadas UTM, WGS84:	Longitud 79° 25' 16'' (675298 E)
	Latitud 3° 56' 30'' (9564162 N)
Zona Geográfica:	17 Sur
Altitud:	1585 msnm
Temperatura media anual:	19°C
Clima:	Tropical - seco
Precipitación media anual:	378 mm

Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó fue mono factorial con distribución de bloques al azar, con tres tratamientos y cuatro repeticiones (figura 2). Los tratamientos fueron: frecuencia de riego diario (T1), frecuencia de riego cada dos días (T2) y frecuencia de riego cada tres días (T3). La Etc se determinó aplicando el método del tanque evaporímetro Clase A. La selección de las

frecuencias de riego se debió a que en el sitio de experimentación es una zona en la cual se presentan altas evapotranspiraciones.

El área experimental constó de:

Unidades experimentales (UE) = 12 (4 x 3)

Área útil de cada unidad experimental = 37.8 m² (9 m x 4.2 m)

Distancia entre unidades = 1.0 m

Distancia entre hileras = 0.8 m

Distancia entre emisores = 0.3 m

Área de experimentación = 453.6 m²

Variable independiente: Frecuencia de riego

Variable dependiente: Rendimiento del fréjol fresco en vaina

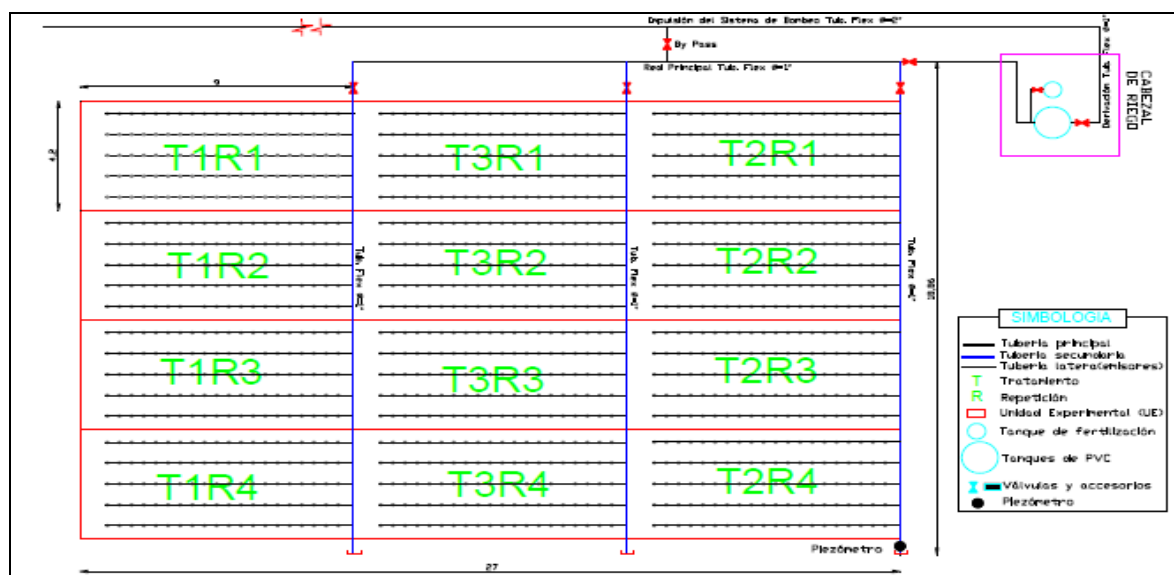


Figura 2. Esquema del diseño experimental

Análisis Estadístico

La forma de los bloques del ensayo experimental fue rectangular, en la orientación de cada bloque se consideró la homogeneidad del mismo. En este tipo de bloques es posible realizar el análisis de varianza (ANOVA). En los tratamientos descritos se evaluó el efecto de tres frecuencias de riego en la producción del cultivo de fréjol, como variable principal; por lo que se utilizó las fórmulas que se describe en el cuadro de análisis de varianza.

Tabla 2. *Análisis de Varianza*

Causa de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medio	F calculado
Repeticiones o bloques	$r - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{b} - \frac{y^2}{b * t}$	$\frac{S.C.REPET}{b - 1}$	$\frac{S.M.REPET}{C.M.ERROR}$
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{t} - \frac{y^2}{b * t}$	$\frac{S.C.REPET}{t - 1}$	$\frac{S.M.REPET}{C.M.ERROR}$
Error	$(t - 1)(b - 1)$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{t} - \sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{b} - \frac{y^2}{b * t}$	$\frac{S.C.REPET}{(t - 1) * (b - 1)}$	
Total	$(bt - 1)$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{b * t}$		

Fuente: Universidad José Carlos Mariátegui -Experimentación Agrícola- en el año 2009.

En el sistema de riego cada lateral dispone de 27 emisores, cada unidad experimental o repetición del tratamiento tiene 5 laterales, dando un total de 135 emisores por cada unidad experimental (UE). De los cinco laterales instalados dos cumplieron la función de efecto de borde y en las tres centrales se realizó el seguimiento al cultivo y el muestreo correspondiente. En cada lateral dos plantas del extremo fueron considerados para el efecto de borde.

Para determinar la fertilidad del suelo y constantes hidrofísicas del suelo, se procedió a tomar una muestra representativa del terreno, y el análisis se realizó en el laboratorio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (Agrocalidad), en Tumbaco-Quito, en la que se determinó la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, textura del suelo, pH, materia orgánica, nutrientes del suelo como: nitrógeno, fósforo y potasio. Para la densidad aparente se tomó una muestra no disturbada y se la remitió al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja.

El coeficiente de uniformidad (CUC), según Christiansen puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n Xi - \bar{x}}{n\bar{x}} \right] \times 100$$

Donde:

CUC = Coeficiente de uniformidad, %

X_i = Cada uno de los datos u observaciones realizadas, l/h

\bar{X} = Promedio de las observaciones realizadas, l/h

n = número de datos u observaciones

Las ecuaciones que sirvieron para determinar las láminas y tiempos de riego son las siguientes:

$$Lr = \frac{(CC - PMP) * Da * Pr}{100}$$

Donde:

Lr = Lámina de riego neta, mm

CC = Capacidad de campo, %

PMP = Punto de martichez permanente, %

Da = Densidad aparente, gr/cm³

Pr = Profundidad de la raíz, mm

La lámina bruta considerando un 90% de eficiencia de aplicación del riego por goteo tenemos:

$$Lb = \frac{Lr}{Ea}$$

Donde:

Lb = Lámina bruta, mm

Lr = Lámina neta, mm

Ea = Porcentaje de eficiencia de aplicación, decimal

El tiempo de riego se determinó con la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{Lb * Fr}{Ne * Qe} * 60$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego, min

Lb = Lámina bruta, mm

Fr = Frecuencia de riego, días

Ne = Número de emisores por metro cuadrado

Qe = Descarga del emisor, l/h

$$Ne = \frac{1}{Sl * Se}$$

Donde:

Ne = Número de emisores por metro cuadrado

Sl = Distancia entre laterales, m

Se = Distancia entre emisores, m

Según la FAO, publicación Nro. 56, sección Riego y Drenaje (Allen, 2006), se ha determinado que el color, el tamaño del tanque, el tipo de vegetación que le rodea tiene influencia significativa en el registro de datos de evaporación, por lo que se considera coeficientes de ajuste. La evapotranspiración de referencia (ET_o), se calcula como:

$$ET_o = ET * k_p$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia de un cultivo tipo. Depende solamente de las variables climáticas de la zona, mm/día.

ET = Evaporación del tanque clase A, mm/día

K_p = Coeficiente de tanque que se lo determinó de forma diaria

Evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración del cultivo, se obtiene con la siguiente ecuación.

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, mm/día

ET_o = Evapotranspiración de referencia de un cultivo tipo, mm/día

K_c = Coeficiente de cultivo. Depende del cultivo y de su etapa de desarrollo.

El coeficiente Kc del cultivo se obtuvo en base a los valores recomendados por la publicación Nro. 56 de la FAO (tabla 2), dichos valores fueron graficados para obtener la curva de Kc del fréjol (figura 4), de la cual mediante interpolación gráfica se ha obtenido los valores diarios de Kc para el ciclo fenológico del cultivo.

Tabla 3. *Valores de Kc para el fréjol, según FAO*

Fase	Fenología	Días después de la siembra	Kc
Inicial	Germinación	0	0.5
	Hojas foliadas	15	0.5
Desarrollo	Floración	40	1.05
Media	Vainas	65	1.05
Final	Maduración	75	0.9

Fuente: Allen, 2006

Según el Centro Internacional de Agricultura Tropical —CIAT, 1984 — se estableció las diferentes etapas del cultivo de fréjol, las misma se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. *Etapas fenológicas del cultivo de fréjol*

Fase	Etapas	Código	DDS
Vegetativa	Germinación	V0	0-5
	Emergencia	V1	5-7
	Hojas Primarias	V2	7-11
	Primera hoja Trifoliado	V3	11-16
	Tercera hoja Trifoliado	V4	16-23
Reproductiva	Prefloración	R5	23-32
	Floración	R6	32-36
	Formación de vainas	R7	36-44
	Llenado de vainas	R8	44-62
	Maduración	R9	62 -75

DDS = Días después de la siembra

Fuente: CIAT, 1984

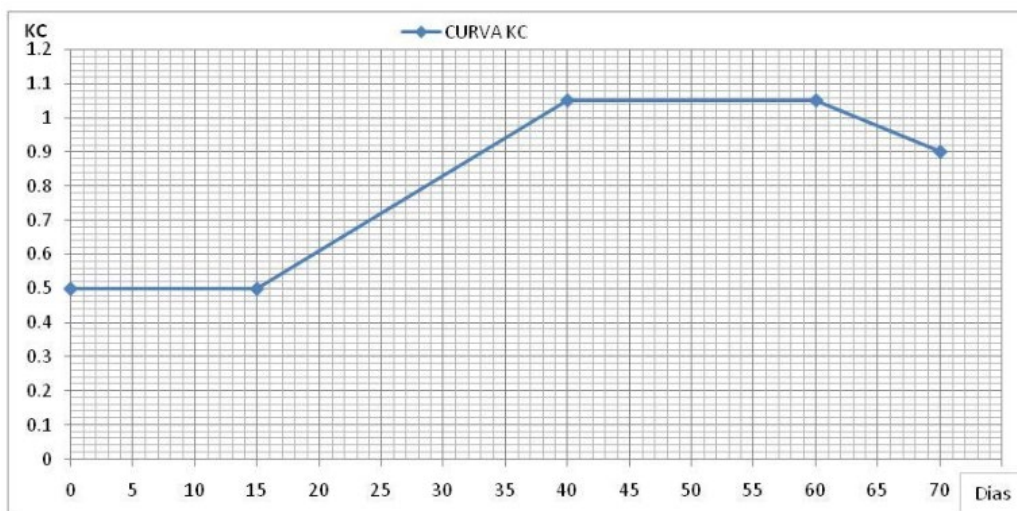


Figura 4. Curva de Kc según ciclo vegetativo del cultivo de fréjol

Determinación de la lámina de riego

La lámina neta de riego resulta de la siguiente ecuación:

$$L_n = E_{Tc} - P_e$$

Donde:

L_n = Lámina neta de riego, mm/día

E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo, mm/día

P_e = Precipitación efectiva, mm/día

$$P_e = \begin{cases} P/125 * (125 - 0.2P) & \text{Para } P < 250 \text{ mm/mes} \end{cases}$$

Finalmente, el volumen de agua aplicada por riego para cada tratamiento resulta de la expresión.

$$V_r = [Q_e / 60] * T_r * N_e$$

Donde:

V_r = Volumen de riego por tratamiento, l

Q_e = Caudal de cada emisor, l/h

Tr = Frecuencia de riego, min

Net = Número de goteros por tratamiento

Según Pedro Solís (2005), realizó el muestreo de 10 plantas de fréjol dentro de la parcela útil (unidad experimental) en cada uno de los tratamientos. Armijos y Ordoñez (2011), realizan un muestreo de 20 plantas al azar dentro de cada unidad experimental. En la presente investigación, para poder muestrear las variables del cultivo en igual número de plantas por tratamiento, se procedió a seleccionar seis plantas de las tres laterales o hileras centrales de cada unidad experimental, dando un total de 72 plantas por tratamiento.

Con el propósito de disponer valores de evaporación del tanque, utilizando recipientes de evaporación en el área experimental se ubicaron dos recipientes plásticos cilíndricos de color blanco de 20 l de capacidad, denominados tanques evaporímetros artesanales; y un tanque evaporímetro Clase A. Para contrastar la información registrada se registró las lecturas de los dos tipos de tanques de forma diaria a la 08H00.

Para obtener el coeficiente de ajuste, se procedió a graficar las evaporaciones en milímetros por día: en el eje de las abscisas los valores del tanque evaporímetro Clase A, y en la ordenada la evaporación del tanque artesanal.

Además, se realizó una comparación entre la evaporación potencial o de referencia, obtenida con el recipiente de evaporación y aquella obtenida con los métodos empíricos de Thornthwaite y Hargreaves.

Resultados y Discusión

Análisis de Suelo

De los análisis de laboratorio se obtuvo la siguiente información:

Capacidad de campo : 24,38%

Humedad equivalente : 25,81%

Punto de marchitez : 14,03%

Agua aprovechable : 10,35%

Textura del suelo : Franco – arcilloso – arenoso

pH : 7,61

CE (ds/cm) : 2,19 (ds/cm)

Materia orgánica : 3,41%

Nitrógeno Total, N : 0,17%

Potasio, K : 0,92 (cmol/kg)

Fósforo, P : 56,3 ppm

Densidad aparente: 1,60 gr/cm³

Información meteorológica

El resumen de esta información que ha sido registrada de forma diaria a la 8H00, para el período 02 de septiembre de 2012 al 30 noviembre del 2012, se presenta en el cuadro 1 y las figuras 20 a 22.

Tabla 5. *Información Meteorológica*

Parámetro	P (mm)	Et(mm)	ETA (mm)	H.R (%)	T (°C)	V (m/s)
Promedio diario	1.8	5.6	5.6	74	22	2

Fuente: Autor

Fertilización

En lo referente a los agroquímicos utilizados fueron los que generalmente utilizan los agricultores de la zona en razón de la disponibilidad de los mismos en los comercios locales. Para la dotación de nitrógeno se usó la urea (46-0-0) y para el fósforo y potasio, se usó K-Producción (0-40-58) y fosfato mono potásico (0-52-34). Se estableció dotar al cultivo 114 kg/ha de urea, 45,5 kg/ha de superfosfato triple. Con esta información se procedió a calcular la cantidad de nutrientes a suministrar al cultivo, en el área experimental, mediante ferti irrigación desde el cabezal de riego. La primera fertilización se realizó al inicio de la fase desarrollo del cultivo, se suministró 6 kg de urea + 0,5 kg de K-producción. Posteriormente, a mediados de la fase de desarrollo se suministró 3 kg de urea + 0,5 kg de Fosfato mono potásico.

Funcionamiento hidráulico del sistema de riego




El valor de la infiltración básica fue de 21,4 mm/h. Para que un sistema de riego por goteo funcione bien la intensidad de precipitación de emisor (gotero) tiene que ser menor o igual a la

infiltración básica, con la finalidad de evitar que se produzca encharcamiento en zonas planas y escorrentía en terrenos con pendiente. En el sistema de riego implementado en la parcela experimental cumplió con dicha condición ($5,0 \text{ mm/h} < 21,4 \text{ mm/h}$).

Los valores promedio de coeficiente de uniformidad obtenidos para los tres tratamientos fueron los siguientes: método de Christiansen 89% y método del cuarto inferior 87,3%, los mismos que son superiores al 80%, por lo que son aceptables según los dos criterios de uniformidad.

Las presiones determinadas fueron las siguientes: para el tratamiento 1, la presión mínima fue 1,5 mca y la máxima 1,8 mca; para el tratamiento 2, la presión mínima 1,8 mca y la máxima 2,2 mca; para el tratamiento 3, la presión mínima 2,7 mca y la máxima 3,3 mca. Del cálculo realizado se determinó que la variación de presión es de 20%, variación que es superior al 10% que generalmente se estima como satisfactorio; esto se debe básicamente a la diferencia de niveles existentes por la topografía del terreno, pero como se describió anteriormente el coeficiente de uniformidad en la descarga de los goteros fue aceptable.

Tabla 6. Prueba de descarga de emisores del ensayo experimental

Tratamiento 1	Presión de ingreso 1.5 mca, con cabezal	Tratamiento 3
	Tratamiento 2	
		
Q (lit/seg)= 0.00035	Q (lit/seg)= 0.00025	Q (lit/seg)= 0.00032
Q (lit/hr)= 1.3	Q (lit/hr)= 0.9	Q (lit/hr)= 1.2
		V (ml)= 3150

Tratamiento 1 Presión de ingreso 1.5 mca, con cabezal

Tratamiento 2 Tratamiento 3

$$Q \text{ (lit/seg)} = 0.00035$$

$$Q \text{ (lit/hr)} = 1.3 \quad Q \text{ (lit/seg)} = 0.00025$$

$$Q \text{ (lit/hr)} = 0.9 \quad Q \text{ (lit/seg)} = 0.00032$$

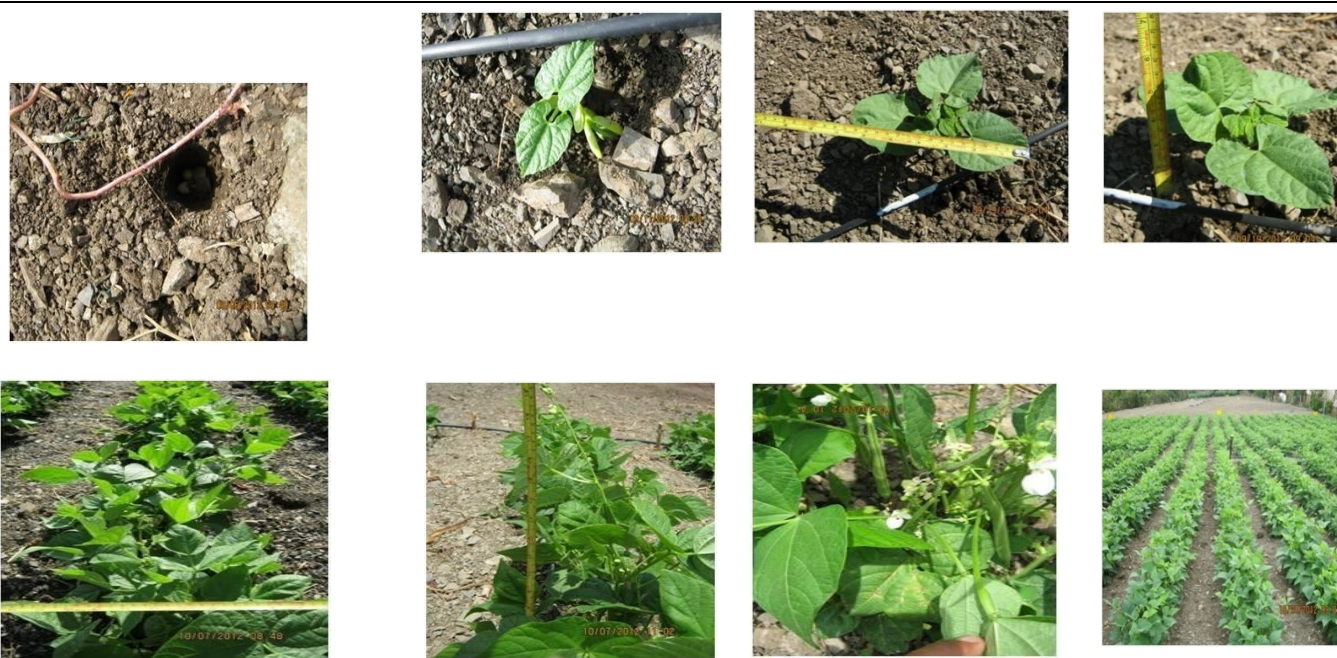
$$Q \text{ (lit/hr)} = 1.2$$

$$V \text{ (ml)} = 3150$$

Fenología del cultivo

A los tres días después de la siembra (DDS), se evidenció la germinación de las plantas y a los cinco días el apareamiento de las primeras hojas. Trece días después de la siembra se constató en la mayoría de las plantas la primera hoja trifoliada; registrándose la medición de la altura y ancho promedio de la cobertura foliar de las mismas.

Tabla 6. Germinación y aparición de las primeras hojas del cultivo



Fuente: Autor

Manejo del riego

En el cuadro 4 se resumen las láminas y tiempo de riego aplicado en cada una de las fases fenológicas del cultivo según los tratamientos. Como se observa las láminas aplicadas a cada tratamiento son iguales en cada fase fenológica del cultivo.

Los tiempos de riego fueron diferentes, debido a que las descargas de los emisores en cada uno de los tratamientos fueron también diferentes: tratamiento 1, $Q_e = 1,3$ l/h, tratamiento 2, $Q_e = 0,9$ l/h y tratamiento 3, $Q_e = 1,2$ l/h; esto debido a la diferencia topográfica del terreno.

La lámina total aplicada al cultivo fue 225,2 mm durante todo el ciclo vegetativo del cultivo; lo que representa un uso consuntivo total de 3,13 mm/día.

Tabla 7. *Calendario de riego*

ETAPA DEL CULTIVO	PERIODO	# DE DÍAS	Lámina bruta aplicada, mm Según tratamientos			Tiempo de riego aplicado, hr		
			Fr 1 día	Fr 2 días	Fr 3 días	Fr 1 día	Fr 2 días	Fr 3 días
Inicial	06-09 al 16-10	15	43.3	43.3	43.3	8.3	12	9
Desarrollo	22-09 al 16-10	25	97.3	97.3	97.3	18.7	27	20.3
Media	17-10 al 05-11	20	63.4	63.4	63.4	12.2	17.6	13.2
Final	06-11 al 17-11	12	21.2	21.2	21.2	4.1	5.9	4.4
SUMATORIA		72	225.2	225.2	225.2	43.3	62.5	46.9

Fuente: Autor

En la tabla 8 se resume los volúmenes de riego suministrado por hectárea en cada una de las fases fenológicas según los tratamientos; es evidente que el volumen de riego total aplicado es igual en todos los tratamientos.

Tabla 8. *Etapas del Cultivo*

ETAPA DEL CULTIVO	Vol. Agua aplicada, m ³ /ha		
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Inicial	433	433	433
Desarrollo	973	973	973
Media	634	634	634
Final	212	212	212
SUMATORIA	2252	2252	2252

Fuente: Autor

Efecto de la frecuencia de riego sobre el rendimiento del cultivo

El resumen de la producción promedio del muestro realizado de cada uno los tres tratamientos y sus correspondientes repeticiones - unidades experimentales (UE)- se presenta en el cuadro 6.

Tabla 9. Producción del cultivo del fréjol, Kg, en 453,6 m².

TRATAMIENTO	REPLICAS O REPETICIONES				SUMA	MEDIA TRATAM.
	1	2	3	4		
T1	2.71	2.71	2.98	3.05	11.45	2.86
T2	2.16	1.97	1.97	3.07	9.16	2.29
T3	1.99	1.65	2.24	2.11	7.99	2.00
SUMA	6.86	6.33	7.19	8.23	28.61	7.15
MEDIA	2.29	2.1	2.4	2.74	9.54	2.38

Fuente: Autor

Para las repeticiones, el Fcal es menor que Ftab (2,691 < 3,18), lo que determina que no hay diferencia entre las repeticiones. Para los tratamientos, el Fcal es mayor que Ftab, (9,783 > 4,3), lo que determina que si hay diferencia entre los tratamientos (cuadro 1).

Cuadro 1. Causas de Variación

CAUSAS DE VARIACIÓN	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fcal	F tab. 5%
REPLICA	3	0.64	0.213	2.691	3.18
TRATAMIENTO	2	1.551	0.776	9.783	4.3
ERROR	6	0.476	0.079		
TOTAL	11	2.667			

Fuente: Autor

Como la hipótesis nula planteada, fue que el rendimiento de fréjol es igual en las tres frecuencias de riego por goteo (tratamientos), y del análisis estadístico se determina que, si hay diferencia, por lo tanto, la hipótesis planteada se rechaza. La producción media obtenida por tratamiento se presenta en la figura 5 de la cual se concluye que la frecuencia de riego diaria produjo mejor rendimiento.

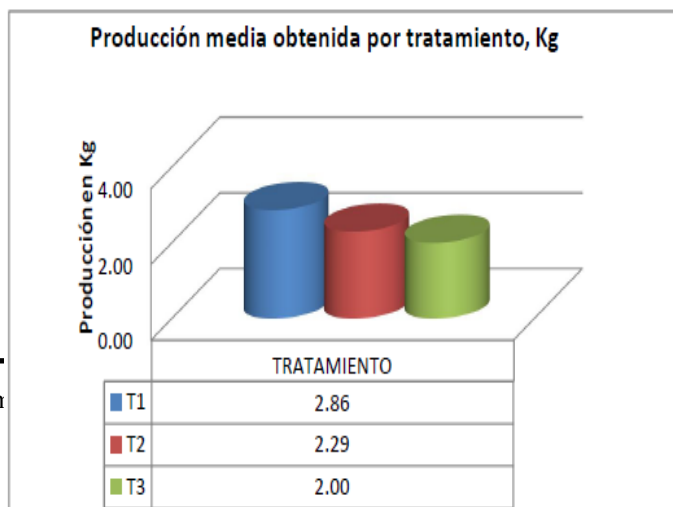


Figura 5. Producción promedio obtenida de cada uno de los tratamientos en Kg

En la presente investigación se obtuvo en promedio los siguientes datos del cultivo: días a la floración, 31; días a la cosecha en verde, 72; peso de 100 granos verdes, 109.8 gr; número de vainas por planta, 16,6; rendimiento promedio experimental de 8,4 ton/ha en vaina verde; de la cual se determina que las mencionadas variables agronómicas obtenidas en la presente investigación son superiores, debido a la técnica de riego que es la variable que se probó.

Validación de equipos meteorológicos artesanales

En la figura 6 existe buena correlación entre la evaporación del tanque Clase A y la evaporación del tanque artesanal. Del ajuste lineal realizado se obtuvo la siguiente ecuación de regresión con intersección en el origen y constante de correlación de $R=0,946$.

$$Y = 1.001 * X$$

Dónde:

Y = Evaporación en tanque evaporímetro artesanal, mm/día

X = Evaporación en tanque evaporímetro clase A, mm/día

1,001 = Factor de ajuste entre el tanque evaporímetro artesanal y la clase A

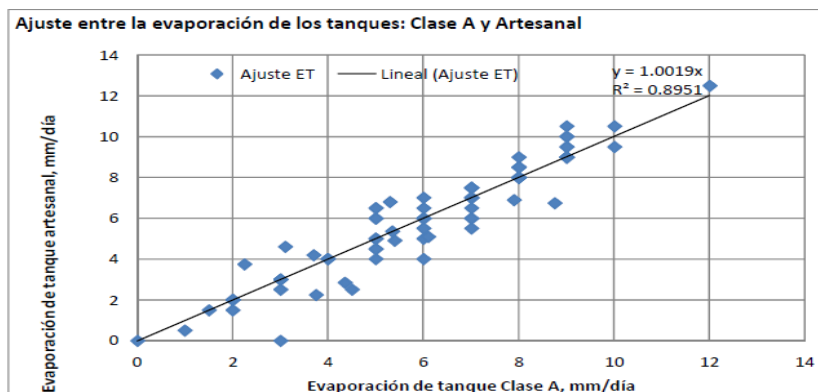


Figura 6. Correlación entre la evaporación de tanques: Clase A y la evaporación del tanque Artesanal.

Complementariamente se procedió a realizar el cálculo de la evapotranspiración potencial o de referencia por tres métodos: tanque evaporímetro artesanal, Thorthwaite y Hargreaves.

Tabla 10. Cálculo de la evapotranspiración

DESCRIPCIÓN	UNID.	FACE INICIAL	FASE DE DESARROLLO	FASE MEDIA	FASE FINAL	PROM.
ETo. Tanque Evap (TA)	mm/día	5.1	4.7	3.2	3.8	4.2
ETo. Thorthwaite (TH)	mm/día	3.8	3.15	2.64	3.05	3.2
Factor TA/TH		1.35	1.51	1.20	1.24	1.32
ETo. Hargreaves (HG)	mm/día	4.1	3.7	3.3	2.5	3.4
Factor TA/HG		1.26	1.26	0.95	1.5	1.24

Fuente: Autor

Los valores del error cuadrático medio en la investigación de Bochetti están entre 1,04 a 1,19, dando porcentajes de diferencia relativa entre 33,8 % a 38,8%; y, los de la presente investigación está entre 1,04 a 1,18 y 33,2 % a 33,7%.

Tabla 11. Valores de error cuadrático medio y porcentaje relativa de la evapotranspiración de referencia determinada por varios métodos.

Porcentaje de la investigación de Bochetti						Porcentajes de la presente investigación			
PM-F		H-S		P-T		TH		HG	
RMSE	RD	RMSE	RD	RMSE	RD	RMSE	RD	RMSE	RD
mm/día	%	mm/día	%	mm/día	%	mm/día	%	mm/día	%
1.07	34.7	1.19	38.8	1.04	33.8	1.04	33.2	1.18	33.7

Fuente: Bochetti. 2010

Se realiza el ajuste lineal a los registros de precipitación presentada en los pluviómetros estándar y artesanal, obteniéndose un coeficiente de ajuste de 1,069; con una correlación de $R=0,998$ (figura 7). La ecuación obtenida es la siguiente:

$$Y = 1.069 * X$$

Dónde:

Y = Lámina de precipitación en el pluviómetro estándar, mm/día

X = Lámina de precipitación en el pluviómetro artesanal, mm/día

1.069 = Factor de ajuste entre el pluviómetro artesanal y el estándar

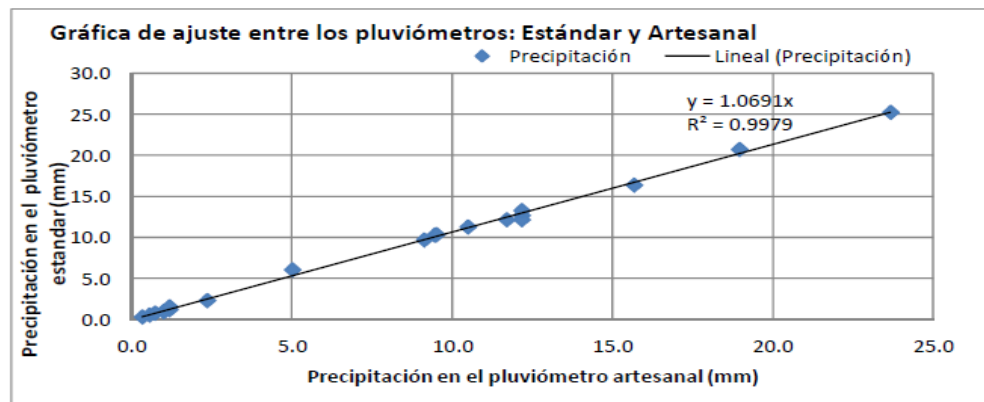


Figura 7. Correlación entre los pluviómetros estándar y artesanal

Uso del tanque evaporímetro artesanal en el manejo del riego

El aporte de ésta validación del tanque evaporímetro artesanal radica en poder sugerir que los agricultores puedan realizar una programación del riego basado en éste dispositivo meteorológico, validado en ésta investigación.

Conclusiones

- La frecuencia de riego de un día es la que obtuvo mayor rendimiento al haber alcanzado un rendimiento de 10,0 ton/ha en vaina verde y de 3,2 ton/ha en grano seco.
- El tanque evaporímetro artesanal proporcionó valores similares de evaporación al tanque estandarizado clase A.
- El pluviómetro artesanal registro precipitaciones similares al estándar.
- La metodología aplicada en el manejo agronómico y de riego del cultivo es aceptable, como se evidenció en la producción. La misma que es de fácil cálculo y aplicación, y está al alcance de los agricultores.

Recomendaciones

- Continuar con una investigación similar del cultivo, teniendo como variable independiente diferentes frecuencias de riego en cada uno de las fases fenológicas del cultivo con la finalidad de evaluar los rendimientos de producción que se obtenga.
- Investigar frecuencias de riego en fréjol con relación a diferentes niveles de fertilización.
- Investigar la influencia del método de riego, localizado y por aspersión, en el rendimiento del cultivo de fréjol.
- Realizar investigaciones similares, en otras condiciones de clima, suelo y de forma participativa con los agricultores de la zona mediante proyectos pilotos; los mismos que con seguridad servirán para nuestros agricultores se motiven a tecnificar el riego y a la vez se logren, de forma práctica, la transferencia de tecnología y conocimientos, mejorando de esta forma la productividad de sus cultivos.

Referencias Bibliográficas

- Allen, G. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. Estudio de riego y drenaje de la FAO. Publicación Nro. 56. Roma.
- Arévalo H (2011). Evaluación del efecto de aplicación de tres diferentes láminas de riego en el cultivo de rosas (*Rosa sp*) cv. Freedom, bajo invernadero en la sábana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Ingeniería Agrícola. Bogotá D.C.
- Armijos, D ; Ordoñez, E. (2011). Determinación de parámetros hidráulicos del sistema de riego por pulsos en surcos y su incidencia en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja. Ecuador Universidad nacional de Lonja
- Bochetti, V. (2010). Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de Chillan. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Facultad de Ingeniería Civil.
- CAMAREN. (2006). Propuesta Política de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Foro de los Recursos Hídricos.
- Castañeda V (2000). El fréjol. Facultad de Agronomía UNPRG – Lambayeque.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical –CIAT-, 1982. Etapas de desarrollo de la planta de fréjol común. Cali-Colombia.
- INIAP. (2010). Manual Agrícola de Fréjol y otras Leguminosas. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Quito-Ecuador.
- INIAP. (2003). Programa de Modernización del sector Agropecuario (PROMSA). Nueva variedad de fréjol arbustivo para la sierra sur del Ecuador. Estación experimental Chuquipata. INIAP. 422. Blanco Belén. Azogues-Ecuador.
- Proaño, J. (2011). Riego por Goteo. Universidad Agraria del Ecuador.
- Sánchez C, Vinuesa M, (2007). Optimización del recurso hídrico mediante el cambio de método de riego en la Comuna de Monjas Alto. Cantón Cayambe. Ecuador.

Solís A. (2005). Efecto de secuencia de cultivos y sistemas de labranza sobre la dinámica de arvenses y el crecimiento y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Evaluación de tres años de estudio. Managua. Nicaragua.

Ugalde-Acosta, et al, (2005). Verificación de tecnología para frijol de riego en la región centro del estado de Veracruz, México *Terra Latinoamericana*, vol. 23, núm. 4, octubre-diciembre, pp. 599-604.