1

INTRODUCCIÓN

El agua para el riego es un recurso que cada día se limita tanto cuantitativa como cualitativamente debido al crecimiento acelerado de las demandas para uso doméstico e industrial, por lo que es necesario el uso más racional de la misma la cual debe ser utilizada de manera más eficiente en los sistemas de riego. Un riego eficiente es aquel capaz de mantener la humedad del suelo dentro de límites apropiados, ello va a estar en dependencia de las características propias de los cultivos, las condiciones climáticas, el manejo y el medio de desarrollo, todo lo cual se expresa a través de la evapotranspiración (ET). (1).

La agricultura es el sistema de producción que mayor demanda de agua tiene a nivel global; siendo el riego la actividad que consume el 70% de este recurso a nivel mundial Se estima que sólo el 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, las cuales proporcionan el 40% de la producción agrícola general.(2).

Los requerimientos hídricos dependen de varios factores los más importantes están el clima y el consumo hídrico según la especie y estado de desarrollo del cultivo, los cuales permiten mantener suficiente humedad en el sistema radicular en función de los factores climáticos, la fenología del cultivo y las características de suelo.(2)

Es por ello que el coeficiente de cultivo (Kc) es un parámetro importante para el manejo, planificación y programación del riego teniendo en consideración el periodo de crecimiento de la planta ya que la extracción del agua varía de un periodo a otro.(3).

El conocimiento del requerimiento apropiado de agua para los cultivos es indispensable para mejor la eficiencia de los sistemas de riego, suministrando a la plantación la cantidad de agua necesaria para satisfacer sus necesidades, ya que un exceso riego puede provocar entre otras cosas el lavado de fertilizantes, mientras que una aportación de agua inferior a las necesidades de consumo del cultivo puede llegar a provocar déficit hídrico y por ello una reducción de la producción. (3).

La misma debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta siendo el coeficiente de cultivo *(kc)* un valor utilizado para calcular la cantidad de agua que se debe aplicar mediante los distintitos sistemas de riego (4).

Ante lo expuesto, es significativo realizar estudios de determinación de coeficientes de cultivo (*kc*), y adaptarlos a las distintas zonas de nuestro país teniendo en consideración aspectos bajos, los cuales se pretende producir (factores climáticos, suelos y tipo de cultivo).

Mediante lo expuesto, la siguiente investigación tiene el siguiente objetivo general:

Determinar la curva de *kc*, para el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) durante su periodo de desarrollo.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

1. Determinar los valores de kc, para las distintas fases fenológicas del cultivo de frejol, bajo invernadero.
2. Determinar las necesidades hídricas en las distintas fases fenológicas del cultivo de fréjol bajo invernadero.

2
REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO.

2.1.1. TRANSPIRACIÓN

La transpiración es la pérdida de agua, en forma de vapor, a través de las distintas partes de la planta, fundamentalmente por las hojas, la transpiración comienza cuando los estomas se abren lo que produce que se evapore el agua atreves de poros diminutos que se encuentran en el as y envés de las hojas, cuando estos de abren para permitir el paso del CO_2 y O_2, la luz estimula la apertura y cierre de estos pero existen paramentos que también influyen en la transpiración como la humedad relativa, y el aire que circula dentro de un invernadero.
La transpiración esta entrelazada con una función de vital importancia para el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis. Debido a la absorción de dióxido de carbono para la fotosíntesis y la pérdida de agua por transpiración están unidas en la vida de las plantas verdes, por lo que condiciones que favorecen la transpiración favorecen la fotosíntesis.(4)

2.1.2. EVAPORACIÓN

Se dice que la evaporación "el proceso físico por el cual un sólido o líquido pasa a estar en fase gaseosa." La evaporación del agua a la atmósfera ocurre a partir de superficies de agua libre como océanos, lagos y ríos, de zonas pantanosas, del suelo, y de la vegetación húmeda. La evaporación se produce cuando el agua es transformada en vapor., la cantidad de agua evaporada es controlada por la energía disponible en la superficie y la facilidad con la cual el vapor de agua puede difundirse en la atmósfera.
Esta depende de los siguientes factores: radiación solar y el poder evaporante de la atmosfera. (5).

2.2. FACTORES QUE AFECTA A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN)

La evapotranspiración se define como el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera, esto también incluye la evaporación de agua líquida o sólida directamente desde el suelo o de los vegetales vivos o muertos, (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), está perdida en las plantas es particularmente por las hojas. Este último proceso llamado transpiración. (6).
La evapotranspiración se ve afectada por los siguientes parámetros climáticos que son: la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo). La evapotranspiración del cultivo (ETo) representa la pérdida de agua de una superficie cultivada.(3).
Radiación solar. Constituyen uno de los factores de mayor importancia ya que de esta depende en cambia de estado del agua.
Temperatura del aire. Cuanto más frío está el aire mayor será la convección térmica hacia el mismo y por tanto menos energía habrá disponible para la evaporación. Por otra parte, cuanto mayor sea la temperatura del aire, mayor es su presión de vapor de saturación. (3).

Humedad atmosférica. El aire seco se satura más tarde y tiene menor tensión de vapor, por lo que cuanto mayor es la humedad relativa menor será el déficit de saturación.
Salinidad. La evaporación disminuye 1% por cada incremento del 1% de concentración de sal en el agua. La presión de vapor del agua pura bajo dadas condiciones está determinada por su temperatura, cuando existen sólidos disueltos en agua, la presión de vapor de la solución se reduce para la misma temperatura, originado una reducción del déficit higrométrico, ya que la evaporación es directamente proporcional a la misma.(3).

2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

La *ETo* es una condición que relaciona el poder evaporante de la atmosfera, puede ser calculada por una superficie de referencia que por lo generar se denomina pasto hipotético, de aproximadamente 8-15 cm de alto, que crece activamente, que cubra completamente la superficie del suelo y al que no le falta agua haciendo semejanza a una superficie amplia bien regada y de alta uniformidad, la ETo está fundamentalmente determinado por factores climáticos Grafico 1.(7).
Por lo que la evapotranspiración del cultivo de referencia refleja la verdadera necesidad de agua para los cultivos que deben desarrollarse en condiciones óptimas de humedad y que se encuentran influenciados por los distintos parámetros climáticos. (17).
Es importante indicar que ETo varia primordialmente de acuerdo al comportamiento de la humedad relativa (HR), velocidad del viento (u2) y temperatura del aire (Ta); dentro del invernadero siendo mayor la ETo durante días más cálidos y cuando la atmósfera está más seca.(8)
Para estimación de la ETo de una manera directa y rápida en el caso de algún estudio convencional y del cual de requiera un rápido resultado, se puede estimar la ETo mediante el tanque evaporímetro clase A instalado dentro del invernadero lo que asemeja las condiciones que suceden dentro de este. (24).

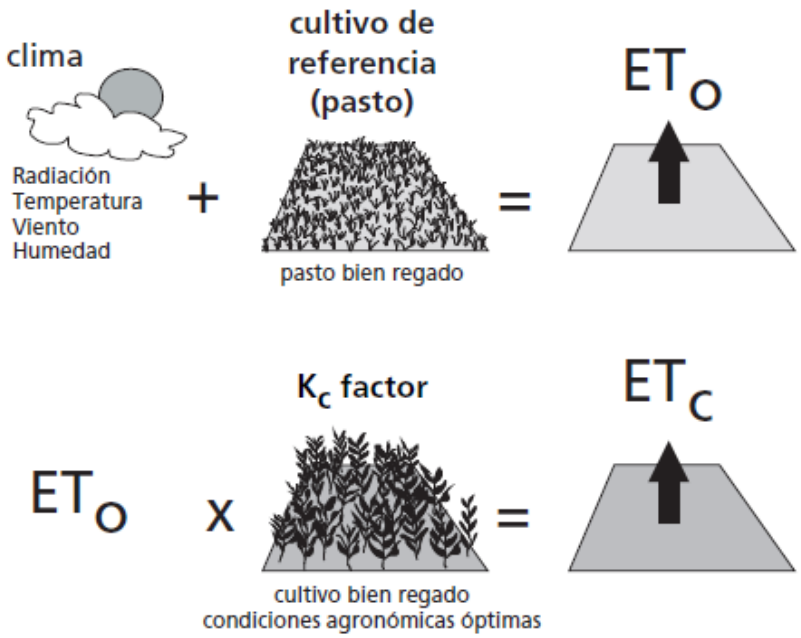

Gráfico 1. Evapotranspiración del cultivo de referencia. FAO 2006

2.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR (ETC)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ETc, la misma que hace referencia a la perdida de agua de una cultivo que no posee enfermedades y que además cuenta con una buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanzando las condiciones máxima de producción de acuerdo a las situaciones climáticas reinantes.(3)

La evapotranspiración del cultivo es un indicador que no se lo puede obtener de manera exacta debido a que este valor varia de una zona a otro debido a las condiciones climáticas, también es importante tomar en cuenta las prácticas agronómicas con las cuales se maneja el cultivo por lo que está de una manera indirecta afectan en el calcula de la ETC. (18). En los últimos años el método de balance de agua se ha intensificado en la determinación de la ETc. (32)

2.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES NO ESTÁNDAR (ETC AJ)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj) menciona a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar, es decir condiciones de campo, afectando la ETc debido a que el cultivo se desarrolla en condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración.(3)

2.6. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para el calcula de la evapotranspiración se han desarrollado muchos métodos tanto empíricos como semiempiricos, los mismo que considerar parámetros climatológicos para su cálculo.

Uno de los métodos más utilizados es el de Trornthwaite debido fácil aplicación y que requiere de datos climatológicos que pueden ser tomados de alguna estación climatológica local. De ahí se ha ido mejorando y ajustando los diferentes métodos, mismos que toman en consideración otros parámetros que tienen influencia sobre el cálculo.(9)

Penman-Monteith es el método más aceptado para las investigaciones donde se debe calcular la evapotranspiración mensual de referencia ETo, debido a que se ajusta a diferentes climas; para su estimación requiere varios datos entrada, tales como valores mínimos y máximos de temperatura, humedad relativa, horas de insolación, velocidad del viento, y radiación solar.(10)

Por otro lado la evapotranspiración también puede ser determinada mediante la medición directa o por modelos que tengan en consideración elementos meteorológicos; los lisímetros tanto de pesada como de drenaje son prácticos en la obtención de la evapotranspiración.(11).

Entre los métodos utilizados se tiene los siguientes:

Método	Medidas Necesaria.	Otros Datos.
Tranque evaporímetro	Agua evaporada durante el día.	
Thornthwaite	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el Nº teórico de horas sol
Blanney-Criddle	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el Nº teórico de horas sol Coeficiente que depende del cultivo
Turc	Temperatura Horas reales de sol	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente (cal/cm2.día)
Penman	Temperatura Horas reales de sol Veloc. Viento Humedad relativa	Por tabla se obtiene otros parámetros necesarios.

2.7. MEDICIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración también puede ser determinada mediante el uso de métodos muchos más complejos por lo que la estimación precisa de la evapotranspiración no es una tarea simple, los procedimientos requieren el control continuo de un gran número de parámetros físicos, meteorológicos y de cubierta vegetal.
También en la medición de la evapotranspiración un factor importante que ejerce influencia sobre esta es el suelo ya que por ejemplo un suelo arcillosos tienen una mayor capacidad para almacenar agua lo que hace que mantenga una alta tasa de evapotranspiración por periodos muchos más largos a diferencia de suelos con tendencia arenosa (23).

2.7.1. LISIMETRÍA

Un lisímetro es un gran recipiente que encierra una determinada porción de suelo con superficie desnuda o con cubierta vegetal, ubicado en campo para representar condiciones naturales, se utiliza para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, de una cubierta vegetal de referencia, o la evaporación de un suelo al desnudo. Por sus costos de instalación los lisímetros de pesado suelen ser escasos, en estudios experimentales se recomienda hacer lisímetros caseros poniendo en un recipiente suelo mineral y orgánico donde se coloca las plantas para su desarrollo, conformado en su parte inferior una capa solida (piedra) que permita que las sales junto con el agua drenen (12).
En los lisímetros de pesada el incremento o pérdida de agua se mide por el cambio en la masa obtenido pesando el recipiente en el que se encuentra el suelo.
La ecuación del balance hídrico del suelo que representa las entradas y salidas de agua de un lisímetro para cada período de medida es la siguiente:

$$P + R = ET + D \pm \Delta w$$

La precipitación (P) y el riego (R) son medidos utilizando pluviómetros o métodos volumétricos convencionales. Al tratarse de un recipiente con paredes laterales, la escorrentía subsuperficial puede considerarse nula.
Para drenar y medir el agua que percola a través de la masa de suelo (D) se utiliza una cámara de drenaje y un recipiente de volumen conocido.
Para conocer las variaciones en el contenido de agua en la masa de suelo (Δw) se utilizan métodos de gravimetría, tensiómetros, etc. De esta forma el lisímetro proporciona una

medida directa de la evapotranspiración en el período considerado, siendo el procedimiento que proporciona valores más precisos de ET.(13).
Además existen lisímetros de drenajes que son destinados para un mismo fin estos son cajas de un espesor variable en sus paredes y que en la parte inferior están provisto de un fondo que permite recoger el agua que se lixivia, deben estar enterrados en el suelo para que el desarrollo de las plantas sea de manera natural.(27).
Un lisímetro es difícilmente representativo para toda la región. En ocasiones se establece el balance hídrico en una parcela experimental, en la que se miden precipitaciones, escorrentía superficial, variaciones de la humedad en el suelo, etc. para despejar finalmente la ET. Sería un procedimiento más exacto, pero más costoso y complicado (28)

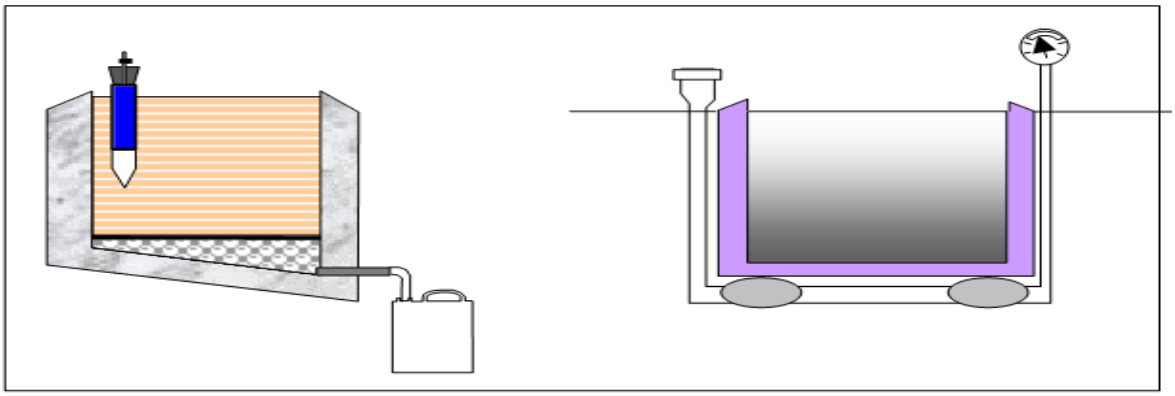

Gráfico 2. Principales tipos de lisímetros tanto de drenaje como de pesada respectivamente. Universidad de Jaume, 2011

2.8. ETAPAS DE DESARROLLO DE LOS CULTIVOS

El periodo de desarrollo de los cultivos se divide en cuatro fases de diferentes magnitudes en función del clima en que se desarrolla. Estas fases se describen y se muestran en el siguiente Gráfico 3:(3)

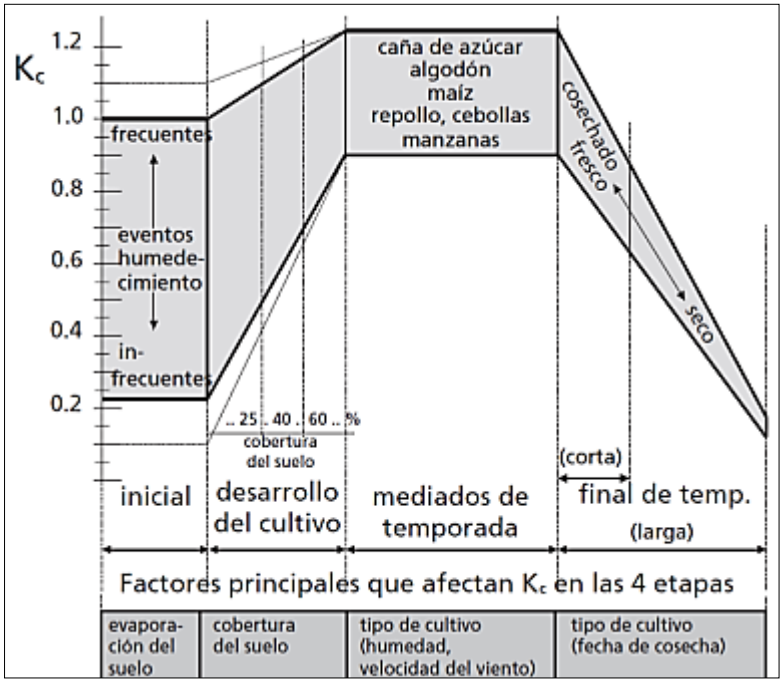

Gráfico 3. Rangos tipicos esperados del valor de *Kc* para las cuatro etapas del crecimeinto, FAO 2006

2.8.1. FASE INICIAL

A la hora de la determinación del coeficiente de cultivo es importante definir bien las etapas fenológicas del cultivo, por lo que la etapa inicial esta establecía desde el momento que se trasplanta o se siembra hasta cuando la planta ya haya alcanzado el 10% de la cobertura del suelo, teniendo en consideración el tipo de cultivo, variedad y el clima ya que estos influyen en la duración de esta etapa.(3)

2.8.2. FASE DE DESARROLLO DEL CULTIVO

La segunda etapa la correspondiente al dessarrollo del cultivo se enmarca desde cuando el cultivo alcanzo el 10% de la cobertura del suelo hasta cuando este alcanzo la cobertura completa o efectiva, reconocida principalmente cuando el cultivo a llegado la floración, en otros cultivos cultivados en hileras esta etapa se alcanza cuando existe un solape entre sus hojas.(3)

Gracias a la tecnologia sepuede estimar cuando el cultivo ha alcanzado el 10% de la cobertura vegatal utilizando el SIARCS Sistema Integrado de Análisis Roots y Cobertura de la Tierra, un programa de análisis de imágenes digitales desarrollado por la empresa Embrapa. (22).

2.8.3. FASE MEDIADO DE PERIODO

Esta fase esta comprendida desde la cobertura total o inicio de la floración hasta la madurez del cultivo, cuando este presenta amarillamiento o senesencia en las hojas, caída de las hojas, o la aparición del color marrón en el fruto, hasta el grado de reducirla evapotranspiración del cultivo en relación con la ETo de referencia. Durante la etapa de

mediados de temporada, el coeficiente *kc* alcanza su valor máximo. El valor de *kc* en esta etapa (*kc* med) es relativamente constante para la mayoríade los cultivos.(3).

2.8.4. FASE FINALES DEL PERIODO

La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de *kc* y ETc finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas.(3)

2.9. COEFICIENTE ÚNICO DEL CULTIVO (KC)

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único Kc incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de Kc calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo.
Solamente en los casos en que el coeficiente de cultivo sea necesario para períodos diarios, para cultivos específicos y para años específicos, se requerirá de coeficientes separados de transpiración y evaporación.
El procedimiento de cálculo de la evapotranspiración del cultivo es el siguiente:
1. identificar las etapas de desarrollo del cultivo, determinando la duración de cada etapa y selección de los valores correspondientes de Kc;
2. ajustar los valores de Kc seleccionados según la frecuencia de humedecimiento o las condiciones climáticas durante cada etapa;
3. construir la curva del coeficiente del cultivo (la cual permite la determinación de Kc para cualquier etapa durante el período de desarrollo;
4. calcular ETc como el producto de ETo y Kc.(3)
Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo Kc expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente Kc a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva de Kc. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de Kc: los correspondientes a la etapa inicial (Kc ini), la etapa de mediados de temporada (Kc med) y la etapa final (Kc fin).
El coeficiente de cultivo se define como el cociente entre la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar y la evapotranspiración de referencia:(3)

$$Kc = ETc/ETo$$

Los coeficientes de cultivos tienen una influencia grande sobre la evapotranspiración por los que dichos valores solo es posibles obtenerlos mediante experimentación ya que el crecimiento de las plantas está afectado por las condiciones cambiantes del clima, por las condiciones físicas y químicas en el suelo, por el manejo agronómico, por el sistema de riego y por la genética del cultivo (26)
Los criterios diversos para seleccionar el método de cálculo de los coeficientes de cultivo. Proponen que se utilicen los coeficientes culturales de base, en lugar de los coeficientes culturales medios (Kc) cuando se trata de trabajos con fines de investigación, así como en la conducción del riego en tiempo real con sistemas de alta frecuencia, sobre todo en regiones con precipitaciones frecuentes.(14).

La importancia de la estimación de los coeficiente de cultivo radican en una buena planificación de los calendarios de riego, y mejor manejo puesto que existen zonas donde se explota un cultivo a escala comercial y del cual no se conoce su consumo de agua.(15).
El mejor indicador para el calcula del coeficiente de cultivo es el pasto el Ray gras se lo considera una planta forrajera con un alto valor energético y gran potencial productivo tanto en riego como secano lo que la hace un muy buen indicador.(16)

2.9.1. CURVA DE COEFICIENTE DE CULTIVO

Después de la selección del procedimiento de cálculo, de la determinación de las longitudes de las etapas de desarrollo y de los coeficientes de cultivos correspondientes, se procede a la elaboración de la curva del coeficiente del cultivo. La forma de la curva representa los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo durante el desarrollo de la planta, los cuales afectan el cociente entre ETc y ETo. A partir de esta curva se puede derivar el valor del coeficiente *Kc*, y en consecuencia el valor de ETc, para cualquier período de la temporada de crecimiento (Grafico 4).(30).

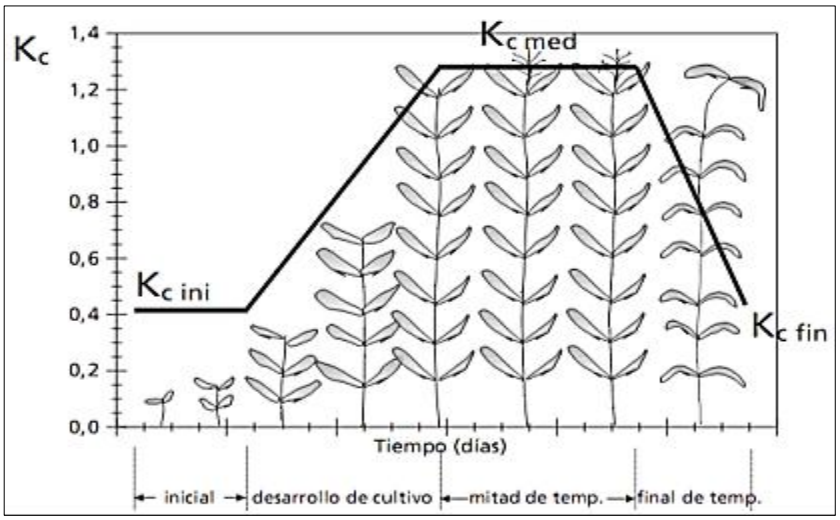

Gráfico 4. Curva generalizada del coeficiente del cultvo, FAO 2006

2.9.2. VALORES TABULADOS DE KC

El siguiente cuadro hace énfasis en valores tipicos de coeficiente de cultivo para las etapas de Kc ini, Kc med y Kc fin correspondientes a distintos cultivos. Los mismo que se encuentran agrupados para su mayor entendimiento(ej.hortalizas pequeñas, leguminosas, cereales, etc.) con la finalidad de facilitar la localización del cultivo en el cuadro y asi mismo facilitar la comparacion con cultivos que recaigan en cada grupo, que por lo general estos se parecen ya que poseen caracteristicas iguales tales como altura, follaje, porcentaje de cobertura y consumo de agua.(3).

Tabla1. Valores de Kc para las etapas inicial, media y final para distintos cultivos (Leguiminozas y Hortalizas)

Cultivo		Kc inc	Kc med	Kc fin
Frijoles		0.5	1.05	0.9
Garbanzo			1	0.35
Habas		0.5	1.15	1.1
Mani			1.15	0.6
Lentejas			1.1	0.3

Fuente, FAO 2006

2.10. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

El coeficiente de desarrollo del cultivo y la evapotranspiración de referencia, constituyen los dos parámetros indispensables para la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos. Teniendo en cuenta que el coeficiente de cultivo se determinó mediante la relación entre la ETc y ETo, y sobre estos influyen la plantación y el suelo donde se desarrollan. (15).

La estimación de las necesidades hídricas de los cultivos es una de las etapas obligadas en el diseño, construcción, instalación y operación de cualquier sistema de riego que se quiera implantar (21)

Una vez estimada las necesidades de agua necesaria para la planta proporcionan mejoras en la aplicación del agua de riego, es necesario hacer estudios de determinación de coeficiente de cultivo en cada región para mejorar los sistemas productivos mediante el uso coherente del agua. (25).

Ayudando a la conservación del líquido vital, importante para el desarrollo de los diferentes ecosistemas. (31).

2.11. INVERNADERO

Los invernaderos son estructuras que permiten delimitar el entorno externo del interno proporcionando un ambiente controlado dentro de ellos mejorando el intercambio de la radiación solar modificando el lugar donde se produce el cultivo. (19)

2.11.1. CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS DEL INVERNADERO

Las condiciones micro climáticas del invernadero para varios cultivos de se muestran (tabla1 y 2). (20)

Tabla 2. Niveles térmicos, para cultivar en invernadero

Especia	Temperatura (°C)						
	Mínima Letal	Mínima Biológica	Óptima día	Noche	Máxima día	Germinación	
						Día	Noche
Tomate	0-4	10-12	18-20	24-28	28-32	14-16	20-30
Pepino	0-2	12-14	18-21	24-30	30-34	14-16	20-31
Melón	0-4	10-12	15-18	24-30	30-34	14-16	20-32
Calabaza	0-2	10-14	16-18	21-28	28-35	12-14	20-33
Judía	0-4	10-12	16-18	22-28	28-32	12-15	20-34
Pimiento	0-2	9-10	15-18	22-26	30-32	12-15	20-35
Berenjena	-2-0	4-6	10-15	15-20	25-30	4-6	20
Lechuga	-2-0	6	10-13	18-22	-	-	-
Fresa	-	-	-	-	-	-	-

Fuente Castillo, 2001

Tabla 3. Niveles óptimos para cultivar en invernadero

Especia	Temp.°C	CO_2	HR %	Intensidad de luz (Lux)	Duración
Tomate	15-20	1 000-2 000	55-60	10 000-40 000	DI
Pepino	44470	1 000-3 000	70-90	15 000-40 000	DL
Melón	20-22	-	60-80	-	DL
Calabaza	15-20	-	-	-	DL
Judía	15-20	-	-	-	DL
Pimiento	15-20	-	65-70	-	DL
Berenjena	15-20	-	65-70	-	DL
Lechuga	10-12	1 000-2 000	65-80	12 000-30 000	DL
Fresa	12-15	-	60-70	-	DC

Di= Día intermedio
DL= Día largo
DC= Día orto

Fuente Castillo, 2001

2.12. EXIGENCIAS DEL CULTIVO DE FRÉJOL

La humedad relativa óptima del aire en el invernadero durante la primera fase de cultivo es del 60 % al 65 %, y posteriormente oscila entre el 65 % y el 75 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades. Es una planta de día corto, aunque en condiciones de invernadero no le afecta la duración del día. No obstante, la luminosidad condiciona la fotosíntesis, soportando temperaturas elevadas admite una amplia gama de suelos, los más indicados son suelos ligeros, con buen drenaje y ricos en materia orgánica. En suelos fuertemente arcillosos, calizos y demasiado salinos afectan su desarrollo, el pH óptimo oscilan entre 6 y 7,5, aunque en suelos arenosos los valores de pH puede alcanzar un valor hasta 8,5.

3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO

La presente investigación se realizó en la granja experimental Santa Inés, misma que pertenece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y esta a su vez a la Universidad Técnica de Machala ubicada en la parroquia El Cambio, provincia de El Oro cantón Machala, con una clasificación de suelo perteneciente a los Inceptisoles del Subgrupo de los Aquic Dystrustepts y cuyas coordenadas UTM son las siguientes:

Latitud Sur: 620701

Longitud Oeste: 9636128

Altitud: 5 msnm

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

La zona en estudio según los registros del INAMHI tiene una temperatura media anual de 25 º C, precipitación media anual de 427 mm y heliófila de 2 a 3 horas diarias. De acuerdo a la zona de vida natural de Holdridge se clasifica dentro de la formación bosque muy seco – Tropical (bms-T).

3.1.3. MATERIALES

- Bomba de agua eléctrica de 0,5HP,
- Tanque evaporímetro tipo A,
- Tubería de polietileno de 16 mm,
- Gotero Katif de 2,3 l/h,
- Llaves de 3/4”,
- Tacho de Ø22cm y de altura 30cm,
- Bandeja de capacidad 3 litros,
- Arena,
- Piedra,
- Tierra para sembrar
- Flexómetro,
- Regla de 30 cm
- Balanza,

3.1.4. VARIABLES CONSIDERADAS

- Porcentaje de sombra,
- Evapotranspiración de la bandeja.
- Evapotranspiración del cultivo de referencia; y,
- Evapotranspiración del cultivo.

3.1.5. MEDICIÓN DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS

3.1.5.1. PORCENTAJE DE SOMBRA

Para la determinación de esta variable se tomó 10 plantas al azar de las cuales se sacó el diámetro comprendido entre sus hojas, para calcular el área promedio de sombra de la planta y después relacionarla con el área de siembra (3).

3.1.5.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA BANDEJA

Para la toma de esta variable se utilizó los datos que se recolectaron de la medición del tanque Evaporímetro Tipo A, mismos que nos sirvió para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo (3).

3.1.5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN CULTIVO DE REFERENCIA

Esta variable se tomó directamente del cultivo de referencia, (pasto *Ray glass*), tomando 5 plantas al azar que fueron pesadas en una primera instancia y luego de 3 días volviéndolas a pesar y por diferencia de peso se obtuvo directamente la evapotranspiración de referencia Etc (3).

3.1.5.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

Esta variable se tomó directamente del cultivo, (*Phaseolus vulgaris* L), tomando 10 plantas al azar las misma que fueron pesadas en una primera instancia, luego de 3 días se las volvió a pesar y por diferencia de peso se obtuvo directamente la evapotranspiración de referencia Eto (3).

3.2. MÉTODOS

Para la determinación de los valores de kc, en las distintas fases fenológicas del cultivo de fréjol, bajo invernadero se siguió el siguiente procedimiento.

3.2.1. PREPARACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

En el invernadero de la Granja Santa Inés se prepararon las camas de acuerdo a la distancia de siembra y separación de laterales formando un total de 48 unidades experimentales y 16 camas.
Las características del área experimental son las siguientes:

- Tamaño del invernadero (8 x 21 m) = 168 m²,
- Área a utilizar = 42,00 m^2,
- Área útil = 23,04 m^2,
- Cantidad de plantas = 48 u,
- Cantidad de plantas por cama = 3 u,
- Cantidad de camas = 16 u,
- Cantidad de lisímetros = 48 u,
- Distancia entre líneas de riego = 0,70 m; y,
- Separación entre goteros = 0,30 m.

3.2.2. INSTALACIÓN DE LOS LISÍMETROS

Los materiales utilizados para su elaboración son dos baldes plásticos, donde uno es de mayor capacidad, y en éste se llevó acabo el desarrollo de la planta, el mismo que tiene las siguientes características: 22cm de diámetro y 30 cm de altura, con perforaciones en su parte inferior, el balde constó de tres partes compuestas de la siguiente manera:

- La primera parte es un espacio libre de material en el segmento superior, sirviendo como reservorio para el agua aplicada en el riego y con esto evitar que el agua se escurra por el borde, manteniendo el riego dentro del área de estudio,

- La siguiente parte fue conformada con suelo en donde se desarrolló las raíces de la planta teniendo una dimensión de 20 cm; y,

- La tercera parte es la capa filtrante, la finalidad de ésta es que se filtre el agua lixiviada y salga lo más limpia posible al balde recolector, y se conforma de dos partes: la parte superior es una capa de arena de unos dos cm y la inferior es una capa de piedra de dos centímetros de espesor como se observa en el Gráfico 5.

El tacho de menor capacidad colocado en la parte inferior sirvió como recolector del agua drenada, que en parte inferior Gráfico 5 se observa.

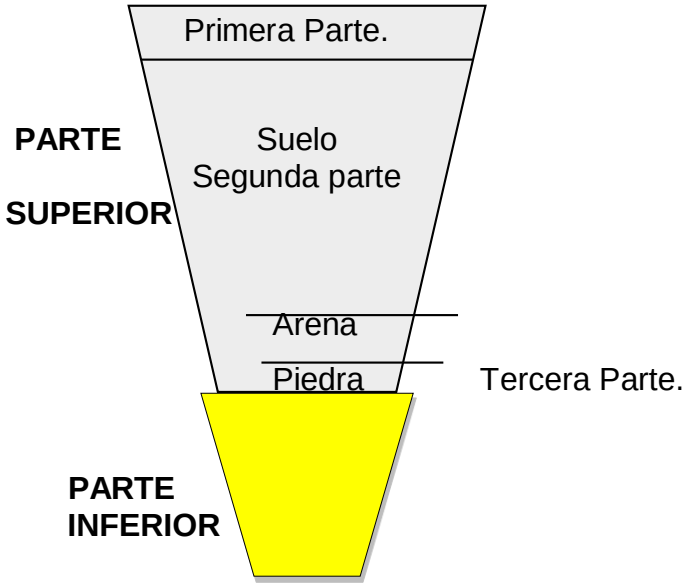

Gráfico 5. Esquema del lisímetro de pesada casero.

Los lisímetros fueron colocados a nivel del suelo, teniendo en cuenta la distancia de siembra y la separación entre las línea de riego.

3.2.3. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Una vez colocados los lisímetros se instaló el sistema de riego, el mismo que contó con 16 laterales separados a 0.70 metro y con una separación entre goteros de 0.30, el material utilizado en los laterales fue de polietileno y en la tubería principal se utilizó material PVC.

3.2.4. COEFICIENTE DE CULTIVO (*Kc*)

Para la determinación del coeficiente de cultivo se emplearon las siguientes formulas:

$$kc = ETc / ETo$$

De donde:

kc = coeficiente de cultivo
ETo = Evapotranspiración de referencia.
ETc = Evapotranspiración real.

3.2.5. NECESIDADES DE RIEGO

Para determinar las necesidades hídricas en las distintas fases fenológicas del cultivo se siguió el siguiente procedimiento mediante el empleo de las siguientes formulas:

:

$$NRD = EB \times kp \times kc \times PS \times AU/CU$$

Dónde:

NRD = Necesidades netas de riego diario (litro/planta/día),
EB = evaporación de bandeja
kp = Coeficiente de la bandeja
kc = Coeficiente del cultivo
PS = Porcentaje de cobertura (%)
AU = Área asignada al cultivo o a la planta (m²)
CU = Coeficiente de uniformidad

Los valores de EB, se los obtuvo de la diferencia de lectura del tanque, evaporación que ocurre en el tanque evaporímetro Tipo A, utilizando una regla graduada en mm, el valor de *kp* fue de 0,9 para nuestro invernadero por el material de sus paredes ya que no detiene el viento, el valor de *kc* (coeficiente de cultivo), vienen determinados por las fases de desarrollo del cultivo, el coeficiente de uniformidad que se usó 0.9.

Para obtener el porcentaje de cobertura del cultivo con relación al área asignada del mismo se utilizó la siguiente formula:

$$PS = \left(\frac{\pi r^2}{a \,.\, b}\right) \; 100$$

Dónde:

PS = Porcentaje de cobertura.
r = radio del, diámetro promedio de la planta.
a = distancia de siembra entre hilera.
b = distancia de siembra entre plantas

El área de AU se la obtuvo multiplicando la distancia entre hileras y las distancia entre plantas.

El tiempo de riego fue calculado con la siguiente fórmula:

$$TR = NRD /(ne \times qe)$$

Dónde:

TR = Tiempo de riego en horas
NRD = Necesidades netas de riego en horas (litro/planta/hora)
ne = Número de emisores por planta.
qe = Caudal de emisor en litros/hora

4

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Valores de Kc semanales para el cultivo de fréjol

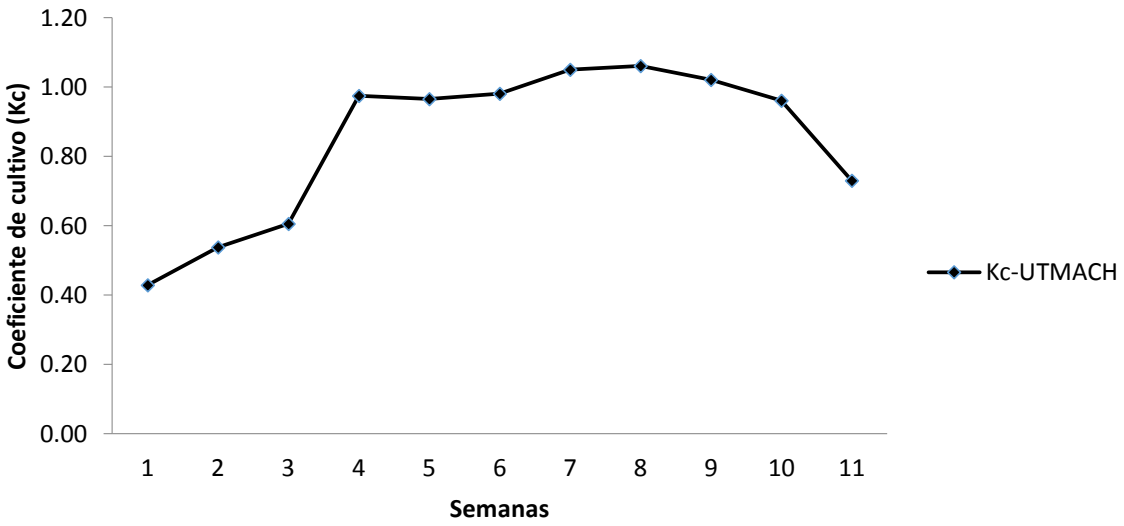

Gráfico 6. Curva de valores de Kc-UTMAC por semanas, para la determinación del coeficiente de cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Cabello, 2015).

En la Gráfico 6 se aprecian los distintos valores de Kc semanales, la variación que se observa en los Kc hace referencia a todo el periodo de desarrollo del cultivo (3), el movimiento de la curva está influenciado primordialmente por las condiciones climáticas tales como la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Dichos factores afectan la evapotranspiración del cultivo de referencia ETo y así mismo la evapotranspiración del cultivo ETc.

La variación de los coeficientes de cultivo se deben en una primera instancia a que los valores de ETo mayores proporcionan una disminución en los valores de Kc, en los primeros 7 días después de la siembra la variación de los valores de Kc fueron mínimas con un promedio de 0.50, luego gradualmente fueron aumentando, ya a los 20 días una vez que el cultivo entro a la fase de desarrollo dichos valores tuvieron mayor variabilidad alcanzando un promedio de 0.99 (30), en el que dice que la variación en esta etapa se debe a que el área foliar aumento cubriendo el área del lisímetro por lo que el porcentaje de sombra en relación al área asignada incremento ocasionado en aumentó de los valores de Kc, ya para la etapa final del cultivo dichos valores decrecen en esta etapa se alcanzó un promedio de 0.70.

Comparación de los valores de *kc* determinados en la UTMACH con los propuestos por la FAO.

Tabla 4. Valores de *kc* y décadas, según la FAO y UTMACH, para la determinación del coeficiente de cultivo (*kc*) para fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Fases	UTMACH		FAO	
	Kc	Décadas	*Kc*	Décadas
Inicial	0.50	20	0.50	20
Desarrollo	0.95	20	1.05	30
Med. de Desarrollo	1.00	30		30
Finales	0.70	10	0.90	10

Como se puede observar en la Tabla 4 se muestran los valores de Kc tantos los determinados en la UTMACH como los propuestos por FAO, se observa que los valores de Kc determinados para la fase inicial coinciden con los propuestos por la FAO, posteriormente en las siguientes fases fenológicas los valores de Kc dados por la FAO son superiores, con 0.05 en la etapa de desarrollo y 0.20 en la etapa final (3) esto se debe a que los valores obtenidos por la FAO, es el resultado de múltiples investigaciones que se han ido adaptando a las distintas zonas de producción y en las cuales se ha considerado algunos parámetros climáticos

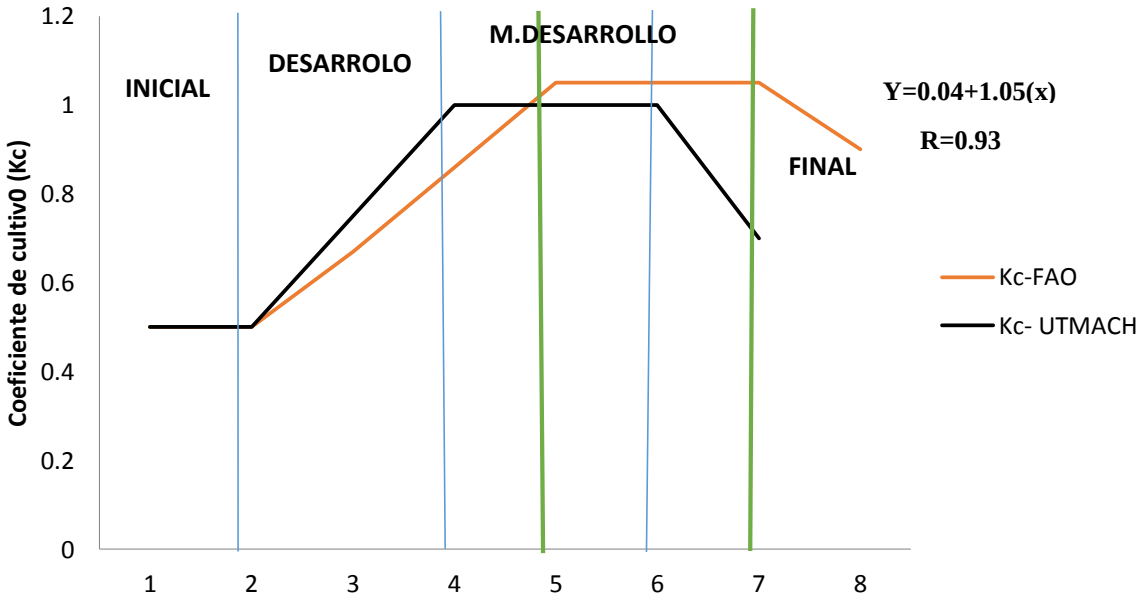

Grafico 7. Curva de valores de Kc-UTMAC y FAO por fases de desarrollo, para la determinación del coeficiente de cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Cabello, 2015).

La representación de la curva se la hace en base a los Kc determinados, para su graficacion solo es necesario tres valores de kc, como se valora en el Gráfico 7 los carrespondientes a a la etapa inicial, media y final considerando las longitudes de las fases fenológicas la variacion en la curva se debe a los cambios en la vegetacion y el grado de cobertura del suelo que manifiesta que los cambios en la curva se deben a el desarrollo de la planta tanto foliar como radicular (30). Los valores de coeficiente de cultivo obtenidos en el ensayo mantienen una relación con el coeficiente de cultivo propuesto por la FAO para cada etapa de desarrollo, éstos valores responden a una ecuación tipo lineal y=0.04+1.05(x), con un coeficiente de determinación de R^2=0.93, qe indica su alta correlación.

La duracion de la etapa inicial en la determinacion de los valores de Kc en la UTMACH nuevamente coinciden con los propuestos por la FAO, ambas con una duracion de 20 dias pero en la etapa siguiente la que corresponde a la etapa de desarrollo hay un aumento de 10 días, posteriormete en las dos etapas siguientes las que corresponden a la etapa media de desarrollo y a la etapa final, la duración de estas coinciden habiendo solo una variación de 10 dias, en el periodo de desarrollo esto se debe primordialmente al manejo y variedad de la semilla utilizada para la investigación.

Tabla 5. Valores de *kc* por fases de desarrollo, meses y décadas, para la determinación del coeficiente de cultivo (*kc*) para fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Meses	**Agosto**		**Septiembre**			**Octubre**		
Décadas	20	30	10	20	30	10	20	30
Fases de desarrollo	INICIAL		DESARROLLO		MEDIADOS DE DESARROLLO			FINAL
Kc FASES	0.5		0.95		1			0.7
Kc Meses	0.5	0.5	0.94	0.96	1	1	1	0.7
Kc Décadas	0.5		0.95		1			0.7

.

En la Tabla 5 se visualiza los valores de Kc tanto por etapa de desarrollo, por meses y décadas centrando su mas alto valor de Kc en la etapa media de desarrollo, por lo que el consumo de agua en esta etapa es mucho mayor debido a que la planta alcanza su más alto indice de desarrollo.

Necesidades Hídricas para las distintas fases fenológicas del cultivo de fréjol

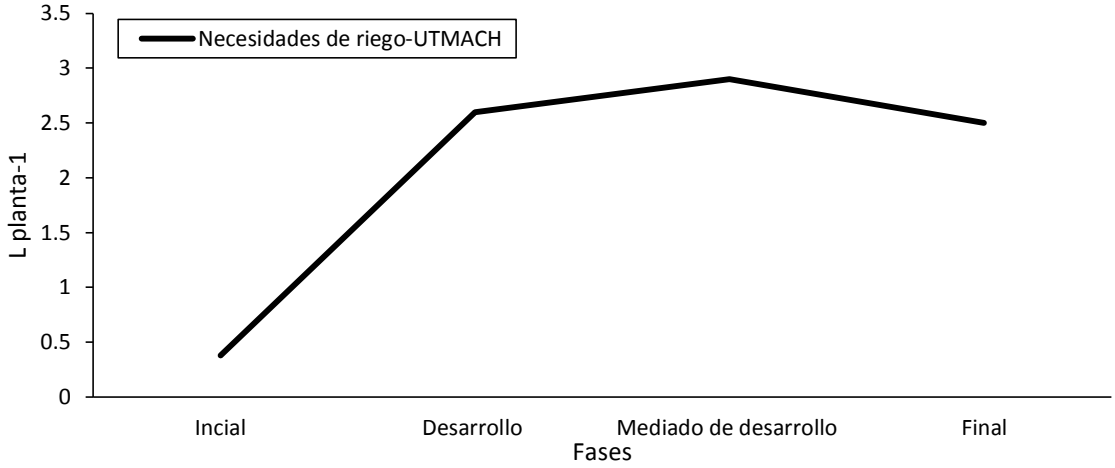

Gráfico 8. Necesidades hídricas en las distintas fases fenológicas del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Cabello, 2015).

La necesidad hídrica en la primera etapa fenológica del cultivo de fréjol es baja con tan solo 0.38 litros por planta esto se debe a que el sistema radicular de la planta se encuentra en formación y el requerimiento de agua para la supervivencia de la planta es menor. El cultivo de fréjol por su rápido desarrollo aumenta el requerimiento de agua gradualmente como se observa en el Gráfico 8 en la etapa media de desarrollo alcanzo el más alto índice de consumo con 2.9 litros por planta, debido a que ya se encontraba con un muy buen desarrollo tanto foliar como radicular ocasionando el aumento de los valores de kc (25), que en las necesidades existen una gran influencia del coeficiente de desarrollo del cultivo y la evapotranspiración de referencia los cuales constituyen dos parámetros indispensables para el cálculo de las necesidades de riego, por lo que se debe considerar los valores de Kc para cada etapa en el cálculo del requerimiento de agua, una variación de estos proporcionarían un aumento o disminución del volumen de agua requerido para cada etapa.

Ya en la parte final en el periodo de madurez., el consumo de agua disminuye en relación a la anterior etapa en esta fase alcanzo un consumo de 2.5 litros por planta debido a que la planta entra en un proceso en el cual utiliza el agua solo para mantenerse debido a que alcanzo su total desarrollo la variación del consumo de agua en cada etapa está también en función del clima que se genera dentro del invernadero en el que las necesidades hídricas están directamente relacionadas con variable climatológicas como la radiación, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento (25). Además influyen características del cultivo entre las que resaltan, variedad, estado de desarrollo y condiciones del cultivo.

5 CONCLUSIONES

- Los coeficientes de cultivo (kc*)*, para cada etapa fenológica fueron: 0.50, 0.95, 1.0 y 0.7; para las fases inicial, desarrollo, mediados de desarrollo y final, respectivamente.

- Las necesidades de riego para cada etapa fenológica fueron: 0.38, 2.6, 2.9 y 2.5 Lt planta^{-1}; para las fases inicial, desarrollo, mediados de desarrollo y final, respectivamente.

- Los valores de coeficiente de cultivo determinados en ésta investigación juntos con los propuestos por la FAO, mantienen una correlación positiva alta expresados con un valor de R^2= 0.93.

6
RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de determinación de coeficiente de cultivo aplicado a otro cultivo de interés comercial.

- Repetir el experimento de determinación de los valores de Kc en distintas etapas del año.

7

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. Bonet Pérez C, Acea Lahera I, Brown Manrique O, Hernández Victoria M, Duarte Díaz C. Coeficientes de cultivo para la programación del riego de la piña. 2010;237p.

2. Anaclides R. Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela. 2015;25–10.

3. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. 2006. 323 p.

4. Lee A. El movimiento del agua a través de las plantas. 2010;

5. Elvira G. evaluacion de las pérdidas por evaporacion en embalses de riego. 2010;2:26–38p.

6. Damario EA, Catt CL. EN LA ARGENTINA SEGUN EL METODO DE PENMAN 1948. 1948;3(1):271–292p.

7. El LEN, Del V, Lizarraga-celaya C, El LEN, Yaqui VDEL, The LIN, et al. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO EN CHILE BANANA (Capsicum annuum. 2011;(SEPTEMBER).

8. De LCC, Lima FM, Rosa MA. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da melancia sem. 2010;1(2):23–34p.

9. Toribio MIS, Romero A. Estado Actual de los metodos de estimación de la evapotranspiracióm. Aplicada a la cuenca del rio Quipar. 2011;2(1):189–202p.

10. Jr E, Acosta-gallegos JA. Habilidad de estimación de los métodos de evapotranspiración para una zona semiárida del centro de méxico. 2011;2(3):399–415p.

11. Zayas C, García R, Varona M, Seijas L. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río Evapotranspiration and crop coefficients for coffee trees in Pinar del Río province. 2015;

12. Rodr R, Pire R. Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada. 2010;58(1):73–96p.

13. José F, Materán V, Oliveira RADE, Roberto P, Sediyama GC, Emilia H, et al. Lisimetro com lencol feático constante operado con Irrigametro modificado para la medida de la evapotranspiracion de referencia. 2010;9(2):364–375p.

14. Puppo L, García-petillo M. Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. 2010;(5982):25–31p.

15. Bucio HK, Bâ K, Sánchez S, Reyes D. Estudio experimental para la determinación de los coeficientes de cultivo de la vainilla (Vanilla spp .) Resumen Introducción. 2012;4(1):12p.

16. Herrera Puebla J, González Robaina F, Zamora Herrera E. Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta. Rev Cie Téc Agr [Internet]. 2010;80–90p. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000100009&lang=pt

17. Lopez, J. Necesidades hídricas de los cultivos. Universidad de Sinaloa. México. 2010. 28p

18. Edmuno, H. Evapotranspiración. Laboratorio de Suelo, agua y planta de la Universidad de Chile. Boletín Informativo en mayo. 2009. 5-6p.

19. CaldarI, J. . Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de luz de calidad en el cultivo de hortalizas. I Simposio Internacional de Invernaderos. 2007. 7p

20. Castillo, F. Agro meteorología. 2ed. Mundi-Prensa. España. 2001. 395-398p

21. E. Carbajal et al. Estimación del coeficiente de cultivo en lechuga mediante tratamiento digital de imágenes. Revista Investigación ETSIA. 2010.

22. Monteiro, A. Hélio, J.Estimativa da evapotranspiração e coeficiente de cultivo da *Heliconia psittacorum* L x *H. spathocircinada* (Arist) cultivada em ambiente protegido.2011.23-30p.

23. Paulino, S. Azevedo, B. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. 2010.45-50p.

24. Monteiro, A. Evapotranspiração e coefi cientes de cultivo da *Alpinia purpurata. 2010.* 39, n. 4, p. 481-486p.

25. Silva, E. Bezerra J. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da bananeira no Vale do Curu, CE.2010. v. 40, n. 2, p. 203-210p.

26 Reyes, S. COEFICIENTES DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE BRÓCOLI CON RIEGO POR GOTEO.2011.34-45p.

27. Barrera, R. Riego y drenaje. Universidad Santo. Bogotá Tomas. 1989. p 155 – 191p.

28. Sánchez, R. Evapotranspiración. Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca (España). Boletín Informativo.2001 5. 1-7p.

29. UNIVERSIDAD JAUME I DE CASTELLÓN. 2011. Evapotranspiración Docencia de Recurso hídricos.2011.

30. Olalla M. Agua y agronomía. Ed. Mundi Prensa. Madrid.2005. 178p

31. Díaz, D. Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla. 2012. Vol. 21, No. 4.42-47p

32. Pacheco de Souza, A.; Batista Alves P., João; Duarte Batista da Silva. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo A, vol. 33, núm. 1, enero-marzo, 2011.15-22p

Anexos

Anexo 1 Pesos de los distintos baldes, para la determinación de los valores de ETo y ETc

# Plantas	2	6	15	18	23	33	38	42	44	48
20/08/2015	34.56	34.54	33.66	34.82	35.04	31.52	33.84	30.44	30.30	31.54
23/08/2019	34.03	34.00	33.11	34.31	34.86	31.22	33.37	30.02	29.23	30.65
Diferencia	0.53	0.54	0.55	0.51	0.18	0.30	0.47	0.42	1.07	0.89
# Plantas	1	9	13	19	25	29	33	39	43	46
23/08/2015	33.58	33.32	31.16	34.20	30.82	31.62	31.28	28.00	29.76	31.76
26/08/2023	33.18	32.92	30.74	33.74	30.46	31.16	30.92	27.70	28.81	30.78
Diferencia	0.40	0.40	0.42	0.46	0.36	0.46	0.36	0.30	0.95	0.98
# Plantas	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29
26/08/2015	33.82	29.32	31.46	36.00	31.14	33.66	35.88	34.04	28.56	30.40
29/08/2027	33.54	29.05	31.00	35.02	31.00	33.12	35.21	33.66	27.06	29.88
Diferencia	0.28	0.27	0.46	0.98	0.14	0.54	0.67	0.38	1.50	0.52
# Plantas	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
29/08/2015	34.46	33.94	31.08	34.32	29.66	31.04	33.42	31.46	31.58	30.18
01/09/2031	33.28	32.82	30.20	33.38	28.54	30.14	32.56	30.68	30.57	28.03
Diferencia	1.18	1.12	0.88	0.94	1.12	0.90	0.86	0.78	1.01	2.15
# Plantas	1	4	7	10	13	16	19	23	25	28
01/09/2015	32.40	33.94	33.16	30.18	28.52	31.26	29.78	33.54	32.66	30.18
04/09/2035	32.05	33.25	33.03	29.97	28.06	31.01	29.20	33.11	31.87	29.66
Diferencia	0.35	0.69	0.13	0.21	0.46	0.25	0.58	0.43	0.79	0.52
# Plantas	2	5	8	12	15	19	22	24	26	28
04/09/2015	32.32	28.48	30.92	33.78	28.66	29.94	28.02	31.42	27.34	30.20
07/09/2039	31.56	27.92	30.64	33.44	28.14	29.50	27.86	31.04	26.53	29.62
Diferencia	0.76	0.56	0.28	0.34	0.52	0.44	0.16	0.38	0.81	0.58
# Plantas	1	4	8	11	14	17	20	23	25	28
07/09/2015	32.40	32.54	31.78	34.89	30.12	33.25	34.67	33.54	32.76	30.56
10/09/2043	31.16	31.36	30.12	33.82	29.10	32.30	33.80	32.86	31.65	29.53
Diferencia	1.24	1.18	1.66	1.07	1.02	0.95	0.87	0.68	1.11	1.03
# Plantas	3	6	9	12	15	18	20	22	29	27
10/09/2015	32.32	33.54	31.04	34.40	28.66	31.80	34.65	31.04	31.28	31.04
13/09/2047	31.56	32.36	30.64	33.44	28.14	30.63	33.87	29.89	30.46	29.97
Diferencia	0.76	1.18	0.40	0.96	0.52	1.17	0.78	1.15	0.82	1.07
# Plantas	2	7	10	14	17	20	21	24	26	30
13/09/2015	32.34	33.49	31.10	34.46	33.23	34.65	35.75	31.40	27.33	31.00
16/09/2051	31.54	32.34	30.60	33.36	32.54	33.45	34.80	30.15	26.41	30.00
Diferencia	0.80	1.15	0.50	1.10	0.69	1.20	0.95	1.25	0.92	1.00
# Plantas	1	5	7	11	15	18	21	23	27	29
16/09/2015	32.39	29.87	33.45	34.85	28.73	31.78	35.00	33.53	31.03	31.27
19/09/2055	31.67	28.78	32.87	33.56	27.74	30.76	34.12	32.45	30.02	30.12
Diferencia	0.72	1.09	0.58	1.29	0.99	1.02	0.88	1.08	1.01	1.15

# Plantas	2	5	9	12	15	18	22	24	26	29
19/09/2015	32.32	29.86	31.04	34.40	28.65	31.78	28.02	31.40	27.32	31.27
22/09/2059	31.30	28.75	29.89	33.25	27.56	30.56	27.03	30.32	26.21	30.27
Diferencia	1.02	1.11	1.15	1.15	1.09	1.22	0.99	1.08	1.11	1.00

# Plantas	1	4	7	11	14	17	20	24	27	30
22/09/2015	31.12	31.33	31.38	30.56	33.17	29.31	31.03	28.06	30.45	30.01
25/09/2063	30.03	30.7	30.32	30.36	32.53	28.56	30.11	27.16	29.56	29.05
Diferencia	1.09	0.63	1.06	0.20	0.64	0.75	0.92	0.90	0.89	0.96
# Plantas	2	5	8	13	16	19	22	24	26	30
25/09/2015	31.26	31.78	30.48	30.56	33.01	30.23	31.05	29.15	30.25	30.04
28/09/2067	30.28	30.8	29.66	29.98	32.63	29.12	30.12	28.74	29.56	29.08
Diferencia	0.98	0.98	0.82	0.58	0.38	1.11	0.93	0.41	0.69	0.96
# Plantas	1	3	6	9	12	14	18	22	25	28
28/09/2015	31.12	31.44	31.48	30.86	33.22	29.4	31.3	28.02	30.68	30.04
01/10/2071	30.12	30.8	30.48	30.36	32.6	28.64	30.8	27.98	30.01	29.08
Diferencia	1.00	0.64	1.00	0.50	0.62	0.76	0.50	0.04	0.67	0.96
# Plantas	19	2	8	6	11	42	42	16	30	26
01/10/2015	33.56	31.68	32.54	30.97	33.78	31.23	32.56	28.56	30.99	30.28
04/10/2075	32.03	30.96	31.97	30.51	32.87	30.94	31.93	27.98	30.45	29.88
Diferencia	1.53	0.72	0.57	0.46	0.91	0.29	0.63	0.58	0.54	0.40
# Plantas	3	11	15	20	14	17	22	24	29	26
04/10/2015	31.38	31.78	32.09	30.98	33.17	30.16	31.06	28.79	30.88	30.29
07/10/2079	30.97	31.06	31.58	30.22	32.51	29.56	30.85	27.53	30.19	29.58
Diferencia	0.41	0.72	0.51	0.76	0.66	0.60	0.21	1.26	0.69	0.71
# Plantas	1	4	12	16	15	18	23	28	27	29
07/10/2015	32.65	34.12	31.59	34.89	29.01	32.06	34.87	31.05	31.78	31.52
10/10/2083	32.03	33.86	30.87	33.56	28.22	30.79	33.87	29.97	30.66	31.03
Diferencia	0.62	0.26	0.72	1.33	0.79	1.27	1.00	1.08	1.12	0.49
# Plantas	4	7	11	12	19	13	2	3	30	28
10/10/2015	33.56	34.12	31.23	34.67	29.45	31.62	34.03	31.88	31.23	30.76
13/10/2087	33.02	32.96	30.42	33.87	28.62	31.03	33.56	30.78	30.45	30.01
Diferencia	0.54	1.16	0.81	0.80	0.83	0.59	0.47	1.10	0.78	0.75
# Plantas	8	12	9	18	20	5	17	26	29	27
13/10/2015	33.35	33.88	32.15	33.40	29.86	31.54	34.63	31.88	31.78	31.07
16/10/2091	32.45	32.59	31.22	32.12	28.97	30.56	33.96	30.45	30.69	29.94
Diferencia	0.90	1.29	0.93	1.28	0.89	0.98	0.67	1.43	1.09	1.13
# Plantas	8	15	21	23	24	25	13	14	30	28
16/10/2015	32.56	33.52	31.56	34.95	28.61	31.77	34.65	31.09	31.29	31.78
19/10/2095	31.52	33.06	31.01	33.88	28.14	30.85	33.88	30.03	30.38	30.97
Diferencia	1.04	0.46	0.55	1.07	0.47	0.92	0.77	1.06	0.91	0.81
# Plantas	7	2	13	17	19	24	14	23	29	26
19/10/2015	34.89	34.97	33.78	34.88	35.16	31.66	33.85	30.78	30.23	31.59
22/10/2015	34.23	34.12	33.15	34.25	34.86	31.03	33.29	30.16	29.20	30.63
Diferencia	0.66	0.85	0.63	0.63	0.30	0.63	0.56	0.62	1.03	0.96
# Plantas	3	7	14	20	17	12	11	10	29	30
22/10/2015	33.52	30.06	31.85	35.66	31.89	33.97	36.59	34.79	28.87	30.81

25/10/2015	32.75	29.05	31.03	35.06	30.96	33.25	35.87	33.89	27.94	29.84
Diferencia	0.77	1.01	0.82	0.60	0.93	0.72	0.72	0.90	0.93	0.97
# Plantas	9	12	2	5	15	17	21	4	27	26
25/10/2015	33.56	32.45	31.87	35.67	32.45	32.45	32.23	34.67	29.56	30.72
28/10/2015	32.75	31.34	31.03	35.06	30.96	32.25	31.23	33.89	27.94	29.84
Diferencia	0.81	1.11	0.84	0.61	1.49	0.20	1.00	0.78	1.62	0.88

Anexo 2. Valores utilizados para el calcula de los coeficientes de cultivo como para la determinación de la necesidades de riego, para el cultivo de fréjol.

ETC	ETO	KC	KC INICIAL	KP	AU	PS	PS*100	PS	EB	NR
0.44	0.98	0.4	0.5	0.9	0.21	0.015	0.34	0.0034	3	0.004219
0.40	0.97	0.4		0.9	0.21	0.030	1.35	0.0135	3	0.007736
0.47	1.01	0.5		0.9	0.21	0.045	3.03	0.0303	2	0.008701
0.97	1.58	0.6		0.9	0.21	0.060	5.39	0.0539	3	0.023266
0.39	0.65	0.6		0.9	0.21	0.075	8.42	0.0842	3	0.027953
0.43	0.69	0.6		0.9	0.21	0.090	12.12	0.1212	2	0.023387
ETC	**ETO**	**KC**	**KC MEDIO**							
1.08	1.07	1.0	0.95	0.9	0.21	0.160	38.30	0.3830	2	0.068064
0.87	0.95	0.9		0.9	0.21	0.220	72.41	0.7241	3	0.126867
0.96	0.96	1.0		0.9	0.21	0.135	27.26	0.2726	3	0.084607
0.96	1.08	0.9		0.9	0.21	0.200	59.84	0.5984	3	0.111563
1.10	1.06	1.0		0.9	0.21	0.210	65.97	0.6597	3	0.138100
0.77	0.93	0.8	1.0	0.9	0.21	0.210	65.97	0.6597	3	0.110667
0.77	0.83	0.9		0.9	0.21	0.195	56.89	0.5689	3	0.115218
0.63	0.82	0.8		0.9	0.21	0.210	65.97	0.6597	2	0.068450
0.71	0.47	1.5		0.9	0.21	0.230	79.14	0.7914	3	0.219277
0.64	0.70	0.9		0.9	0.21	0.190	73.90	0.7390	3	0.109654
0.88	0.81	1.1		0.9	0.21	0.240	86.17	0.8617	3	0.165991
0.79	0.77	1.0		0.9	0.21	0.200	89.76	0.8976	3	0.129706
1.05	1.11	0.9		0.9	0.21	0.210	65.97	0.6597	2	0.083134
0.79	0.86	0.9		0.9	0.21	0.230	92.90	0.9290	2	0.089018
ETC	**ETO**	**KC**	**KC FINAL**							
0.61	1.00	0.61	0.7	0.90	0.21	0.22	72.41	0.7241	3	0.084971
0.81	0.95	0.85		0.90	0.21	0.23	79.14	0.7914	3	0.123356