



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC), PARA SOYA
(GLYCINE MAX L.), BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA SANTA
INÉS

TENECOTA TENECOTA ADRIAN ARTURO
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2016



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC), PARA
SOYA (GLYCINE MAX L.), BAJO INVERNADERO EN LA
GRANJA SANTA INÉS

TENECOTA TENECOTA ADRIAN ARTURO

MACHALA
2016



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC), PARA SOYA (GLYCINE
MAX L.), BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA SANTA INÉS

TENECOTA TENECOTA ADRIAN ARTURO
INGENIERO AGRÓNOMO

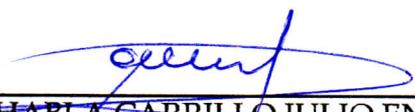
CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

Machala, 21 de octubre de 2016

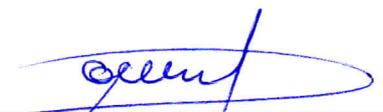
MACHALA
2016

Nota de aceptación:

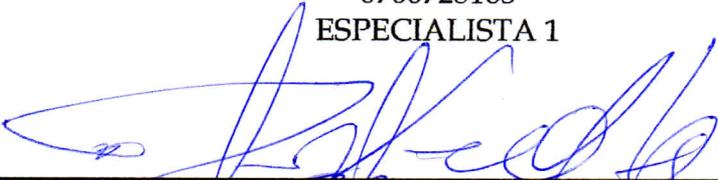
Quienes suscriben CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE, CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE, VILLASEÑOR ORTIZ DIEGO RICARDO y RODRIGUEZ DELGADO IRAN, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC), PARA SOYA (GLYCINE MAX L.), BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA SANTA INÉS, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE
0700728165
TUTOR



CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE
0700728165
ESPECIALISTA 1



VILLASEÑOR ORTIZ DIEGO RICARDO
0703508663
ESPECIALISTA 2



RODRIGUEZ DELGADO IRAN
0959288960
ESPECIALISTA 3



CONDE SOLANO JOSE LAURO
1102072343
ESPECIALISTA SUPLENTE

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TENECOTA TENECOTA ADRIAN ARTURO.docx (D21686015)
Submitted: 2016-09-09 20:56:00
Submitted By: adrian_201019@hotmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

IBAÑEZ UCHUARI CRISTHIAN FERNANDO.docx (D21667380)
IBAÑEZ UCHUARI CRISTHIAN FERNANDO.docx (D21683787)
<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n3/v2n3a8.pdf>

Instances where selected sources appear:

5



CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, TENECOTA TENECOTA ADRIAN ARTURO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC), PARA SOYA (GLYCINE MAX L.), BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA SANTA INÉS, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que él asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de octubre de 2016

TENECOTA TENECOTA ADRIAN ARTURO
0705578060

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico en especial a un SER maravilloso que me enseñó que puedo alcanzar con su ayuda todo lo que anhelo, DIOS. A mis padres Luis Tenecota y Teresa Tenecota quienes me apoyaron hasta el final de este logro sin importar las adversidades, a mis hermanos Verónica y Allan, sobrinos Erick y Valentina, y a todos mis familiares quienes supieron motivarme a seguir y no rendirme. También quiero dedicarlo a mi familia en Cristo, Joao, Darío, Anthony, Tuto, Kathy, Nardy, Joselyn, seres que Dios puso en mi vida para poder valorar lo que es la amistad verdadera.

Adrian Tenecota

AGRADECIMIENTO

Vivo agradecido contigo Dios porque cada amanecer me muestras más tu amor y tu fidelidad y este logro es una prueba de aquello, por eso te sirvo por agradecimiento a todo lo que has hecho por mí. A mis padres Luis y Teresa pues decirles que para mí son dos personas muy especiales porque me enseñaron a luchar de la manera correcta para alcanzar mis objetivos.

A un docente, un amigo, una persona que me enseñó que debemos sacrificar todo para ver realizados nuestros sueños, de mi parte mis más sinceros agradecimientos al Ing. Agríc. Julio Enrique Chabla Carrillo por todo su apoyo en la realización de este trabajo y la culminación de mi carrera.

Quiero agradecerle también a mi hermano, un ejemplo de persona para muchos jóvenes, gracias por todo Joao Pérez por estar en esos momentos difíciles, y ayudarme a no rendirme nunca.

Adrian Tenecota

RESUMEN

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc), PARA SOYA (*Glycine max* L.), BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA SANTA INÉS

Autor:

Adrian Arturo Tenecota Tenecota

Tutor:

Ing. Julio Enrique Chabla Carrillo

En los últimos años, la agricultura ha tenido un crecimiento acelerado debido a la demanda de la humanidad, por lo que se han tomado medidas para incrementar las producciones de los cultivos, y uno de los parámetros fundamentales a considerar para obtener cultivos bien desarrollados es el agua, el conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos son la parte esencial para su normal desarrollo, se debe tener mucho cuidado al momento de aplicar el riego a los cultivos ya que un exceso de agua favorece a la lixiviación de los nutrientes del suelo e inundaciones, en cambio aplicaciones de riego por debajo de las necesidades hídricas pueden causar estrés en las plantas lo que causaría una disminución en las producciones. Existen varios métodos utilizados por investigadores para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo, el más utilizado y recomendado es el método del coeficiente de cultivo ya que es muy práctico y confiable al momento de obtener los resultados, para la determinación del coeficiente de cultivo es necesario tomar en cuenta factores que inciden de manera directa en el cálculo, como la temperatura, radiación solar, tipo de suelo. Se debe recalcar que el coeficiente de cultivo es el producto entre la evapotranspiración del cultivo (Etc) y la evapotranspiración de referencia (Eto), la primera se lo determina con la ayuda de los lisímetros de pesada lo cual facilita valores reales y fáciles de obtener, la evapotranspiración de referencia (Eto) se la determina con la ayuda de un cultivo de referencia en este caso se utiliza el pasto *ryegrass* utilizado por la FAO. El objetivo principal del estudio fue determinar la curva de Kc, para el cultivo de soya (*Glycine max* L.) durante su periodo vegetativo, bajo condiciones controladas de invernadero. En el estudio se determinaron los valores de coeficiente de cultivo utilizando lisímetros de pesada y un sistema de riego por goteo, los cuales permitieron obtener valores semanalmente y diferenciados por cada etapa vegetativa en campo, para la determinación de los valores de la evapotranspiración de cultivo

(Etc) se siguieron las siguientes pasos, lo cual fue tomar diez plantas al azar de un total de 40 unidades y se les registro el peso antes y después del riego, el mismo procedimiento se debe seguir para determinar la evapotranspiración de referencia (pasto) en donde se tomaron cinco plantas al azar de diez unidades y se les registro el peso antes y después del riego. Ya obtenidos los valores de los coeficientes de cultivo para cada etapa vegetativa se procede a calcular las necesidades hídricas por medio de fórmulas. Los resultados obtenidos en la investigación indican que los valores de coeficiente de cultivo (K_c) y las necesidades hídricas más altas se ubican en la etapa de mediados de desarrollo y para la etapa final estos valores declinan, las duraciones de las etapas vegetativas obtenidos en el presente estudio varían con los proporcionados por la FAO con un lapso de 10 días, debido a condiciones climáticas, variedad, entre otros, por lo que se recomienda realizar otros ensayos con condiciones diferentes.

Palabras clave: coeficiente de cultivo, etapas vegetativas, necesidades hídricas, evapotranspiración, riego.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE CROP COEFFICIENT (Kc), FOR SOYBEAN (*Glycine max* L.),
UNDER GREENHOUSE ON THE FARM SANTA INÉS

Author:

Adrian Arturo Tenecota Tenecota

Tutor:

Ing. Julio Enrique Chabla Carrillo

In recent years, agriculture has had an accelerated growth due to the demand of humanity, so that steps have been taken to increase the production of the crops, and one of the key parameters to consider for crops well developed is the water, the knowledge of the water needs of crops are the essential part of their normal development, care must be taken when applying irrigation to crops as an excess of water favors the leaching of nutrients from the soil and floods, in irrigation applications change below the water needs can cause stress in plants which can cause a decrease in the Productions. There are several methods used by researchers for the calculation of the water needs of the crop, the most widely used and recommended is the method the crop coefficient as it is very convenient and reliable at the time of obtaining the results for the determination of the coefficient of cultivation is necessary to take into account factors that have a direct impact on the calculation, as the temperature, solar radiation, soil type. It should be stressed that the crop coefficient is the product between the crop evapotranspiration (Etc) and the reference evapotranspiration (ETO), the first we determined with the help of the lysimeters heavy which provide us with actual values and easy to obtain the reference evapotranspiration (ETO) is determined with the help of a crop of reference in this case was used the grass ryegrass also used by FAO. The main objective of the study was to determine the curve of Kc, for the cultivation of soybean (*Glycine max* L.) during its vegetative period, under controlled greenhouse conditions. The study found the values of crop coefficient using heavy lysimeters and a drip irrigation system, which allowed us to obtain values weekly and differentiated by each vegetative stage in the field, for the determination of the values of the crop evapotranspiration (Etc) proceeded to take ten plants at random from a total of 40 drives and they record the weight before and after irrigation, the same was carried out to determine the reference evapotranspiration (grass) where

we take five plants at random from ten units and they checked the weight before and after irrigation. Already obtained the values of the crop coefficients for each vegetative stage is proceeded to calculate the water needs by means of formulas. The results obtained in the investigation indicate that the values of crop coefficient (K_c) and the water needs more high are located in the mid-stage development and for the final stage these values are in decline, the durations of the vegetative stages obtained in this study vary with the provided by FAO with a period of 10 days, due to climatic conditions, variety, among others, it is recommended to perform other tests with different conditions.

Key words: crop coefficient, vegetative stage, water needs, evapotranspiration, irrigation.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1	TRANSPIRACIÓN	2
2.2	EVAPORACIÓN	2
2.3	EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN)	2
2.4	FACTORES QUE AFECTAN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	2
2.5	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)	3
2.6	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c)	4
2.7	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	5
2.8	LISIMETRÍA	6
2.9	ETAPAS DEL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS	8
2.9.1	ETAPA INICIAL	8
2.9.2	ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO	9
2.9.3	ETAPA DE MEDIADOS DE TEMPORADA	9
2.9.4	ETAPA FINAL DEL PERIODO	9
2.10	COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)	9
2.11	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO	12
2.12	CURVA DE COEFICIENTE DE CULTIVO	13
2.13	VALORES TABULADOS DE K_c	14
2.14	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS	15
2.15	CULTIVO DE EXPERIMENTO SOYA	15
3	MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1	UBICACIÓN DEL ENSAYO	17
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	17
3.3	MATERIALES	17
3.4	VARIABLES CONSIDERADAS	18
3.5	MEDICIÓN DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS	18
3.5.1	PORCENTAJE DE SOMBRA	18

3.5.2	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA BANDEJA	18
3.5.3	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO DE REFERENCIA	18
3.5.4	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO	19
3.6	MÉTODOS	19
3.6.1	PREPARACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	19
3.6.2	INSTALACIÓN DE LOS LISÍMETROS	20
3.6.3	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	21
3.6.4	COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)	22
3.6.5	NECESIDADES HÍDRICAS	22
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1	Valores de K_c por décadas para el cultivo de soya	24
4.2	Valores de K_c y duración de las etapas del cultivo	25
4.3	Relación de la curva de K_c calculada y la propuesta por la FAO	26
4.4	Necesidades hídricas del cultivo durante la investigación.	27
5	CONCLUSIONES	28
6	RECOMENDACIONES	29
7	BIBLIOGRAFÍA	30
8	ANEXOS	35

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA.....	4
GRÁFICO 2. TIPOS DE LISÍMETROS: DE DRENAJE Y DE PESADA.	7
GRÁFICO 3. KC DE LAS CUATRO FASES DE DESARROLLO DEL CULTIVO..	8
GRÁFICO 4. CURVA GENERALIZADA DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO.	14
GRÁFICO 5. RANGO DE CONSUMO DE AGUA Y RENDIMIENTO DE ALGUNOS CULTIVOS BAJO RIEGO SEGÚN EL BOLETÍN 33 DE LA FAO (1986), COMPARADOS CON LOS REPORTADOS EN LA BASE DE DATOS DE CUBA.....	16
GRÁFICO 6. DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, PARA LA OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) PARA SOYA (<i>GLICINE MAX L.</i>), BAJO INVERNADERO, EN LA GRANJA SANTA INÉS, 2011.....	20
GRÁFICO 7. ESQUEMA DEL LISÍMETRO DE PESADA CASERO.	21
GRÁFICO 8. CURVA DE VALORES DE KC-UTMACH POR DÉCADAS (10 DÍAS), PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO DE SOYA (<i>GLYCINE MAX L.</i>)	24
GRÁFICO 9. CURVA DE VALORES DE KC-UTMACH Y FAO POR FASES DE DESARROLLO, PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO DE SOYA.	26
GRÁFICO 10. NECESIDADES HÍDRICAS EN LAS DISTINTAS FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE SOYA.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN .	6
TABLA 2. VALORES DE KC PARA LAS FASES INICIAL, MEDIA Y FINAL PARA DISTINTOS CULTIVOS DEL GRUPO DE LAS LEGUMINOSAS, ALLEN, R., ET AL., 2006.	14
TABLA 3. VALORES DE KC Y DÉCADAS, SEGÚN LA FAO Y UTMACH, PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) PARA SOYA (GLYCINE MAX L.)	25

1 INTRODUCCIÓN

El agua disponible para la agricultura en la actualidad y en el transcurso del tiempo es muy limitada tanto cuantitativa como cualitativamente, esto se debe al crecimiento acelerado de las demandas hídricas en el uso doméstico e industrial, por tales motivos se recomienda el uso eficiente del agua. Los riegos eficientes son los capaces de mantener la humedad del suelo entre sus límites apropiados, sin embargo existen factores que influyen de manera directa como las características propias del cultivo, las condiciones climáticas, el manejo y el medio de desarrollo, todo lo que se ve reflejado en la evapotranspiración (Bonet, et al., 2010).

Para alcanzar producciones económicamente rentables se han adoptado nuevos cambios en el manejo de los cultivos y uno de ellos ha sido por instalar sistemas de riego y esto conlleva a que debemos ser precisos al momento de utilizar este sistema ya que debemos aprovechar al máximo el agua para así tener una buena producción (Duarte, et al., 2012).

Es muy importante conocer el requerimiento apropiado de agua que requieren los cultivos, para así poder tener una mayor eficiencia de los sistemas de riego y suministrar la cantidad necesaria y poder aprovechar al máximo el recurso agua, ya que un exceso o disminución de este recurso pueden provocar alteraciones en el desarrollo de nuestro cultivo viéndose disminuciones en la producción (Allen, et al., 2006).

El coeficiente de cultivo es un factor importante dentro del desarrollo del cultivo, ya que el valor de K_c depende de las características particulares del cultivo y también de parámetros climáticos que intervienen en una pequeña proporción (Herrera, et al., 2010).

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

- Determinar la curva de K_c , para el cultivo de soya (*Glycine max* L.) durante su periodo vegetativo.

Los objetivos específicos fueron:

1. Determinar los valores de k_c , para las distintas etapas fenológicas del cultivo de soya, bajo invernadero.
2. Determinar las necesidades hídricas en las distintas fases fenológicas del cultivo de soya bajo invernadero.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 TRANSPIRACIÓN

Una de las maneras que las plantas pierden agua es a través del proceso llamado **TRANSPIRACIÓN** en donde el agua se pierde en forma de vapor, principalmente por las hojas cuando sus estomas se abren, lo que causa que el agua se evapore por los poros diminutos que se encuentran en el as y envés de las hojas, existen factores que intervienen en este proceso de transpiración es la humedad relativa y la luminosidad ya que éstos estimulan a que los estomas se abran o se cierren (Lee, 2010).

2.2 EVAPORACIÓN

Según lo descrito por Elvira (2010). Define a la evaporación como un proceso, en donde el agua que se encuentra en estado líquido pasa a una fase gaseosa (vapor), existen varios factores que influyen para que se cumpla este proceso de evaporación como la radiación solar y el poder evaporante de la atmósfera.

2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVAPORACIÓN Y TRANSPIRACIÓN)

Mencionan que la evapotranspiración es un proceso en donde el agua se transfiere desde la superficie terrestre hacia la atmósfera, aquí también se incluye el agua en forma líquida contenida en los vegetales ya sean vivos o muertos ya sean de manera externa (rocío, escarcha) o interna (agua receptada por las plantas para sus procesos vitales) esta última es un proceso en donde el agua perdida se evapora por las plantas principalmente por los estomas, este proceso conocido como transpiración (Damario & Catt, 1948).

2.4 FACTORES QUE AFECTAN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Allen, et al., (2006). Detalla que el proceso de evapotranspiración se ve afectado por algunos parámetros climáticos que detallaremos a continuación: “la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento”.

Radiación solar.- Es el factor más importante dentro del proceso de evapotranspiración, ya que de éste depende el cambio de estado del agua.

Temperatura del aire.- Este es un factor importante para el cambio de estado físico del agua de líquido a vapor, mientras más frío sea el aire de la atmósfera menos energía habrá para que se dé el proceso de evaporación, y cuando la temperatura del aire de la atmósfera sea alta, mayor cantidad de agua se evaporará por la presión de saturación de la atmósfera.

Humedad atmosférica.- Este factor influye en el proceso de evapotranspiración de la siguiente manera, cuando la humedad relativa sea alta en porcentaje se presentará una menor posibilidad de que el agua se evapore ya que presenta menor tensión de vapor.

Según lo descrito por Gómez (2010), menciona que la acción del clima sobre la vegetación es conocida. La temperatura en relación con la humedad, favorece a la floración y la fructificación, siempre que estén en los límites requeridos. Una temperatura elevada favorece la absorción por las raíces y la transpiración por las hojas, también acelera la fase reproductiva de la planta (floración, fecundación y maduración de frutos); en cambio, con una temperatura baja se producen resultados adversos, disminuye las funciones de la planta.

2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (E_{To})

Según lo descrito por López (2010), menciona que la evapotranspiración de referencia detalla de una manera exacta la necesidad de agua que requieren los cultivos para tener un desarrollo fisiológico eficaz, ya que estos necesitan de condiciones óptimas de ciertos parámetros climáticos como lo es la humedad relativa, velocidad del viento y temperatura del aire, y estos también influyen en la variación de la evapotranspiración de referencia (Figura 1).

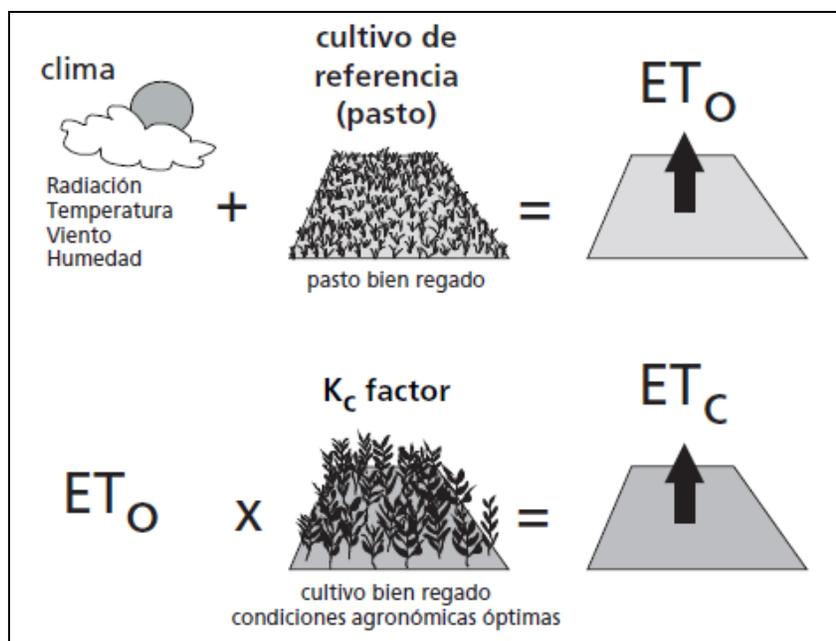


Gráfico 1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (Allen, et al., 2006).

El cálculo de la evapotranspiración de referencia se lo puede realizar con la ayuda de una superficie de referencia denominada pasto hipotético, con una altura de 8 a 15 cm aproximadamente, que está en normal crecimiento y que pueda cubrir la totalidad de la superficie del suelo y que esté con agua necesaria para su desarrollo y una buena uniformidad (Rodríguez, et al., 2011).

La evapotranspiración de referencia también se puede determinar con la ayuda de modelos meteorológicos, teóricos-empíricos utilizando datos climáticos, por medio del tanque evaporímetro de clase A (Castro, et al., 2007).

2.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c)

“La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c , la misma que hace referencia a la pérdida de agua de un 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 máximas de producción de acuerdo a las situaciones climáticas reinantes (Allen, et al., 2006)”.

Para estimar las necesidades hídricas de un cultivo es importante conocer la evapotranspiración real del cultivo conocida como E_c , esta es calculada por el producto entre dos factores el coeficiente del cultivo (K_c) y la evapotranspiración de referencia (E_{to}), el primero está influenciado con las características del cultivo y la segunda influenciada por el poder evaporativo de la atmosfera (Odi-Lara, et al., 2013).

La evapotranspiración del cultivo es un indicador muy importante para poder determinar las necesidades hídricas del cultivo, pero es necesario poder obtener valores de las diferentes etapas fenológicas del cultivo para así poder obtener datos más precisos al momento de determinar las necesidades hídricas del cultivo (Pacheco, et al., 2011)

2.7 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Según lo descrito por Sánchez & Romero (2005), mencionan que para calcular la evapotranspiración existen muchos métodos de lo complejo a lo sencillo, los cuales necesitan de parámetros climatológicos para el respectivo cálculo. Y uno de los métodos más sencillos y de fácil aplicación es el método de Thornwaite (Sharma, et al., 2010), ya que este método requiere de datos climáticos de acceso rápido con la ayuda de una estación meteorológica del sitio.

Mediante investigaciones realizadas dentro de la agricultura existe un método aceptable para el cálculo de la evapotranspiración mensual de referencia (E_{To}) ya que éste se puede ajustar a una variedad de climas conocido como el método Penman Monteith (Mundo-Molina, 2009); para empezar los cálculos dentro de este método se necesitan valores máximos y mínimos temperatura, humedad relativa, horas de insolación, velocidad del viento y radiación solar (Vásquez-Méndez, et al., 2011)

Dentro del cálculo de la evapotranspiración también existen métodos directos, entre ellos están los lisímetros de pesada como de drenaje, estos instrumentos utilizados con más rápidos y prácticos para la obtención de los valores de evapotranspiración (Zayas, et al., 2015).

Entre los métodos utilizados se tiene los siguientes:

Tabla 1. Métodos utilizados para el cálculo de la evapotranspiración .

Método	Medidas Necesaria.	Otros Datos.
Tranque evaporímetro	Agua evaporada durante el día.	
Thornthwaite	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el N° teórico de horas sol
Blanney-Criddle	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el N° 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/cm ² .día)
Penman	Temperatura Horas reales de sol Velocidad del Viento Humedad relativa	Por tabla se obtiene otros parámetros necesarios.

2.8 LISIMETRÍA

La lisimetría es uno de los métodos también utilizados para la determinación de la evapotranspiración de un cultivo específico, este método consiste en un gran recipiente que contiene cierta cantidad de suelo determinado y es ubicado en campo abierto con condiciones naturales para que no se ve afectada en los valores; y existen dos tipos de lisímetros, de pesada y de drenaje, en donde el lisímetro de pesada son muy escasos por sus costos de instalación, en cambio los lisímetros de drenaje pueden ser caseros ya que son muy sencillos de elaborar, estos lisímetros pueden elaborarse con un recipiente (balde, maceta) y se coloca una capa conformada de suelo mineral para el desarrollo de las plantas y otra capa sólida de piedra para que permita que el agua drene (Rodríguez & Pire, 2008).

El lisímetro es una herramienta utilizada como alternativa, ya que uno de los problemas de los agricultores es no conocer con exactitud las necesidades de agua de los cultivos, este método ayuda a determinar la lámina de agua requerida por un cultivo realizando un balance hídrico (Kelso, et al., 2012).

El uso de lisímetros de pesada en investigaciones realizadas sobre las necesidades de agua de un cultivo, ayudan a determinar valores de la evapotranspiración del cultivo (Eto) o ajustar modelos agrometeorológicos, en base a este método se puede obtener resultados confiables y precisos (Cinque, et al., 2015).

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 superficial puede considerarse nula.

Para drenar y medir el agua que drena 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”.

También contamos con los lisímetros de drenajes que nos ayudan a poder obtener los valores de evapotranspiración, éstos son recipientes tienen paredes de variable espesor y en su parte inferior cuenta con otro recipiente que recoge el agua que se drena por todo el lisímetro, y se recomienda que estos sean enterrados en el suelo para así poder tener un buen desarrollo de nuestro cultivo (Barrera, 1989).

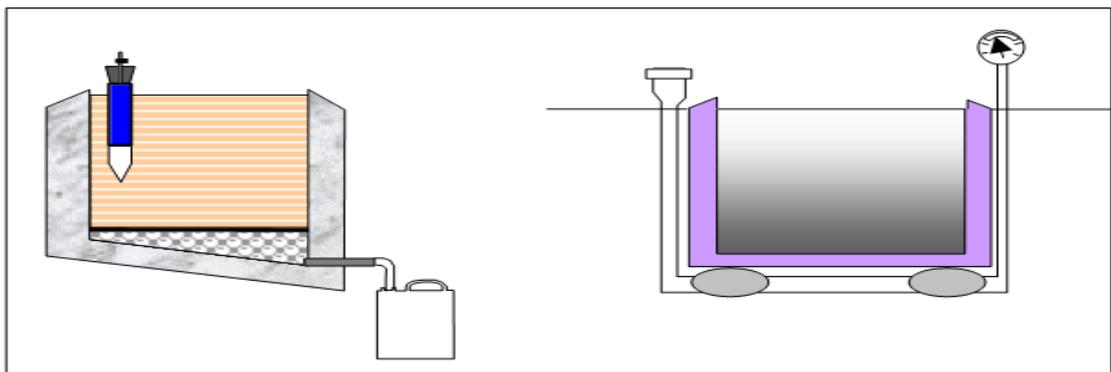


Gráfico 2. Tipos de lisímetros: de drenaje y de pesada. (Garnica, 2015)

2.9 ETAPAS DEL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Según lo descrito por Allen, et al. (2006). Las plantas durante su crecimiento y desarrollo se dividen en cuatro etapas claramente diferenciadas y éstas pueden ser influenciadas por el clima y zona en donde se desarrollan, a continuación tenemos a cada una de las etapas bien diferenciadas:

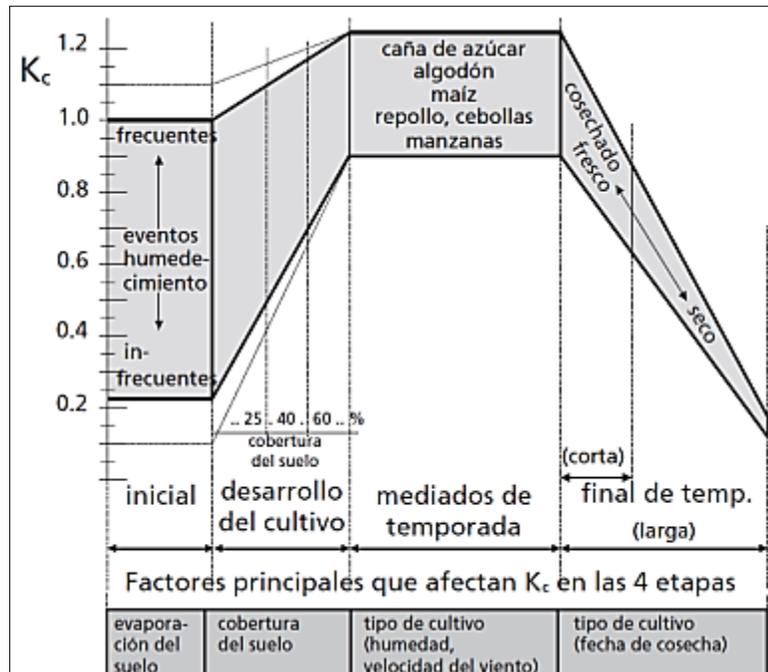


Gráfico 3. K_c de las cuatro fases de desarrollo del cultivo. Allen, et al., 2006.

2.9.1 ETAPA INICIAL

Para poder obtener los valores de coeficiente de cultivo, lo primero a realizar que es de gran importancia es poder definir las etapas fenológicas de un cultivo; la primera fase a conocer es la inicial y está determinada desde el momento de su trasplante o siembra al campo hasta que el cultivo haya alcanzado un 10% del total de la cobertura del suelo, aquí debemos considerar el tipo de cultivo, variedad del mismo, la fecha de siembra y el clima, ya que son los principales factores que influyen en el desarrollo de esta fase inicial.

En esta etapa inicial cabe recalcar que el área foliar del cultivo es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente por la evaporación del suelo, por lo que los valores de

Kc para esta fase serán altos cuando el suelo este húmedo y bajos cuando el suelo se encuentre seco (Allen, et al., 2006).

2.9.2 ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO

La fase de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento que el cultivo alcanza una cobertura del suelo del 10% hasta que alcanza una cobertura completa o efectiva del suelo. Hay muchos cultivos que alcanzan esta fase al inicio de su floración, o en otros casos hay cultivos sembrados en hileras, en donde completan esta fase cuando sus hojas se solapan entre sí (Allen, et al., 2006).

2.9.3 ETAPA DE MEDIADOS DE TEMPORADA

La fase de mediados de temporada está comprendida desde la cobertura total del suelo hasta el comienzo de la madurez, nos podemos referenciar para el reconocimiento de esta fase ya que el comienzo de madurez generalmente es el amarillamiento o senescencia de las hojas, también es la caída de las hojas, en esta fase los valores de evapotranspiración son bajos casi relacionados con los de la evapotranspiración de referencia. Dependiendo del tipo de cultivo esta fase de mediados de desarrollo puede ser más larga para cultivos permanentes y anuales, o puede ser corta para cultivos hortícolas (Allen, et al., 2006).

2.9.4 ETAPA FINAL DEL PERIODO

La fase final del cultivo está comprendida desde el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la senescencia total del cultivo. Cabe recalcar que los valores de Kc para esta etapa final depende de las prácticas de manejo, si el cultivo se cosecha en fresco entonces los valores de Kc serán altos porque, mientras que para cultivos que dejan secar o morir antes de su cosecha pues sus valores respectivos de Kc serán bajos (Allen, et al., 2006).

2.10 COEFICIENTE DE CULTIVO (KC)

Las metodologías que han sido ampliamente utilizadas por la Organización para la Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) para la obtención de los valores de la evapotranspiración de referencia, son mediante las ecuaciones de Penman-Monteith (Mundo-

Molina, 2009) y el coeficiente de cultivo (K_c), ya que mediante esta metodología se han obtenido resultados satisfactorios bajo diversas condiciones climáticas (López, et al., 2015)

Uno de los métodos aplicados para determinar el requerimiento hídrico de un cultivo es por medio del método del coeficiente de cultivo, el cual está estrechamente relacionado con la evapotranspiración de referencia (E_{to}) y la evapotranspiración del cultivo (E_c), pero este valor de coeficiente de cultivo varía dependiendo de ciertos factores climáticos como la temperatura, radiación solar y también de la zona en donde se encuentra ubicado el cultivo y la época de siembra (Villalobos-Reyes, et al., 2005)

En la agricultura por la creciente demanda de alimentos se ha optado por mejorar las técnicas de producción agrícola, con el único fin de aumentar las producciones de los cultivos y reducir el volumen de agua aplicada ya que cada vez es más limitado su uso. El conocimiento de las necesidades hídricas de un cultivo juega un papel muy importante, con la ayuda del método del coeficiente de cultivo se puede aprovechar en lo más mínimo el agua aplicada en riego, el coeficiente de cultivo se lo determina por la relación entre la evapotranspiración del cultivo (E_c) y la evapotranspiración de referencia (E_{to}) (Da Silva, et al., 2012).

Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) y la edad del mismo, en la agricultura son dos factores muy importantes ya que nos ayudan a determinar el consumo de agua de un cultivo en general, y esto haría que exista un uso eficiente de este recurso y la energía empleada en su aplicación por medio del riego (Herrera, et al., 2010).

En la agricultura podemos utilizar varios cultivos perennes como forrajes para la alimentación del ganado o la producción de ensilaje, uno de los más conocidos es el King grass (*Pennisetum sp*), esta especie nos permite realizar varios cortes al año y por ende cada corte significa el término de un periodo vegetativo y seguidamente el comienzo de un nuevo periodo; esto nos indica de que en cada periodo vegetativo se puede obtener una curva de coeficiente de cultivo, y ésta curva podría variar en cada periodo del cultivo ya que depende de otros factores que hacen que el cultivo responda a tales variaciones como la temperatura, insolación, humedad del suelo, etc., ya que en cada época del año estas pueden variar (Herrera, et al., 2010).

Uno de los parámetros que relaciona la evapotranspiración de referencia (E_{to}) con la evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) es el coeficiente de cultivo, este parámetro es fundamental para el uso racional del agua ya que nos permite conocer con exactitud las necesidades hídricas de un cultivo (Fenner, et al., 2016).

Como se conoce uno de los recursos más importantes a nivel mundial es el agua, este factor es vital para la mayoría de las actividades y entre ellos la agricultura es uno de los sistemas que más depende de este recurso utilizando un 70 % del agua en su actividad principal como es el riego (Mossande, et al., 2015).

Las necesidades hídricas de los cultivos dependen de varios factores que debemos tomar muy en cuenta en la agricultura y lo más importantes son el clima y el consumo hídrico, este último depende de la especie y estado de desarrollo del cultivo; uno de los métodos para poder aprovechar el agua al máximo ha sido poder manejar y programar un riego eficiente para el cultivo y uno de los parámetros utilizados en tal operación, es el coeficiente de cultivo (K_c) este valor es de vital importancia para el cálculo de riego a aplicar, pero está sujeto a cambios ya que este valor puede variar según el periodo de crecimiento de la planta, el clima y de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo (Mossande, et al., 2015).

Como afirma Cisneros, et al., (2015), “El agua almacenada por las plantas es utilizada para su desarrollo y sale del sistema por medio de procesos realizadas como la evaporación y transpiración, mecanismos que varían dependiendo de la humedad ambiental y por un aumento de la intensidad de radiación, temperatura y el viento”.

La información detallada por la FAO (Allen, et al., 2006) es en base a múltiples investigaciones realizadas, por lo que es recomendable realizar ensayos en las diferentes zonas ya que tales valores en muchos de los casos no se ajustan con otras zonas (Villafañe, et al., 2016).

Según lo puntualizado por Allen, et al. (2006) manifiestan: “Los valores presentados son útiles solamente como una guía general y para propósitos comparativos. Las duraciones de las etapas de desarrollo presentadas representan duraciones promedio para regiones y períodos específicos y su intención es servir de ejemplo. Cuando sea posible se deberá

utilizar información local acerca de las duraciones de cada etapa de crecimiento, con el objetivo de incorporar los efectos de la variedad del cultivo, el clima y las prácticas agrícolas”

Según lo descrito por Kelso, et al. (2012) afirman que el coeficiente de cultivo de las diversas etapas de desarrollo es uno de los parámetros fundamentales para poder estimar los requerimientos hídricos del cultivo con mayor exactitud.

Para un cálculo preciso de la evapotranspiración se deben conocer ciertos factores que influyen de manera significativa como el patrón de distribución del cultivo, etapa fenológica, fecha de siembra y condición de estrés del cultivo, y una vez conocidos y utilizados de manera correcta para el cálculo también podremos obtener el valor del coeficiente de cultivo de cada etapa de desarrollo (Castañeda, et al., 2015).

Uno de las variables principales para poder obtener un entorno apto para nuestro cultivo y así lograr y aprovechar al punto máximo de su vigor, es la evapotranspiración del cultivo (ETc) ya que ésta nos ayuda a estimar el consumo de agua durante su ciclo de crecimiento; para calcular la evapotranspiración de cultivo (ETc) se necesita de dos factores el coeficiente de cultivo (Kc) y la evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo) (Arévalo, et al., 2013).

En las prácticas agrícolas, la distribución del agua dentro del suelo tiene un efecto importante, debido a esto el riego es un factor a considerar dentro del manejo del cultivo, en estudios realizados han mostrado hasta un incremento del 43% de rendimiento de la producción, debido a la aplicación del riego (Pannunzio, et al., 2011)

2.11 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

Debemos seguir algunos pasos para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, y lo detallaremos a continuación:

1. Lo primordial es poder diferenciar las etapas de desarrollo del cultivo, obteniendo la duración de cada una y seleccionar los valores de Kc de las mismas.
2. Luego tenemos que ajustar los valores de Kc obtenidos, esto se da según las frecuencias de riego o las condiciones climáticas de la zona durante las fases de desarrollo del cultivo.

3. Una vez ajustados los datos de los coeficientes de cultivo de cada etapa del cultivo, procedemos a elaborar la curva de Kc.

4. Por último procedemos a calcular la evapotranspiración del cultivo como el producto de la ETo y Kc.

Para determinar el coeficiente de cultivo necesitamos de dos valores los cuales son: la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (Etc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), (Allen, et al., 2006).

$$Kc = ETC/ETo$$

Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo, los valores de coeficientes de cultivo influyen de manera significativamente, por tal razón se recomienda obtenerlos mediante un cultivo desarrollado en la zona ya que sus valores cambian de acuerdo a las condiciones climáticas, condiciones físicas y químicas del suelo, manejo agronómico, genética del cultivo y sistema de riego.

2.12 CURVA DE COEFICIENTE DE CULTIVO

Una vez realizado los cálculos pertinentes, el tiempo de duración de cada etapa de cultivo y sus valores de coeficiente de cultivo (Kc), podemos elaborar nuestra curva de coeficientes de cultivo.

Esta curva nos detalla de los cambios de los valores de Kc a lo largo de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, y la forma de la curva nos indicara los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo (Allen, et al., 2006).

A continuación, observaremos una curva del coeficiente de cultivo:

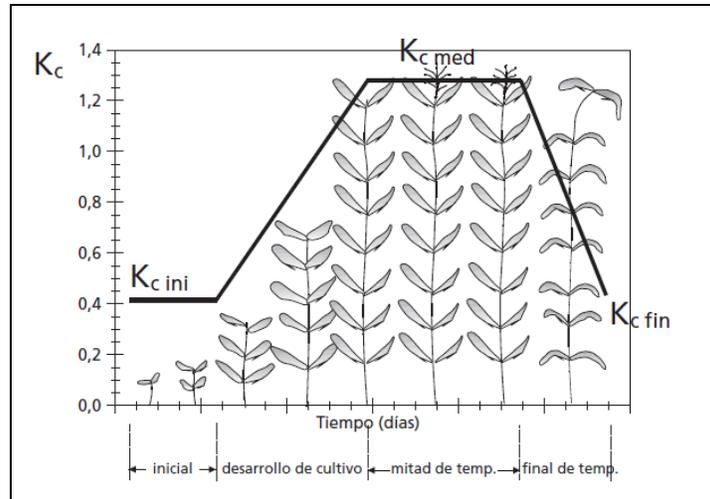


Gráfico 4. Curva generalizada del coeficiente del cultivo (Allen, R., et al., 2006).

2.13 VALORES TABULADOS DE K_c

Según Allen, et al. (2006) realizan un énfasis en el siguiente cuadro de valores típicos de K_c correspondiente a distintos cultivos y nos detallan valores de $K_{c\text{ini}}$, $K_{c\text{med}}$ y $K_{c\text{fin}}$. Estos valores son agrupados con cultivos de un mismo grupo o familia ya que sus características son similares como altura de los cultivos, área foliar y los valores de K_c también son muy parecidos, por eso la importancia de agruparlos para poder encontrar información de una manera más eficaz.

Tabla 2. Valores de K_c para las fases inicial, media y final para distintos cultivos del grupo de las leguminosas, Allen, et al., 2006.

Cultivo	K_c inicial	K_c medio	K_c final
Frijoles	0.50	1.05	0.90
Habas	0.50	1.15	1.10
Maní		1.15	0.60
Soya		1.15	0.50
Lentejas		1.10	0.30

2.14 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Según lo descrito por Kelso, et al. (2012) mencionan que “existen dos parámetros importantes que influyen en la determinación de los requerimientos hídricos de un cultivo, los cuales son el coeficiente del cultivo y la evapotranspiración de referencia, 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”.

“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” (Silva & Lima, 2009),

2.15 CULTIVO DE EXPERIMENTO SOYA

La soya (*Glycine max* L) es una de las principales oleaginosas a nivel mundial debido al alto porcentaje de proteína que contiene (35-50 %) y de aceite (15-25 %), por lo que es considerada una fuente de proteína económica y de gran calidad, y se la puede utilizar para la alimentación de ganado y alimentación humana; y se le puede dar uso tanto a su grano como a la planta.

El cultivo de soya es explotado en varios países del mundo y puede ser uno de los alimentos que ayuden a contribuir con la solución a los problemas nutricionales de las regiones tropicales. Y la importancia que se le da a este cultivo es por su uso, producción, calidad, costo de proteínas y atributos que posee esta oleaginosa.

En el 2007 este cultivo de soya alcanzó una producción total de 219,8 millones de toneladas de granos. Estados Unidos es el mayor productor (32 % de la producción mundial), seguido por Brasil (28 %), Argentina (21 %), China (7 %), India (4 %) y otros países (8 %). En estos momentos, los precios de este producto en el mercado superan los 565 USD/tonelada. (Romero, 2013).

Cultivos	FAO (Boletín 33)		Cuba		
	ET(mm)	R(t/ha)	ET(mm)	R(t/ha)	
Cereales	Maíz invierno	500-800	6-9	300-400	5,2 - 8,3
	Maíz primavera			290-419	3,9 - 6,22
	Soya invierno	450-700	2,5-3,5	133-401	0,42 - 2,9
	Soya primavera			209-441	1,36 - 3,86
	Soya verano			156-305	0,8 - 3,3
	Sorgo invierno	450-650	3,5-5	213-413	3,09 - 4,64
	Sorgo verano			370-491	4,2 - 4,95
	Frijol	300-500	1,5-2,0	280-372	1,6 - 2,98
Hortalizas	Garbanzo			150 - 293	0,5 - 1,27
	Pimiento invierno	600-900	10-15	230 - 490	5,4 - 47,6
	Pimiento primavera			250 - 370	4 - 22
	Tomate invierno	400-600	45-65	300-340	30 -63
	Col	380-500	25-35	200 - 220	8,6 - 9,9
	Cebolla	350-550	35-45	250 - 425	15 - 36
	Lechuga	-	-	-	8,3-10,3
Tubérculos	Ajo	-	-	216-360	7 - 10,6
	Papa	500-700	15-25	130-435	19 - 38,5
	Boniato invierno	-	-	250 - 320	20 -45,3
	Boniato primavera			350 - 545	14 - 73
	Malanga	-	-	550 -760	13 - 33,4
	Yuca	-	-	690-840	35 - 41
Frutales	Plátano fruta	1200/año	40-60	900 - 1409	40 - 47,9
	Plátano vianda			900 -1630	15,9 - 32,8
	Papayo	-	-	1000 - 1300	25 - 52
	Piña	700-1000	75-90	800 -1491	90-100
	Naranja	900-1200/año	25-40/año	500 -1500	12 -14,2
	Toronja		40-60/año	1400-1550	20 - 35

Gráfico 5. Rango de consumo de agua y rendimiento de algunos cultivos bajo riego según el boletín 33 de la FAO (1986), comparados con los reportados en la base de datos de Cuba.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 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 (Villaseñor, et al., 2015) y cuyas coordenadas UTM son las siguientes:

Latitud Sur:	620701
Longitud Oeste:	9636128
Altitud:	5 msnm

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

La zona en estudio según los registros del INAMHI tiene una temperatura media anual de 25 ° 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).

3.3 MATERIALES

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

- Flexómetro,
- Regla de 30 cm
- Balanza,
- Materia Orgánica,
- Fertilizantes

3.4 VARIABLES CONSIDERADAS

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

3.5 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS

3.5.1 PORCENTAJE DE SOMBRA

Para determinar el porcentaje de sombra se realizó el siguiente procedimiento en donde se tomaron 10 plantas totalmente al azar (aleatorio simple) y se les procedió a calcular el diámetro comprendido entre el borde de sus hojas, luego se sacó un promedio de las muestras tomadas y por último la relacionamos con el área de siembra utilizada (Allen et al., 2006).

3.5.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA BANDEJA

Para la obtención de esta variable con la ayuda del tanque evaporímetro de clase A se pudieron obtener datos diarios, los cuales fueron importantes para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo (Allen et al., 2006).

3.5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO DE REFERENCIA

Los valores obtenidos se tomaron directamente del cultivo de referencia en este caso del pasto Ray glass, se tomaron cinco plantas al azar que fueron pesadas una vez aplicadas el riego y después de tres días se pesaban nuevamente y por la diferencia de peso se obtenían los datos de la evapotranspiración de referencia (Allen et al., 2006).

3.5.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

Para cumplir con esta variable se tomaron diez plantas del cultivo de soya () totalmente al azar las cuales fueron pesadas en primera orden ya con el riego aplicado y después de tres días nuevamente fueron pesadas para poder obtener la diferencia de peso, dicho valor utilizado directamente como evapotranspiración del cultivo (Allen et al., 2006).

3.6 MÉTODOS

Se realizaron varios procedimientos para poder determinar los valores de Kc del cultivo de soya (*Glycine max* L.) en sus distintas fases fenológicas, todo esto se realizó bajo invernadero, a continuación el procedimiento detallado:

3.6.1 PREPARACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El área experimental utilizada estaba ubicada dentro del invernadero de la Granja Santa Inés, en donde se preparó las camas de acuerdo a las distancias de siembra requeridas por el tipo de cultivo utilizado, en donde nuestras unidades experimentales en total fueron 48 contando así con 16 camas con tres unidades experimentales cada una (Gráfico 5).

Las características del área experimental son las siguientes:

- Tamaño del invernadero (8 x 21 m) = 168 m²,
- Área a utilizar = 42,00 m²,
- Área útil = 23,04 m²,
- 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 = 1,30 m; y,
- Separación entre goteros = 0,40 m.

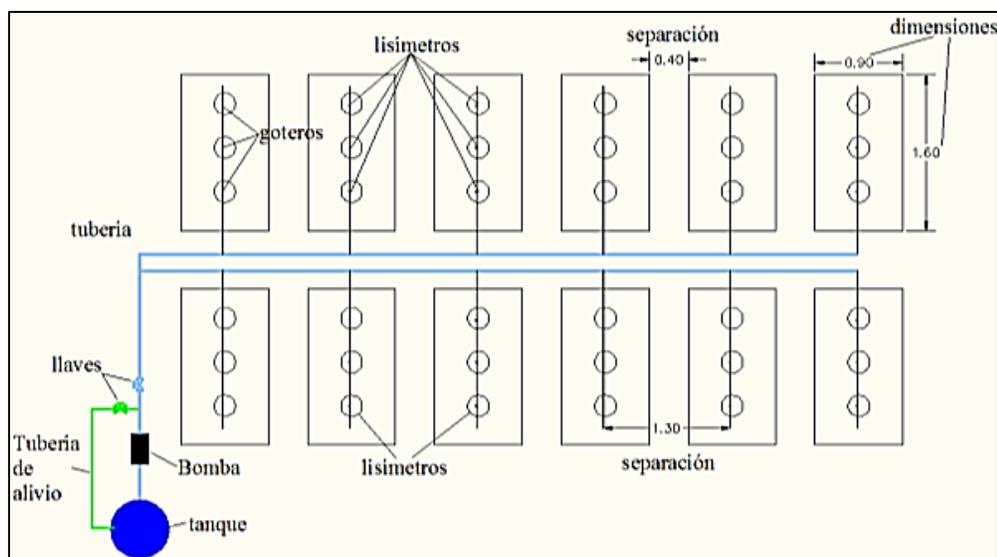


Gráfico 6. Distribución del área de estudio, para la obtención del coeficiente de cultivo (k_c) para soja (*Glicine max L.*), bajo invernadero, en la granja Santa Inés, 2011.

3.6.2 INSTALACIÓN DE LOS LISÍMETROS

Los materiales que se utilizaron para la elaboración de los lisímetros son dos recipientes plásticos de diferentes tamaños; uno de mayor tamaño (22cm de diámetro y 30 cm de altura) en donde se procedió a trasplantar la planta para su desarrollo, en su parte inferior se perforo, a este recipiente se la dividió en tres secciones:

- 1) La primera parte es un espacio libre en la parte superior, se midió del borde del tacho dos centímetro libres de material, esto nos sirvió para que el agua aplicada en el riego no se rebote por el borde, manteniendo el agua dentro del lisímetro y no tener alteraciones en los datos.
- 2) La siguiente parte del recipiente estuvo conformada con suelo en donde fueron trasplantadas las plantas para su normal desarrollo, la cual conto con un espesor de 20 cm.
- 3) La tercera parte del recipiente estuvo conformada por una capa filtrante, la finalidad de ésta es para que filtre el agua lixiviada y salga lo más limpia posible al tacho recolector, y estuvo conformada por una capa de piedrecillas con un espesor de 6 cm.

Y el recipiente plástico de menor tamaño fue ubicado debajo del recipiente de mayor tamaño, y su función principal fue la de recolectar el agua que se dreno por el recipiente de tamaño mayor (Figura 6).

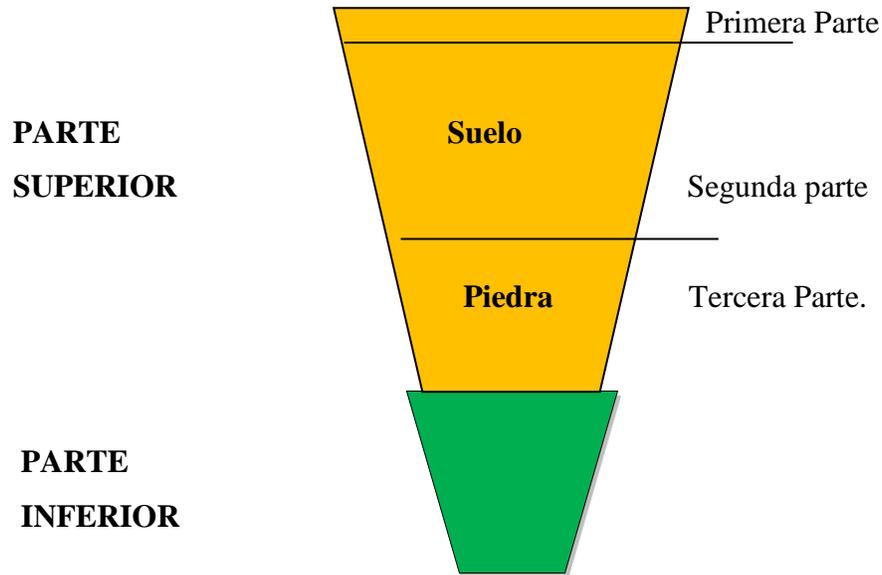


Gráfico 7. Esquema del lisímetro de pesada casero.

Los lisímetros instalados para la investigación fueron ubicados en la superficie del suelo, considerando la distancia de siembra requerida por el cultivo y por las líneas de goteo instaladas.

3.6.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Para la instalación del sistema de riego se tomó en cuenta la distancia de siembra requerida por el cultivo, una vez hecho todos los cálculos adecuados, procedimos a la instalación del sistema de riego para lo cual utilizamos el riego por goteo, entonces instalamos 16 laterales una para cada cama del cultivo con una distancia entre laterales de 1,30m, cada lateral contaba con tres goteros correspondientes a cada unidad experimental separados a una distancia de 0,40 m; el material utilizado en los laterales fue de polietileno y en las tuberías principales utilizamos materiales de PVC.

3.6.4 COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo se lo obtuvo con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$Kc = Eto / Etc$$

Dónde:

Kc = coeficiente de cultivo

Eto = Evapotranspiración de referencia (l/m²).

Etc = Evapotranspiración real (l/m²).

3.6.5 NECESIDADES HÍDRICAS

Para poder determinar las necesidades de riego diarias se utilizó la siguiente fórmula:

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

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)***

*Los valores de EB fueron obtenidos con la ayuda del tanque evaporímetro de clase A, en donde la diferencia de las lecturas tomadas fueron los valores utilizados

**El coeficiente de Kp según las características de nuestro tanque evaporímetro, fue un valor de 0,9

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

El porcentaje de cobertura del cultivo con relación al área asignada del mismo se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

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

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

Para calcular el tiempo de riego se utilizó 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 DISCUSIÓN

4.1 Valores de Kc por décadas para el cultivo de soya

En el Gráfico 8 se puede apreciar los valores por décadas del coeficiente de cultivo (Kc) de soya durante todo su ciclo vegetativo, notándose que los valores varían con el transcurso de los días y están sujetos a cambios influenciados por ciertos parámetros climáticos tales como la temperatura, radiación, humedad atmosférica y velocidad del viento, lo cual coincide con lo expresado por Gómez (2010) (Mossande, et al., 2015), que las condiciones climáticas como la temperatura y la humedad intervienen de manera directa en la duración del ciclo vegetativo de la planta causando una duración precoz o tardía del cultivo.

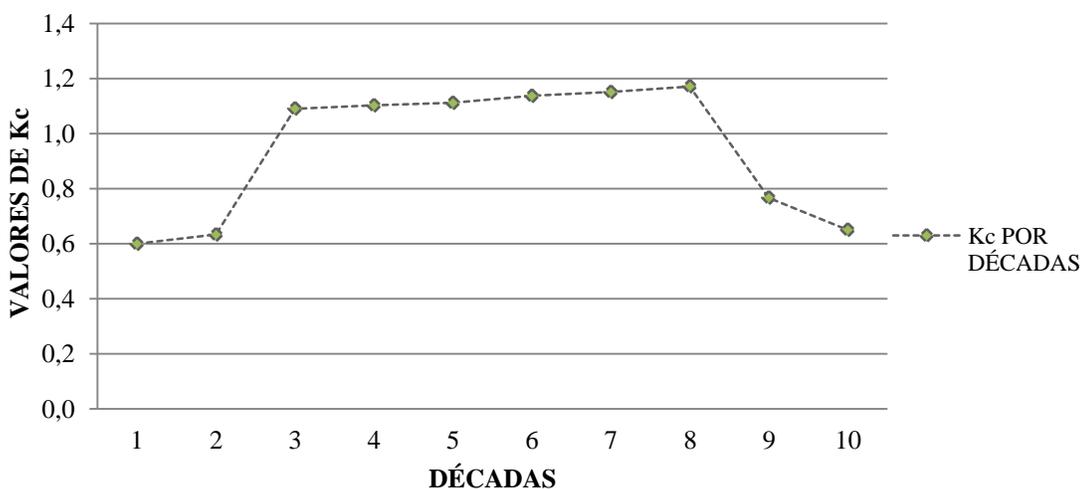


Gráfico 8. Curva de valores de Kc-UTMACH por décadas (10 días), para la determinación del coeficiente de cultivo de soya (*Glycine max* L.) (Tenecota, 2016).

Los valores de Kc varían, de 0,60 a 1,10 en las tres primeras etapas, obteniendo un valor de 0,70 para la etapa final; variaciones debido a que en los primeros días del cultivo los valores del cultivo de referencia (Eto) obtenidos fueron mayores por lo que proporcionan valores de Kc bajos, a diferencia de que cuando el cultivo alcanza su más alto desarrollo los valores de Kc aumentan, concordando a lo expresado por Allen, R., et al. (2006), en cambio en las décadas intermedias el valor de Kc está en relación directa con el área foliar.

4.2 Valores de Kc y duración de las etapas del cultivo

En la Tabla 3 se señalan los valores tabulados de Kc obtenidos en la UTMACH y los Kc propuestos por la FAO, observándose que en la primera etapa el valor de Kc determinado en la UTMACH es superior al de la FAO, con una diferencia de 0,20; mientras que en las fases de desarrollo y mediados de desarrollo se obtuvieron valores menores con 0,05 en comparación con los de la FAO. Y para la fase final se presenta un incremento de Kc de 0,20; los valores obtenidos en la UTMACH se relacionan muy estrechamente con los valores propuestos por la FAO, lo cual concuerda por lo mencionado por Allen, et al (2006) lo cual expresa que los valores de los coeficientes de cultivo de la FAO son el resultado de múltiples investigaciones que se han adaptado a las distintas zonas de producción y en las cuales se ha considerado algunos parámetros climáticos.

Tabla 3. Valores de *kc* y décadas, según la FAO y UTMACH, para la determinación del coeficiente de cultivo (*kc*) para soya (*Glycine max* L.)

Fases	UTMACH		FAO	
	<i>Kc</i>	Décadas	<i>Kc</i>	Décadas
Inicial	0,6	20	0,4	15
Desarrollo	1,1	25	1,15	15
Med. de Desarrollo*	1,1	30	1,15	40
Final	0,7	20	0,5	15

* Medios de desarrollo

4.3 Relación de la curva de Kc calculada y la propuesta por la FAO

En el Grafico 8 se puede observar las curvas de los coeficientes de cultivo propuestas por la FAO y los obtenidos en la UTMACH, estableciendo las siguientes duraciones de las etapas vegetativas de 20/25/30/20 en la UTMACH, mientras que para la FAO las duraciones son de 15/15/40/15, existiendo una variación del ciclo vegetativo de 10 días entre las dos investigaciones, siendo para la UTMACH el ciclo más prolongado, lo cual se asimila a lo expresado por Kelso, et al. (2012) que menciona que la duración de las etapas fenológicas del cultivo está directamente influenciada por las condiciones climáticas, variedad del cultivo, entre otros.

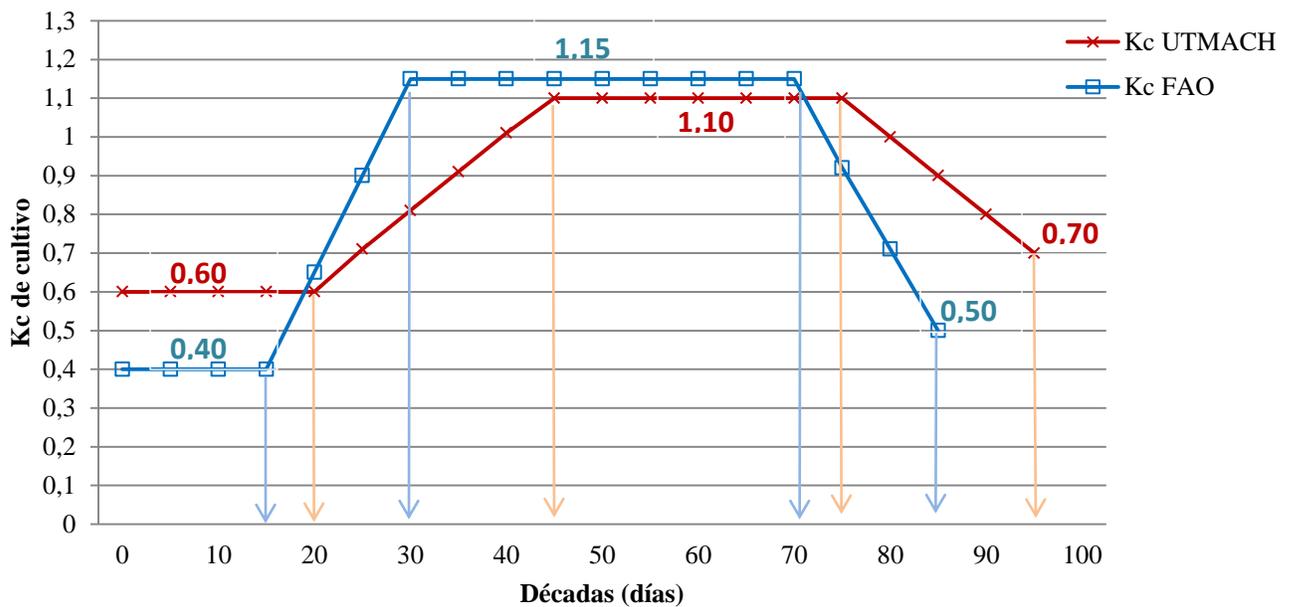


Gráfico 9. Curva de valores de Kc-UTMACH y FAO por fases de desarrollo, para la determinación del coeficiente de cultivo de soja.

4.4 Necesidades hídricas del cultivo durante la investigación.

En el gráfico 10 se determina las necesidades hídricas del cultivo, para la primera etapa el valor fue de 0,80 litros/planta/día debido a que el cultivo se encuentra en desarrollo y los requerimientos de agua del mismo son bajos. El cultivo presenta un aumento gradual del requerimiento hídrico en las distintas etapas, alcanzando un valor máximo de 2,1 litros/planta/día, valores que están en relación directa con el valor del coeficiente de cultivo, tal como lo señalan Kelso, et al. (2012), que expresan que para la obtención de las necesidades hídricas intervienen dos parámetros fundamentales como son el coeficiente de cultivo y la evapotranspiración de referencia proporcionada por el tanque evaporímetro de clase A. En la etapa final del período de madurez del cultivo, las necesidades hídricas disminuyen en relación a las etapas anteriores, cuyo valor fue de 1,1 litros/planta/día; esto se debe a que las plantas entran en un proceso de senescencia lo cual concuerda con Allen, et al (2006) que expresa que en cultivos en donde las plantas alcanzan su senescencia total para ser cosechadas, su requerimiento hídrico disminuye gradualmente.

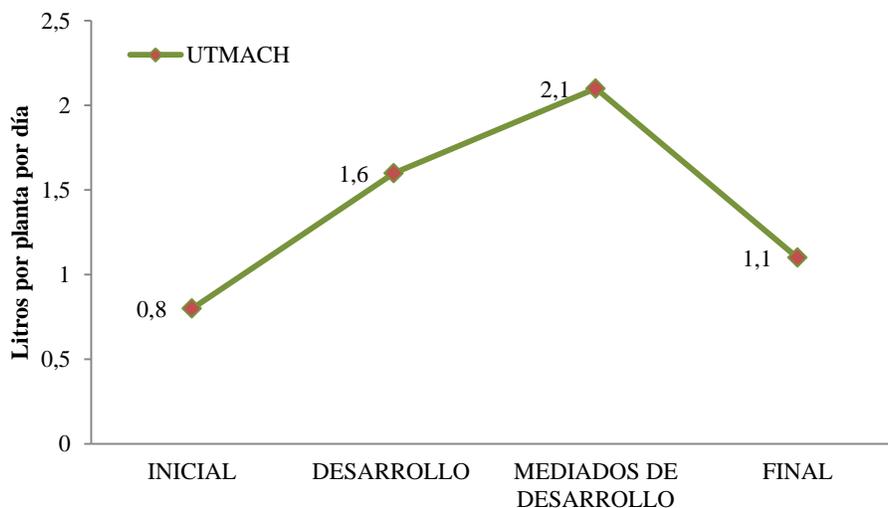


Gráfico 10. Necesidades hídricas en las distintas fases fenológicas del cultivo de soya.

5 CONCLUSIONES

- La duración del ciclo vegetativo y sus respectivas fases de desarrollo, están influenciadas por la variedad, lugar, época de siembra y fueron 20/25/30/20.
- Los coeficientes de cultivo (Kc) para las etapas fenológicas del mismo fueron: inicial Kc_1 0,60; mediados de desarrollo Kc_3 1,10 y final Kc_4 0,70.
- Las necesidades hídricas de nuestro cultivo para cada una de las etapas fueron: inicial 0,40 litros/planta; desarrollo 1,90 litros/planta; mediados de desarrollo 3,10 litros/planta; y final 1,70 litros/planta.

6 RECOMENDACIONES

- Repetir la investigación sobre la determinación del coeficiente de cultivo para la soya para otros periodos climáticos.
- Realizar estudios en diferentes zonas de nuestro país o en distintas épocas de siembra.

7 BIBLIOGRAFÍA

Allen, R., et al. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. 323 p.

Arévalo, J., Vélez, J., Camacho, J. (2013). Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero. Rev. bras. eng. agríc. ambient. [citado 06 Jul 2016]; 17(8): pp. 2-3.

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

Bonet, C, et al. (2010). Coeficientes de cultivo para la programación del riego de la piña. Rev Cie Téc Agr. [citado 22 Jun 2016]; 19(3): 23-27.

Castañeda, C., et al. (2015). ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE CULTIVO MEDIANTE SENSORES REMOTOS EN EL DISTRITO DE RIEGO RÍO YAQUI, SONORA, MÉXICO. Agrocienia. [citado 22 Jun 2016]; 49(2): pp. 12-13.

Castro, L., Lima F., Rosa M. (2007). Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da melancia sem., 39(1): pp 23–34p.

Cinque, D., et al. (2015). Construcción e calibração de lisímetros de barras de pesagem. Acta Sci., Agron. Brasil. 37 (3).

Cisneros, E., et al. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. Rev Cie Téc Agr. [citado 22 Jun 2016]; 24(2): 24-25. Disponible en:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JszzQdySQ8MJ:scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n2/rcta04215.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

Da Silva, T., et al. (2012). Requerimiento de agua y coeficiente de cultivo de caña de azúcar de riego en la región semiárida de Brasil. Rev. bras. esp. Agric. ambiente. Brasil. 16 (1).

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

Duarte, C., Zamora, E., León, M. (2012). Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla. Rev Cie Téc Agr. 21 (4). pp. 42-47.

Elvira, G. (2010). Evaluacion de las pérdidas por evaporacion en embalses de riego. 1 (2). pp 26–38p.

Fenner, W., et al. (2016). Coeficiente dual de cultivo do feijoeiro em Tangará da Serra, Mato Grosso. Rev. bras. esp. Agric. Ambiente. 20 (5). p455-460.

Garnica, F. 2015. Clase 10. Evapotranspiración. Universidad Nacional Jose Bassadre Grohmann. Pp 48.

Herrera, J., González, F., Zamora, E. (2010). Coeficientes de cultivo (Kc) del King grass para diferentes épocas del año y edad de la planta. Rev Cie Téc Agr. [citado 8 Abr 2016]; 19(1): 2-3. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000100009

Kelso, H., et al. (2012). Estudio experimental para la determinación de los coeficientes de cultivo de la vainilla (*Vanilla spp.*). Rev Mex Cie Agr. [citado 22 Jun 2016]; 1(4): 5-6. Disponible en:

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:f63t_4NHd2YJ:www.redalyc.org/articulo.oa%3Fid%3D263125299007+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ec

Kelso, H., et al. (2012). Automatización de un lisímetro de pesada. Rev Mex Cie Agr. México. 1 (4). pp. 807-811.

Lee, A. (2010). El movimiento del agua a través de las plantas. *Horticultura Internacional*. Recuperado de

http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi72/44_49.pdf

López, J. (2010). Necesidades hídricas de los cultivos. Universidad de Sinaloa. México. pp 28.

López, J., et al. (2015). EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTES DE CULTIVO DE CHILE BELL EN EL VALLE DE CULIACÁN, MÉXICO. *Terra Latinoam.* [citado 8 Abr 2016]; 33(3): 201-211. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57341186003>

Mossande, A., Brown, O., Mujica, A. (2015). Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. *Rev Cie Téc Agr.* [citado 23 Abr 2016]; 24(2): 2-3. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000200001

Mundo-Molina, M. 2009. Estandarización de las ecuaciones para estimar la evapotranspiración del cultivo de referencia. *Ing. invest. y tecnol. México.* 20(2). pp.

Odi-Lara, M., et al. (2013). Definición de la etapa de desarrollo de los cultivos para estimar evapotranspiración usando la metodología FAO-56 y sensores remotos. *Tecnología y Ciencias del Agua. México.* 4 (3). pp. 87-102.

Pacheco, A., Batista, P., Duarte, S. (2011). Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. *Acta Sci., Agron.* 33 (1). pp 15-22.

Pannunzio, A., et al. (2011). Impacto de los sistemas de riego por goteo en arándanos. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [citado 06 Jul 2016]; 15(1): 2-3. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n1/a01v15n01.pdf>

Revista Super Campo, 1999. Citado por <http://www.agrobit.com.ar>.

Rodríguez, JC., et al. (2011). EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO EN CHILE BANANA (*Capsicum annuum* L.) EN EL VALLE DEL YAQUI, MÉXICO. *Biotecnia*. 8 (3). pp. 481-486p.

Rodríguez, R., Pire, R. (2008). Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada. *Maracay. Agronomía Trop.* 58(1). pp 73–96.

Romero, A., et al. 2013. Evaluación de siete cultivares de soya (*Glycine max*) en las condiciones edafoclimáticas del municipio Majibacoa, Las Tunas. Cuba. *Pastos y Forrajes*. 36 (4). pp. 2-3.

Silva, E., Lima, F. (2009). Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da bananeira no Vale do Curu, CE. Brasil. *Revista Ciência Agronômica*. 40 (2). pp. 203-210.

Sánchez M., Romero, D. (2005). Estado Actual de los metodos de estimación de la evapotranspiración. Aplicada a la cuenca del rio Quipar. 2(1):189–202p.

Sharma B, Rao K, Vittal K, Ramakrishna Y, Umarasinghe U (2010) Estimating the potential of rainfed agriculture in India: Prospects for water productivity improvements. *Agricultural Water Management*. 97(1): pp. 23-30

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

Vásquez-Méndez, R., Ventura-Ramos, E., Acosta-Gallegos, J. (2011). Habilidad de estimación de los métodos de evapotranspiración para una zona semiárida del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(3):399–415p.

Villafañe, G., Basso, C., Villafañe, R. (2016). EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTES DE CULTIVO (K_c) DE STEVIA [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] BAJO CONDICIONES PARCIALMENTE PROTEGIDAS. *Bioagro*. 28 (2). pp. 131-136.

Villalobos-Reyes, S., et al. (2005). COEFICIENTES DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE BRÓCOLI CON RIEGO POR GOTEÓ. *Terra Latinoamericana*. 23 (3). pp. 2-3.

Villaseñor, D., J. Chabla, and E. Luna. "Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro." *Revista Cumbres* 1.2 (2016).

Zayas C, García R, Varona M, Seijas L. (2015). 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. pp. 25-27.

8 ANEXOS

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

Fecha	N° baldes	3	12	17	23	28	32	36	42	45	48
16/12/2015	Peso (libras)	25,60	27,90	26,94	27,73	26,77	26,23	26,82	26,68	26,23	26,78
19/12/2015	Peso (libras)	25,33	27,76	26,64	27,42	26,47	25,95	26,50	26,40	25,40	26,56
	Diferencia	0,27	0,14	0,30	0,31	0,30	0,28	0,32	0,28	0,83	0,22
	Promedio	0,28						0,53			
N° baldes	1	7	10	13	16	20	23	28	32	36	
19/12/2015	Peso (libras)	26,45	26,69	27,00	29,28	28,10	29,34	27,72	26,75	26,20	26,81
22/12/2015	Peso (libras)	26,12	26,44	26,58	28,96	27,68	29,00	27,40	26,40	25,68	26,09
	Diferencia	0,33	0,25	0,42	0,32	0,42	0,34	0,32	0,35	0,52	0,72
	Promedio	0,34						0,62			
N° baldes	2	5	9	14	18	21	24	27	30	33	
22/12/2015	Peso (libras)	27,78	29,28	27,74	28,36	27,92	28,34	28,26	24,24	27,52	26,82
25/12/2015	Peso (libras)	27,40	28,86	27,28	27,84	27,41	27,86	27,86	23,80	26,88	26,14
	Diferencia	0,38	0,42	0,46	0,52	0,51	0,48	0,40	0,44	0,64	0,68
	Promedio	0,45						0,66			
N° baldes	3	6	10	14	17	23	27	31	34	36	
25/12/2015	Peso (libras)	25,56	27,08	26,80	27,65	26,92	27,70	23,61	29,09	26,76	26,69
28/12/2015	Peso (libras)	25,14	26,62	26,32	27,10	26,38	27,18	23,16	28,60	25,79	26,04
	Diferencia	0,42	0,46	0,48	0,55	0,54	0,52	0,45	0,49	0,97	0,65
	Promedio	0,49						0,81			
N° baldes	1	3	4	5	7	9	11	13	15	17	
28/12/2015	Peso (libras)	26,76	26,22	26,86	29,26	27,08	27,70	27,26	29,82	28,48	27,46
31/12/2015	Peso (libras)	26,14	25,58	26,14	28,48	26,36	27,06	26,68	29,12	27,56	26,28
	Diferencia	0,62	0,64	0,72	0,78	0,72	0,64	0,58	0,70	0,92	1,18
	Promedio	0,68						1,05			
N° baldes	2	5	9	14	18	21	25	29	33	36	
31/12/2015	Peso (libras)	29,29	29,27	29,60	28,50	28,40	29,87	26,88	28,45	27,69	27,47
03/01/2016	Peso (libras)	28,62	28,58	28,82	27,72	27,70	29,22	26,30	27,74	26,46	26,48
	Diferencia	0,67	0,69	0,78	0,78	0,70	0,65	0,58	0,71	1,23	0,99
	Promedio	0,70						1,11			
N° baldes	4	8	12	15	18	20	23	27	32	35	
03/01/2016	Peso (libras)	27,06	27,70	27,88	28,54	28,88	30,10	28,48	25,18	26,36	25,46
06/01/2016	Peso (libras)	26,44	26,86	27,30	27,82	28,32	29,24	28,02	24,48	25,21	24,68
	Diferencia	0,62	0,84	0,58	0,72	0,56	0,86	0,46	0,70	1,15	0,78
	Promedio	0,67						0,97			
N° baldes	2	6	9	11	14	19	22	25	29	33	
06/01/2016	Peso (libras)	29,48	27,44	30,10	27,76	28,38	27,94	27,72	27,20	28,68	27,58
09/01/2016	Peso (libras)	29,02	26,98	29,34	27,20	27,72	27,50	27,26	26,64	28,00	26,80
	Diferencia	0,46	0,46	0,76	0,56	0,66	0,44	0,46	0,56	0,68	0,78

	Promedio	0,55									0,73
	N° baldes	1	5	7	8	15	20	24	30	34	36
09/01/2016	Peso (libras)	27,08	29,68	29,74	27,38	28,52	29,68	28,58	27,46	27,80	27,98
12/01/2016	Peso (libras)	26,58	28,26	28,36	25,88	27,38	28,38	27,60	26,22	26,90	27,06
	Diferencia	0,50	1,42	1,38	1,50	1,14	1,30	0,98	1,24	0,90	0,92
	Promedio	1,18									0,91
	N° baldes	3	6	11	17	22	25	28	32	34	38
12/01/2016	Peso (libras)	27,30	27,72	27,46	28,34	27,60	26,76	26,44	25,46	27,42	27,94
15/01/2016	Peso (libras)	25,42	25,74	26,40	27,06	26,66	25,72	25,10	24,00	26,24	26,88
	Diferencia	1,88	1,98	1,06	1,28	0,94	1,04	1,34	1,46	1,18	1,06
	Promedio	1,37									1,12
	N° baldes	2	10	12	16	18	27	30	31	35	37
15/01/2016	Peso (libras)	29,24	27,40	27,52	28,10	27,98	23,86	26,46	29,64	25,94	28,74
18/01/2016	Peso (libras)	28,22	26,12	26,20	26,62	26,24	22,16	24,62	28,36	23,96	27,90
	Diferencia	1,02	1,28	1,32	1,48	1,74	1,70	1,84	1,28	1,98	0,84
	Promedio	1,46									1,41
	N° baldes	1	5	8	12	15	18	23	27	31	34
18/01/2016	Peso (libras)	26,42	28,12	26,52	27,34	27,34	28,46	28,28	23,34	29,76	27,04
21/01/2016	Peso (libras)	25,42	26,88	25,24	26,42	26,24	27,30	27,70	22,28	28,90	26,26
	Diferencia	1,00	1,24	1,28	0,92	1,10	1,16	0,58	1,06	0,86	0,78
	Promedio	1,04									0,82
	N° baldes	3	7	10	14	17	20	24	28	30	35
21/01/2016	Peso (libras)	27,18	28,62	27,32	27,90	27,96	29,12	28,22	26,78	27,20	25,44
24/01/2016	Peso (libras)	24,34	25,30	24,44	24,86	24,76	25,48	25,20	24,08	23,88	22,62
	Diferencia	2,84	3,32	2,88	3,04	3,20	3,64	3,02	2,70	3,32	2,82
	Promedio	3,08									3,07
	N° baldes	2	6	10	16	21	26	28	31	33	36
24/01/2016	Peso (libras)	28,22	26,16	25,96	26,34	28,60	25,34	26,00	29,18	25,30	26,42
27/01/2016	Peso (libras)	26,26	24,16	24,06	24,44	26,60	23,38	24,04	27,10	24,00	24,38
	Diferencia	1,96	2,00	1,90	1,90	2,00	1,96	1,96	2,08	1,30	2,04
	Promedio	1,97									1,67
	N° baldes	1	4	8	11	15	19	24	29	32	35
27/01/2016	Peso (libras)	24,66	24,75	24,55	25,12	26,42	25,06	25,94	26,2	23,28	23,01
30/01/2016	Peso (libras)	24,09	24,02	24,29	24,53	25,7	24,29	25,28	25,37	22,7	22,46
	Diferencia	0,57	0,73	0,26	0,59	0,73	0,77	0,66	0,84	0,57	0,55
	Promedio	0,64									0,56
	N° baldes	2	4	6	9	12	15	20	25	30	34
30/01/2016	Peso (libras)	27,61	24,57	26,84	26,38	25,78	26,25	27,94	24,84	26,11	24,73
02/02/2016	Peso (libras)	26,05	23,50	24,97	25,30	24,20	24,82	26,03	23,36	23,96	23,91
	Diferencia	1,56	1,08	1,87	1,08	1,58	1,43	1,91	1,47	2,16	0,82
	Promedio	1,50									1,49

	N° baldes	3	7	11	14	19	23	27	30	33	36
02/02/2016	Peso (libras)	25,15	27,52	25,78	26,58	26,86	26,77	22,46	26,18	25,70	25,98
05/02/2016	Peso (libras)	23,89	25,45	24,07	24,64	23,98	25,41	20,90	23,76	24,02	23,67
	Diferencia	1,25	2,07	1,72	1,94	2,88	1,36	1,56	2,42	1,67	2,31
	Promedio				1,90					1,99	
	N° baldes	1	6	12	15	19	23	25	29	33	36
05/02/2016	Peso (libras)	24,97	25,43	25,83	26,42	24,75	26,84	24,88	26,40	24,49	24,42
08/02/2016	Peso (libras)	24,16	23,91	24,46	24,99	23,72	25,63	23,72	25,19	23,43	23,47
	Diferencia	0,81	1,52	1,36	1,43	1,03	1,21	1,17	1,21	1,06	0,95
	Promedio				1,22					1,00	
	N° baldes	2	5	8	14	19	22	27	30	33	36
08/02/2016	Peso (libras)	26,42	26,62	24,46	24,40	24,68	24,86	22,31	24,46	24,42	24,44
11/02/2016	Peso (libras)	24,95	24,77	23,25	23,89	23,19	23,54	20,31	23,08	23,63	22,97
	Diferencia	1,47	1,85	1,21	0,51	1,50	1,32	2,00	1,39	0,79	1,47
	Promedio				1,41					1,13	
	N° baldes	1	6	9	16	19	23	28	31	34	36
11/02/2016	Peso (libras)	25,92	25,37	25,92	25,15	25,34	25,28	24,62	26,75	24,44	24,40
14/02/2016	Peso (libras)	24,49	23,80	24,75	23,58	23,23	23,67	23,32	25,12	23,17	22,84
	Diferencia	1,43	1,56	1,17	1,56	2,11	1,61	1,30	1,63	1,28	1,56
	Promedio				1,55					1,42	
	N° baldes	3	6	8	12	17	22	27	29	32	35
14/02/2016	Peso (libras)	25,28	27,32	25,41	25,63	26,47	25,56	22,40	26,84	24,53	23,94
17/02/2016	Peso (libras)	24,46	26,20	25,19	24,82	25,21	24,66	21,36	25,96	23,45	22,92
	Diferencia	0,81	1,12	0,10	0,81	1,25	0,90	1,03	0,88	1,08	1,01
	Promedio				0,87					1,05	
	N° baldes	1	5	8	11	14	17	20	23	26	29
17/02/2016	Peso (libras)	25,94	27,17	25,04	25,17	26,53	26,27	28,25	27,32	24,66	27,50
20/02/2016	Peso (libras)	23,69	25,04	24,68	23,80	24,71	24,22	26,51	25,37	24,24	25,70
	Diferencia	2,24	2,13	0,35	1,36	1,83	2,05	1,74	1,96	0,42	1,80
	Promedio				1,71					1,11	
	N° baldes	2	5	6	10	12	14	15	23	32	34
20/02/2016	Peso (libras)	26,11	28,80	27,08	27,81	26,93	25,83	26,38	28,07	25,01	27,28
23/02/2016	Peso (libras)	24,09	27,41	26,11	26,64	25,32	23,87	24,51	26,20	23,83	25,94
	Diferencia	2,02	1,39	0,97	1,17	1,61	1,96	1,87	1,87	1,19	1,34
	Promedio				1,61					1,27	
	N° baldes	1	5	8	11	14	17	20	23	26	29
23/02/2016	Peso (libras)	25,94	27,17	25,04	25,17	26,53	26,27	28,25	27,32	24,66	27,50
26/02/2016	Peso (libras)	23,69	25,04	24,68	23,80	24,71	24,22	26,51	25,37	23,74	25,70
	Diferencia	2,24	2,13	0,35	1,36	1,83	2,05	1,74	1,96	0,92	1,80
	Promedio				1,71					1,36	
	N° baldes	4	7	11	13	6	19	22	32	29	35
26/02/2016	Peso (libras)	26,11	28,80	27,08	27,81	26,93	25,83	26,38	28,07	25,01	27,99
29/02/2016	Peso (libras)	24,09	27,41	26,11	26,64	25,32	23,87	24,51	26,20	23,83	25,94

	Diferencia	2,02	1,39	0,97	1,17	1,61	1,96	1,87	1,87	1,19	2,05
	Promedio	1,61									1,62
	N° baldes	3	12	17	23	28	32	36	42	45	48
29/02/2016	Peso (libras)	25,86	27,93	27,11	27,85	26,77	26,62	26,87	26,71	26,44	26,96
03/03/2015	Peso (libras)	25,41	27,69	26,55	27,46	26,51	26,02	26,38	26,23	25,31	26,76
	Diferencia	0,45	0,24	0,56	0,39	0,26	0,60	0,49	0,48	1,13	0,20
	Promedio	0,43									0,67
	N° baldes	1	7	10	13	16	20	23	28	32	36
03/03/2015	Peso (libras)	26,61	26,91	27,17	29,11	28,20	29,21	27,79	26,82	26,20	26,81
06/03/2015	Peso (libras)	26,19	26,42	26,39	28,64	27,81	28,97	27,31	26,41	25,71	26,14
	Diferencia	0,42	0,49	0,78	0,47	0,39	0,24	0,48	0,41	0,49	0,67
	Promedio	0,46									0,58
	N° baldes	2	5	9	14	18	21	24	27	30	33
06/03/2015	Peso (libras)	27,82	29,34	27,69	28,32	27,66	28,26	28,63	24,25	27,52	26,76
09/03/2015	Peso (libras)	27,41	28,71	27,33	27,59	27,38	27,77	27,99	23,88	26,88	26,14
	Diferencia	0,41	0,63	0,36	0,73	0,28	0,49	0,64	0,37	0,64	0,62
	Promedio	0,49									0,63
	N° baldes	3	6	10	14	17	23	27	31	34	36
09/03/2015	Peso (libras)	25,61	27,06	26,95	27,58	26,87	27,73	23,69	29,21	26,69	26,64
12/03/2015	Peso (libras)	25,33	26,58	26,47	27,03	26,33	27,21	23,24	28,72	25,71	25,99
	Diferencia	0,28	0,48	0,48	0,55	0,54	0,52	0,45	0,49	0,98	0,65
	Promedio	0,47									0,82
	N° baldes	1	3	4	5	7	9	11	13	15	17
12/03/2015	Peso (libras)	26,81	26,35	26,64	29,42	27,11	27,68	27,21	29,91	28,41	27,49
15/03/2015	Peso (libras)	26,12	25,47	25,87	28,59	26,35	27,13	26,62	29,10	27,38	26,34
	Diferencia	0,69	0,88	0,77	0,83	0,76	0,55	0,59	0,81	1,03	1,15
	Promedio	0,74									1,09
	N° baldes	2	5	9	14	18	21	25	29	33	36
15/03/2015	Peso (libras)	29,38	29,23	29,55	28,51	28,44	29,83	26,83	28,44	27,84	27,22
18/03/2015	Peso (libras)	28,71	28,54	28,77	27,73	27,72	29,18	26,25	27,84	26,57	26,39
	Diferencia	0,67	0,69	0,78	0,78	0,72	0,65	0,58	0,60	1,27	0,83
	Promedio	0,68									1,05
	N° baldes	4	8	12	15	18	20	23	27	32	35
18/03/2015	Peso (libras)	26,93	27,62	27,79	28,04	28,71	29,83	28,67	25,08	26,47	25,31
21/03/2015	Peso (libras)	26,34	26,91	27,40	27,72	28,22	29,09	28,31	24,31	25,33	24,55
	Diferencia	0,59	0,71	0,39	0,32	0,49	0,74	0,36	0,77	1,14	0,76
	Promedio	0,55									0,95

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

Etc	Eto	Kc	Kc inicial	Kp	au	PS	PS*100	PS	EB	NR	TR	NR x Hora
0,28	0,53	0,5	0,6	0,9	0,52	0,03000	0,54	0,0054	4	0,0059	0,06	0,14
0,34	0,62	0,6		0,9	0,52	0,04000	0,97	0,0097	2	0,0056	0,1	0,1
0,45	0,66	0,7		0,9	0,52	0,05500	1,83	0,0183	2	0,0130	0,1	0,3
0,49	0,81	0,6		0,9	0,52	0,08000	3,87	0,0387	2	0,0243	0,3	0,6
0,68	1,05	0,6		0,9	0,52	0,10500	6,66	0,0666	2	0,0445	0,5	1,1
0,70	1,11	0,6		0,9	0,52	0,11000	7,31	0,0731	3	0,0714	0,7	1,7
0,67	0,97	0,7		0,9	0,52	0,13000	10,21	0,1021	2	0,0734	0,8	1,8
0,55	0,73	0,7	1,1	0,9	0,52	0,14000	11,84	0,1184	1	0,0460	0,5	1,1
1,18	0,91	1,3		0,9	0,52	0,14500	12,70	0,1270	2	0,1717	1,8	4,1
1,37	1,12	1,2		0,9	0,52	0,15500	14,51	0,1451	1	0,0925	1,0	2,2
1,46	1,41	1,0		0,9	0,52	0,16500	16,45	0,1645	2	0,1768	1,8	4,2
1,04	0,82	1,3		0,9	0,52	0,18000	19,57	0,1957	2	0,2588	2,7	6,2
3,08	3,07	1,0		0,9	0,52	0,19500	22,97	0,2297	2	0,2397	2,5	5,8
1,97	1,67	1,2		0,9	0,52	0,21000	26,64	0,2664	1	0,1634	1,7	3,9
0,64	0,56	1,1	1,1	0,9	0,52	0,22500	30,59	0,3059	1	0,1824	1,9	4,4
1,50	1,49	1,0		0,9	0,52	0,24000	34,80	0,3480	2	0,3650	3,8	8,8
1,90	1,99	1,0		0,9	0,52	0,25500	39,29	0,3929	1	0,1950	2,0	4,7
1,22	1,00	1,2		0,9	0,52	0,27000	44,04	0,4404	1	0,2787	2,9	6,7
1,41	1,13	1,2		0,9	0,52	0,28500	49,07	0,4907	1	0,3165	3,3	7,6
1,55	1,42	1,1		0,9	0,52	0,30000	54,37	0,5437	1	0,3079	3,2	7,4
0,87	1,05	0,8		0,9	0,52	0,31500	59,95	0,5995	1	0,2580	2,7	6,2
1,71	1,11	1,5	0,7	0,9	0,52	0,26000	40,84	0,4084	1	0,3264	3,4	7,8
1,61	1,27	1,3		0,9	0,52	0,24000	34,80	0,3480	1	0,2297	2,4	5,5
1,71	1,36	1,3		0,9	0,52	0,26000	40,84	0,4084	1	0,2661	2,8	6,4
1,61	1,62	1,0		0,9	0,52	0,28000	47,37	0,4737	1	0,2442	2,5	5,9
0,43	0,67	0,7		0,9	0,52	0,30000	54,37	0,5437	1	0,10175	1,1	2,4
0,46	0,58	0,8		0,9	0,52	0,31000	58,06	0,5806	2	0,25570	2,7	6,1
0,49	0,63	0,8		0,9	0,52	0,33000	65,79	0,6579	1	0,13313	1,4	3,2

0,47	0,82	0,6		0,9	0,52	0,34000	69,84	0,6984	2	0,20554	2,1	4,9
0,74	1,09	0,7		0,9	0,52	0,35000	74,01	0,7401	2	0,24545	2,6	5,9
0,68	1,05	0,7		0,9	0,52	0,35000	74,01	0,7401	1	0,11852	1,2	2,8
0,55	0,95	0,6		0,9	0,52	0,28000	47,37	0,4737	1	0,08372	0,9	2,0



Anexo 3. Disposición del experimento en campo



Anexo 4. Siembra de cultivo de soya (*Glycine max* L.)