

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola



**“DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE CULTIVO (K_c)
PARA EL CULTIVO DE CHIA (*Salvia hispánica* L.) POR EL
MÉTODO DE LISÍMETROS DE DRENAJE LIBRE EN LA
IRRIGACIÓN MAJES”**

Tesis presentada por el Bachiller:
Roncalla Chacón Terry Arturo
Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Agrónomo
Asesor:
Ing. Coloma Dongo Froy.

Arequipa – Perú
2018

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
URB. SAN JOSE S/N - UMACOLLO

DICTAMEN DE PROYECTO DE TESIS
(Jurado)

Señor
Ing. FROY COLOMA DONGO
Director del P.P. de Ingeniería Agronómica
Presente.-

Mediante el presente, comunicamos a usted., que se ha procedido a revisar el BORRADOR de Tesis titulado:

“DETERMINACION DE COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA EL CULTIVO DE CHIA (Salvia hispánica L.) POR EL METODO DE LISIMETROS DE DRENAJE LIBRE EN LA IRRIGACIÓN MAJES”

Presentado por el bachiller: **TERRY ARTURO RONCALLA CHACON**
Asesor: **Ing. Froy Coloma Dongo**

El jurado Dictaminador presidido por **Ing. Humberto Stretz Chavez, Ing. Dina Mamani Gutierrez, Ing. Guillermo Linares Quiroz,**

DICTAMINAN

Procede para su sustentación

OBSERVACIONES

Arequipa, 19 de Noviembre de 2018.

Ing. Humberto Stretz Chavez

Ing. Dina Mamani Gutierrez

Ing. Guillermo Linares Quiroz

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi Madre, porque eres una mujer que simplemente me hace llenar de orgullo, te amo y no va haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido desde que incluso no hubiera nacido. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo, y sin lugar a dudas ha sido en gran parte gracias a ti; no sé en qué lugar me encontraría de no ser por tu apoyo, tu compañía, y tu amor. TE AMO MAMÁ.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Terry y Liliana, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Gracias a mi abuelita: Dina, que desde el cielo cuida de mí, y guió siempre por el buen camino.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional

A mis asesores, Ing. Froy Coloma Dongo e Ing. Alfredo Pérez Falla, por su valioso aporte para este proyecto.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del recurso hídrico en la actualidad se torna cada vez más escasa para todos los sectores, debido entre otras causas al calentamiento global producto de la contaminación de la atmósfera que causa un incremento en la temperatura del ambiente y generando con ello variaciones climáticas que afectan la disponibilidad del recurso hídrico; además que, entre otros factores, la población humana va creciendo y cada vez requiere demandas mayores de agua para satisfacer sus necesidades. Pizarro, (1996).

El Proyecto Especial Majes Siguan - AUTODEMA, dentro del proceso para la reconversión del agro y la promoción del uso eficiente del recurso hídrico, ha implementado la instalación de lisímetros de drenaje libre a fin de determinar los consumos reales de agua de los cultivos para las condiciones climatológicas de la Irrigación Majes, en el presente documento de investigación, nos enfocamos específicamente en el cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*). Autodema, (2007).

El manejo de agua para riego requiere adecuadas estimaciones de los requerimientos de riego de los cultivos, lo cual significa conocer con precisión el uso de agua de los cultivos. El coeficiente de cultivo (K_c) es un factor que describe las necesidades de agua de determinada planta en relación a los factores climatológicos de cada zona. Pizarro, (1996).

A pesar de la inestable disponibilidad de recursos hídricos en la Irrigación Majes, poca investigación se ha llevado adelante relacionada a la determinación de los requerimientos de riego bajo las condiciones prevalentes de clima. Autodema, (2007).

Para calcular los requerimientos de riego de cualquier cultivo bajo las condiciones climatológicas de una localidad dada, se debe: determinar la evapotranspiración de referencia (E_{to}) y usar el coeficiente de cultivo (K_c) para calcular la evapotranspiración máxima de cultivo (E_{tc}). Israelsen y Hansen (1985)

En zonas con una demanda evaporativa grande, como en el caso de la Irrigación Majes, es importante contar con un procedimiento de cálculo de la evapotranspiración de referencia que proporcione resultados ajustados.

RESUMEN

La investigación se realizó en el área agrícola del Centro de Reconversión Agro ganadera del Proyecto Especial Majes-Siguas AUTODEMA, ubicado geográficamente en Latitud sur 16° 30', Longitud Oeste 72° 10', Altitud 1400 m.s.n.m., Políticamente en el Departamento de Arequipa, Provincia de Caylloma, Distrito de Majes, Comisión de regantes Zona especializada; en los meses de mayo a octubre del 2017.

El proyecto de investigación tiene como objetivo general Determinar los coeficientes de cultivo (Kc) del cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*), en los meses de mayo a octubre, en la Irrigación Majes, con el método de lisímetros de drenaje libre; habiéndose para ello obtenido datos diarios de evapotranspiración del cultivo de Chía a partir de tres lisímetros y de evapotranspiración potencial (ETo); para determinar el kc diario por la relación de la ETc entre la ETo.

Para obtener los datos de evapotranspiración de referencia o potencial, por el método directo se instaló una estación agroclimática automática que proporciona datos diarios de ETo, determinados por el método de la FAO (Penman Monteith), asimismo se instaló un Tanque de evaporación clase A también como fuente de evapotranspiración de referencia.

Paralelamente al desarrollo del cultivo, se realizaron evaluaciones semanales de los parámetros fisiológicos que presentaban las plantas en cuanto a su altura, número de hojas, inicio y fin de floración, entre otros, que nos permitan identificar las etapas fenológicas del cultivo en función a la necesidad de agua. Asimismo, se registraron en forma diaria, variables climatológicas importantes como: la temperatura del aire, humedad relativa, punto de rocío, velocidad del viento y radiación solar. Como resultado del trabajo de investigación se determinaron cinco etapas fenológicas en el cultivo de Chia, cuyo tiempo de duración en días fue de 28 en la etapa inicial, 35 en la segunda etapa, 28 en la tercera etapa, 35 en la cuarta etapa y 14 en la última etapa, obteniéndose los siguientes coeficientes (kc) para cada etapa; **0.68 ,0.81, 0.97, 1.20, 0.83** respectivamente. Éstos resultados se pueden aplicar, para calcular el régimen de riego de proyectos, esencialmente, en regiones edafoclimáticas similares a las analizadas en este trabajo.

Palabras clave: Coeficiente del cultivo, (*Salvia hispánica L.*), evapotranspiración

ABSTRACT

The research was carried out in the agricultural area of the Agro-livestock Reconversion Center of the Special Project Majes-Siguas AUTODEMA, located geographically in South Latitude 16° 30', West Longitude 72° 10', Altitude 1400, Politically in the Department of Arequipa, Province of Caylloma, District of Majes, Irrigators Commission Specialized area; in the months of May to October 2017. The general objective of the research project is to determine the crop coefficients (Kc) of the Chia cultivation (*Salvia hispánica L.*), in the months of May to October, in the Majes Irrigation, with the free drainage lysimeters method; having obtained daily data of evapotranspiration of Chia culture from three lysimeters and potential evapotranspiration (ETo); to determine the daily kc by the relationship of the ETc between the ETo. To obtain the baseline or potential evapotranspiration data, an automatic agroclimatic station was installed through the direct method that provides daily ETo data, determined by the FAO method (Penman Monteith), and a Class A evaporation tank was also installed. as a source of reference evapotranspiration. Parallel to the development of the crop, weekly evaluations were made of the physiological parameters presented by the plants in terms of their height, number of leaves, stem diameter, leaf length, beginning and end of flowering, among others, which allow us to identify the phenological stages of the crop according to the need for water. Likewise, important climatological variables were recorded daily: air temperature, relative humidity, dew point, wind speed and solar radiation. As a result of the research work, five phenological stages were determined in Chia cultivation, whose duration in days was 28 in the initial stage, 35 in the second stage, 28 in the third stage, 35 in the fourth stage and 14 in the last stage, obtaining the following coefficients (kc) for each stage; 0.68, 0.81, 0.97, 1.20, 0.83 respectively. These results can be applied, to calculate the irrigation scheme of projects, essentially, in edaphoclimatic regions similar to those analyzed in this work.

Key words: crop coefficients, (*Salvia hispánica L.*), evapotranspiration

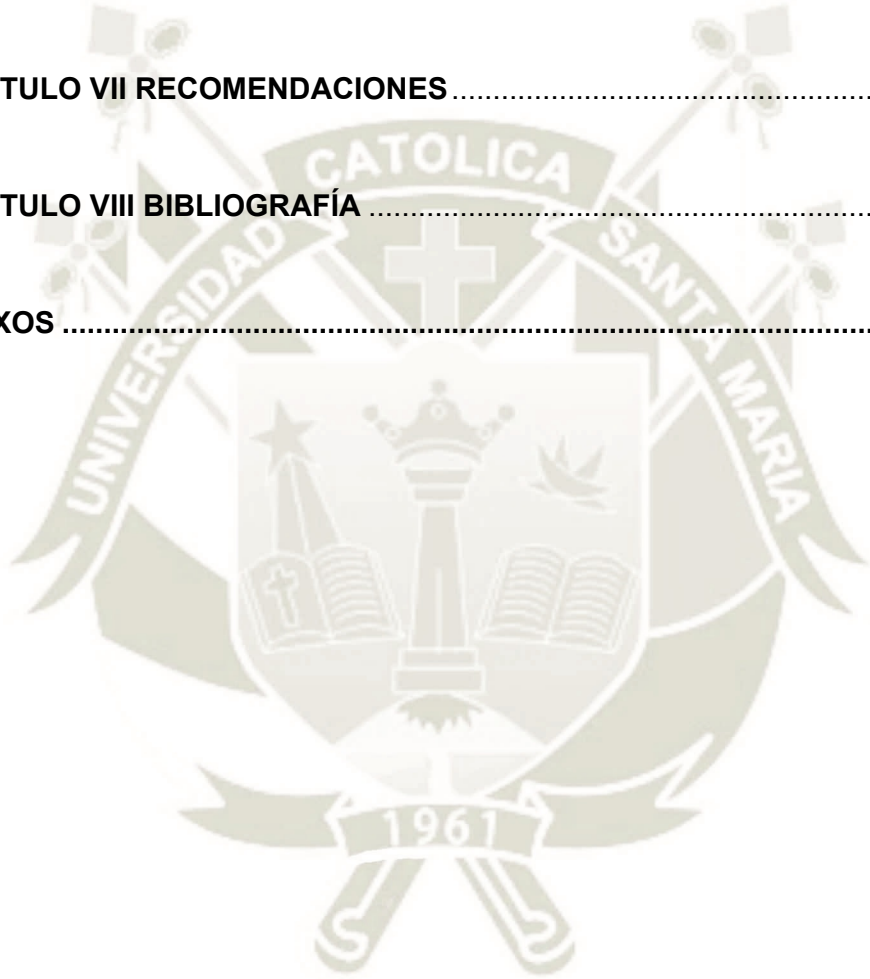
ÍNDICE

CAPITULO I GENERALIDADES	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. HIPÓTESIS.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
CAPITULO II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE	3
2.2. Necesidades Hídricas de los Cultivos	4
2.2.1. La Evapotranspiración	4
2.2.2. Evapotranspiración Actual o Real o del Cultivo (ETc)	6
2.2.3. Evapotranspiración Potencial o de Referencia (ETo)	7
2.2.3.1. Cuantificación de la Evapotranspiración	8
2.3. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)	16
2.3.1. FACTORES QUE DETERMINAN EL COEFICIENTE DEL CULTIVO:	17
2.3.1.1. Tipo de Cultivo.....	17
2.3.1.2. Clima.....	18
2.3.1.3. Evaporación del suelo	18
2.3.1.4. Etapas de crecimiento del cultivo.....	18
2.4. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS	19
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.1.1. Ubicación Política	23
3.1.2. Ubicación Geográfica	23
3.2. FECHA DE INICIO Y TÉRMINO	23
3.3. HISTORIA DEL CAMPO EXPERIMENTAL.....	23
3.4. CLIMATOLOGÍA.....	24

3.5.	RECURSO AGUA	25
3.6.	RECURSO SUELO	25
3.7.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.7.1.	MATERIALES.....	26
a)	Materiales de campo	26
b)	Material biológico	26
c)	Material de Escritorio.....	26
3.7.2.	METODOLOGÍA SEGUIDA	26
a)	Análisis del suelo.....	26
b)	Acondicionamiento de Lisímetro.....	27
c)	Calibración de Depósitos.....	27
d)	Capacidad de campo del suelo.....	28
e)	Instalación y desarrollo del cultivo a investigar.....	28
f)	Aplicaciones de agua y toma de datos	31
g)	Cosecha.....	32
3.8.	COMPONENTES EN ESTUDIO	32
3.9.	DISEÑO DE LISIMETROS.....	32
3.10.	CROQUIS EXPERIMENTAL.....	33
3.11.	EVALUACIONES REALIZADAS	33
3.11.1.	Características del suelo	33
3.11.2.	Capacidad de campo del suelo	34
3.11.3.	Punto de marchitez.....	34
3.11.4.	Calibración de depósitos de ingreso de agua y de recepción del agua de drenaje.....	34
3.11.5.	Calibración de lisímetros.....	35
3.11.6.	Instalación y desarrollo del cultivo a investigar	36
3.11.7.	Aplicaciones de agua y toma de datos.....	36
3.11.8.	Evapotranspiración Potencial o de Referencia por el método directo (lisimetría) – ETo-	37
3.11.9.	De la Evapotranspiración Potencial por el Método del Tanque de Evaporación Clase “A”	38

3.11.10. Evapotranspiración Potencial por el Método Recomendado por la FAO - Penman Monteith.....	38
3.11.11. De la Evapotranspiración del Cultivo (ETc).....	38
3.11.12. De las Evaluaciones de Desarrollo del cultivo	39
3.11.13. Determinación de Etapas fenológicas del Cultivo	39
3.11.14. Determinación de los Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Chia (Salvia hispánica L.)	39
3.12. PROCESAMIENTO DE DATOS	40
CAPITULO IV RESULTADOS	41
4.1. Características del suelo	41
4.1.1. Capacidad de campo del suelo	42
4.2. Calibración de depósitos de ingreso de agua y de recepción del agua de drenaje.....	44
4.3. Aplicaciones de agua y drenaje	44
4.4. Evapotranspiración Potencial o de referencia.....	45
4.4.1. Evapotranspiración Potencial por el Método del Tanque de Evaporación Clase “A”	46
4.4.2. De la Evapotranspiración Potencial por el Método Recomendado por la FAO - Penman Monteith.....	46
4.5. Desarrollo Vegetativo del Cultivo.	47
4.5.1. Altura de planta y número de hojas.....	48
4.5.2. Coeficiente de cultivo Kc	49
4.5.3. Identificación de las fases fenológicas	54
4.5.4. Cosecha.....	55
CAPITULO V DISCUSIÓN	57
5.1. Características Del suelo.....	57
5.2. Capacidad de campo del suelo Y Punto de marchitez	57
5.3. Evapotranspiración Potencial o de referencia.....	58
5.4. Evapotranspiración Potencial por el Método del Tanque de Evaporación Clase “A”	58

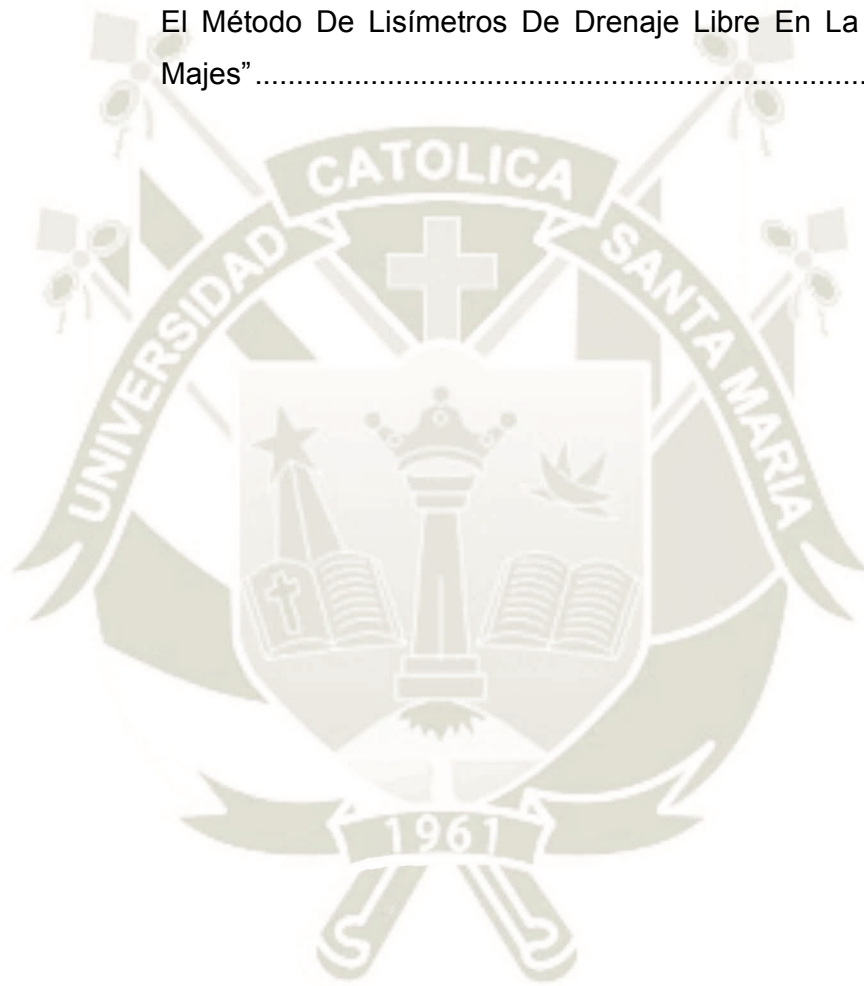
5.5. Evapotranspiración Potencial por el Método Recomendado por la FAO - Penman Monteith.	59
5.6. Desarrollo Vegetativo del Cultivo.	59
5.7. Coeficiente de cultivo Kc	59
CAPITULO VI CONCLUSIONES	61
CAPITULO VII RECOMENDACIONES	63
CAPITULO VIII BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	66



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1:	Análisis Físico-Químico de Suelos “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”	41
Cuadro N° 2:	Resultados del Muestreo de Suelos Método Gravimétrico “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”	42
Cuadro N° 3:	Cálculo de los volúmenes a aplicar por etapas fenológicas. “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”	44
Cuadro N° 4:	Resumen de Eto, por los dos Métodos “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”	45
Cuadro N° 5:	Altura de planta. “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”	48
Cuadro N° 6:	Número de Hojas. “Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) para el Cultivo de Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) por el Método de Lisímetros de drenaje libre en la Irrigación Majes”	48
Cuadro N° 7:	Identificación de las fases fenológicas en “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (<i>Salvia hispánica L.</i>) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”	54

- Cuadro N° 8:** Cosecha de Chía. “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes” 56
- Cuadro N° 9:** Etapas fenológicas y Kc “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes” 61



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema de las fases del agua en el suelo y de su utilización por las plantas.....	4
Figura N° 2: Definición de la Evapotranspiración	4
Figura N° 3: Factores que influyen en la Evapotranspiración de Referencia.....	8
Figura N° 4: Tipos de lisímetros (a) De Drenaje, (b) Nivel freático constante, (c) de Pesaje.....	11
Figura N° 5: Especificaciones del tanque clase A	13
Figura N° 6: Balance de Agua en la zona radicular.....	14
Figura N° 7: Curva típica del coeficiente de cultivo	19
Figura N° 8: Balance Hídrico.....	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Datos meteorológicos de estación CRV (Mayo – Noviembre 2017) 24	
Gráfico N° 2: Porcentaje de Humedad del Suelo-Método Gravimétrico	42
Gráfico N° 3: Evapotranspiración Potencial Determinado Por los dos Métodos 45	
Gráfico N° 4: Evapotranspiración Potencial-Método del Tanque Clase A.	46
Gráfico N° 5: Evapotranspiración Potencial-Método FAO Penman Monteith ..	47
Gráfico N° 6: Evolución de la altura de planta por semanas.....	48
Gráfico N° 7: Evolución del número de hojas por semana.....	49
Gráfico N° 8: Kc en Chía.....	53
Gráfico N° 9: Curva Teórica de Coeficientes de Cultivo.....	62

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA N° 1. Lisímetro para su Acondicionamiento.....	27
FOTOGRAFÍA N° 2. Calibración De Depósitos.....	28
FOTOGRAFÍA N° 3. Siembra del Cultivo de Chia	29
FOTOGRAFÍA N° 4. Desarrollo del cultivo.....	29
FOTOGRAFÍA N° 5. Desarrollo del cultivo.....	30
FOTOGRAFÍA N° 6. Desarrollo del cultivo.....	30
FOTOGRAFÍA N° 7. Aplicación de Agua	31
FOTOGRAFÍA N° 8. Registro de Datos	31
FOTOGRAFÍA N° 9. Cosecha del Cultivo de Chia.....	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Registros meteorológicos de la Estación AUTODEMA. (2017) .	67
Anexo N° 2 Resultados Análisis de agua AUTODEMA.....	74
Anexo N° 3. Análisis De Suelo.....	75

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACIÓN

La importancia del coeficiente de cultivo, radica en lograr una optimización del recurso hídrico, sabemos que la vegetación utiliza una cantidad muy grande de agua, pero utiliza una mínima cantidad para sus necesidades fisiológicas y la mayor parte de esta agua sale fuera de la planta, mediante la transpiración, con la influencia de los factores climatológicos y meteorológicos de la zona.

En la Irrigación Majes, existen problemas de percolación profunda causada por la inadecuada operación del riego, lixiviándose fertilizantes a mayor profundidad respecto al sistema radicular, ésta aplicación excesiva del agua; las cuales han provocado filtraciones, deslizamientos y obviamente la pérdida de áreas de cultivos sobre todo en el Valle de Siguas. Dichas aguas filtradas, contienen altas concentraciones de sales que perjudican la ecología del Valle.

Los datos de k_c que se han utilizado hasta ahora son datos referenciales obtenidos de fuentes como la FAO, que considera coeficientes de cultivo para la Chia, pero considerando que en el Perú se producen variedades anuales no tenemos un dato exacto o al menos más cercano a nuestra realidad; por todo ello, existe en la actualidad una necesidad de contar con valores reales de coeficientes de cultivo, específicamente en función a la climatología de la Irrigación Majes, para obtener resultados más precisos de demanda hídrica.

El requerimiento de agua para cada cultivo es diferente según las variaciones climáticas y las condiciones meteorológicas del lugar. Además, la FAO, en su última publicación, sugiere k_c para diferentes cultivos y condiciones climáticas, sin embargo, recomienda la calibración local, que nos permitirán contar con exactitud la real demanda de agua de los cultivos en forma diaria y finalmente determinar las necesidades de riego.

La Irrigación Majes, presenta un clima considerado como semiárido, con humedades relativas bajas, temperaturas altas en el día y bajas por la noche, con horas sol que llegan hasta 10, por lo que es necesario determinar el

requerimiento de agua de cada cultivo. Determinado el Coeficiente de Cultivo (Kc), podremos realizar la aplicación de la cantidad de agua de riego a los cultivos en forma oportuna y en la cantidad necesaria, permitiendo optimizar el uso del recurso hídrico destinado para el riego sin afectar la producción de los cultivos.

1.2. HIPÓTESIS

Es probable que utilizando lisímetros, integrando los efectos del clima y meteorología de la zona de estudio, determinemos los coeficientes de cultivo (kc) para la Chia (*Salvia hispánica L.*).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Determinar los coeficientes de cultivo (Kc) para el cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*) mediante lisímetros de drenaje libre, para las condiciones climáticas y meteorológicas de la Irrigación Majes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las etapas fenológicas del cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*) y la duración de las mismas en los meses de mayo a octubre, en la Irrigación Majes.
- Determinar la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración potencial o de referencia (Eto) por el método directo utilizando lisímetros de drenaje libre.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

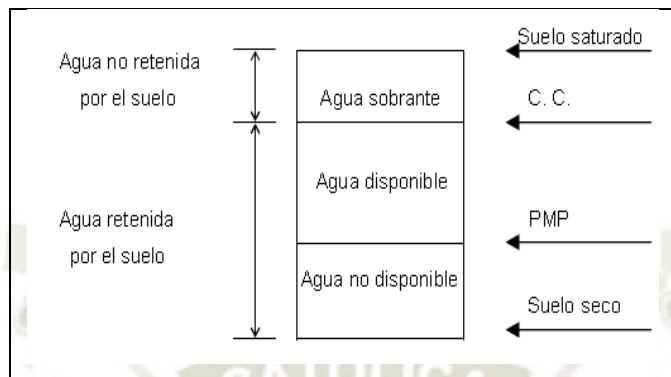
2.1. RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE

Para Benítez (1999); el suelo es un sistema heterogéneo, compuesto por elementos sólidos (minerales y orgánicos) y espacios vacíos, ambos se encuentran en proporciones diferentes que le dan características especiales. Según Avidán (1994), cada suelo tiene una curva de retención característica, la cual es función de su textura y estructura.

Respecto a la Utilización del Agua en el Suelo Fuentes J. (2003); dice que, desde el punto de vista de su utilización por las plantas, el agua del suelo se clasifica así:

- Agua sobrante, es la porción de agua que sale libremente del suelo por la acción de la gravedad. Comprende el agua gravitacional. Ésta agua no puede ser utilizada por la planta, porque pasa a una región no accesible a las raíces. Fuentes J. (2003)
- Agua disponible, porción de agua que puede ser absorbida por las raíces con suficiente rapidez para compensar las pérdidas por transpiración; es igual a la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez. Fuentes J. (2003)
- Agua no disponible, es el agua retenida por el suelo con tanta fuerza que las plantas no pueden absorberla con suficiente rapidez para compensar las pérdidas por transpiración. Ésta agua es la que permanece en el suelo a partir del punto de marchitamiento. Fuentes J. (2003)

Figura N° 1: Esquema de las fases del agua en el suelo y de su utilización por las plantas



Fuente: Fuentes Yagüé (2003)

2.2. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

2.2.1. La Evapotranspiración

Israelsen y Hansen (1985); manifiestan que es la suma de los términos; transpiración, y evaporación, que es el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. Además, ambos procesos se producen simultáneamente y no existen métodos sencillos para separarlos, por lo que ambos procesos se engloban generalmente bajo el término evapotranspiración.

Figura N° 2: Definición de la Evapotranspiración



Fuente: Elaboración propia

Según, Goyal M. y González F. (1990); El volumen de agua transpirada dependerá de muchos factores como la demanda evapotranspirativa, la etapa de desarrollo del cultivo y la cantidad de agua disponible del suelo de la zona de crecimiento de las raíces. La capacidad de retención de agua del suelo, pues, desempeña un rol clave en la determinación de la frecuencia y cantidad de riego requerido para satisfacer las necesidades de agua de las plantas. Fuentes, J. (2003); menciona que a medida que la planta crece y se desarrolla aumenta el número de hojas con la cual se hace intensa la transpiración y aumentan las necesidades de agua para aumentar su capacidad de absorción de agua la profundiza y extiende sus raíces. Por su parte, Benítez C. (1999); la define como la cantidad de agua requerida para su normal desarrollo que depende de varios factores entre ellos el climático y según Castellvi, F. (1996), se establece la relación siguiente:

$$ET = Ev + Tr$$

Donde:

- ET = Evapotranspiración
- Ev = Evaporación de agua del suelo
- Tr = Evaporación de agua absorbida por las plantas, las unidades se expresan en (mm) ó m³/ha, (1 mm equivale a 10 m³/ha)

2.2.1.1. Evaporación

Para Reyes, (1992), la evapotranspiración es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor mediante un proceso específicamente físico, la velocidad de evaporación es función del estado de la atmósfera de las vecindades de la superficie evaporante (agua, nieve, hielo, etc.) que estos están en función de muchos factores.

2.2.1.2. Transpiración

La transpiración se refiere a la evaporación de agua del suelo a través del sistema vascular de la planta. El volumen de agua transpirada dependerá de muchos factores como la demanda evapotranspirativa (evapotranspiración potencial), la etapa desarrollo del cultivo y la cantidad de agua disponible del suelo de la zona de crecimiento de las raíces. Goyal M. y González F. (2007)

2.2.2. Evapotranspiración Actual o Real o del Cultivo (ETc)

Hargreaves, G (1975); menciona que la evapotranspiración real, es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables y es equivalente a ETc por los cultivos agrícolas incluyendo evaporación directa de la humedad del suelo y de las plantas húmedas por las hojas, por su parte, para Fuentes, (2003); menciona que la cantidad de agua que es realmente consumida por un determinado cultivo durante el periodo de tiempo considerado, los factores que condicionan la evapotranspiración se pueden agrupar de la siguiente forma:

Factores en el suelo

Naturaleza de la vegetación

La fase vegetativa en que se encuentra el cultivo

Condiciones meteorológicas

Una mínima parte del agua absorbida por la planta se consume en la evapotranspiración, ya que sólo una mínima parte (del 0.1 al 1%) se incorpora a los tejidos de la planta (agua de constitución). Por tanto, desde un punto de vista práctico se consideran las necesidades hídricas del cultivo iguales a las necesidades de evapotranspiración. Fuentes, J. (2003)

Según García, J. (1990); Los factores que regulan este proceso son:

- i. Disponibilidad de humedad
- ii. Estado de desarrollo (crecimiento) y cobertura de vegetación

- iii. Naturaleza y tipo de suelo
- iv. Elementos climáticos
- v. Temperatura de la superficie evapotranspirante.

FAO (2006); el Etc bajo condiciones estándar se denomina ETc y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo en perfectas condiciones agronómicas, bajo óptimas condiciones climáticas reinantes. A su vez Monsalve, G. (1999); la define como el conjunto de fenómenos de evaporación y transpiración que es la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, en las condiciones reinantes atmosféricas y de humedad del suelo.

Para Whitters, y Vipond, (1978); la ETc se determina introduciendo un coeficiente de cultivo kc, que varía según las características del cultivo, fechas de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del periodo vegetativo, condiciones climáticas y frecuencia de riego. La ETc se expresa en mm de agua por día, por mes ó por temporada de cultivo.

$$ETc = ETo * kc$$

ETc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/día

ETo = Evapotranspiración de referencia, en mm/día

Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional)

2.2.3. Evapotranspiración Potencial o de Referencia (ETo)

FAO, (2006); los únicos factores que afectan la evapotranspiración de referencia son los elementos climáticos. Por lo tanto la ETo es también un elemento climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. Vásquez (1992); sostiene que es la cantidad de agua evaporada y transpirada por un cultivo de tamaño corto (pasto), que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua.

García, (1990); aduce que no siempre la ET_o es mayor que la evapotranspiración real (ET_c), ya que, en las fases de intenso desarrollo del cultivo, sin déficit de agua, ocurre lo inverso. Esto dio origen al término Evapotranspiración de referencia. Por otro lado, cuando el suelo de un campo de cultivo se mantiene sin déficit de agua, la evapotranspiración real alcanza su valor más alto la cual es denominada *evapotranspiración máxima* (ET_m), mas debemos tener presente que la ET_m depende del tipo de cultivo y sus fases fenológicas de éste.

Figura N° 3: Factores que influyen en la Evapotranspiración de Referencia



2.2.3.1. Cuantificación de la Evapotranspiración

FAO, (2006); sostienen que la ET_o no es simple de medir, para determinarla experimentalmente, se requieren de aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance de agua del suelo en lisímetros; los métodos experimentales de campo, son en general costosos, exigiendo precisión en las mediciones y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado.

Para Fuentes (1997); existen varios métodos para determinar la evapotranspiración potencial. Los métodos directos comúnmente aplicados son los siguientes:

- Método de los Lisímetros
- Método gravimétrico.

- Balance hídrico.

Según los métodos Indirectos, se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Basadas en la Temperatura del aire: fórmula de Thornthwaite (1949), fórmula de Turc (1954) y la fórmula de Blaney-Criddle (1950)
2. Basadas en el Intercambio de masa: consideramos la Ley de Dalton (1802).
3. Basadas en El intercambio de energía; tenemos a la fórmula de Jones (1997).
4. Fórmulas Combinadas, está la fórmula de Penman Monteith (Allen et al., 1998)

2.2.3.1.1. Método de los lisímetros.

Para García, y Briones, (1997); los lisímetros son dispositivos formados por un tanque con área de 4 m² como mínimo y pudiendo alcanzar hasta 10 m², su profundidad depende del cultivo, más lo ideal es de 1 a 1.2 m. sobre todo para cultivos anuales; al llenarse el recipiente se inicia con una capa de cascajo, otra de arena fina y luego es colocado el suelo obedeciendo las capas del perfil del mismo. En el tanque así constituido se siembra un cultivo cuya pérdida continua de agua se desea conocer. El dispositivo constituido de esta forma es el lisímetro que nos permite conocer la evapotranspiración real. García, I. y Briones, J. (1997); el método de lisimetría proporciona el único medio directo de medir la evapotranspiración y es frecuentemente usado para estudiar los efectos climatológicos y para evaluar los diferentes métodos que hacen estimaciones de ET.

Goyal y Gonzáles (1990); mencionan que las condiciones del suelo dentro del lisímetro deben ser esencialmente iguales a aquellos

fuera del mismo. El lisímetro debe estar rodeado por el mismo tipo de cultivo que esté plantado en él, localizado dentro del campo de cultivo. Los lisímetros pueden ser agrupados dentro de tres categorías:

- a. Lisímetros de nivel freático constante,
- b. Lisímetros de Pesaje
- c. Lisímetros de Drenaje o Precolación

La relación de balance hídrico que se aplica en lisímetros es la siguiente:

$$\text{Precipitaciones} + \text{Riego} = \text{ETo} + \text{Infiltración} + \Delta \text{ Almacenamiento}$$

Para calcular Δ almacenamiento. Normalmente se mide la humedad del suelo y a partir de ahí se calcula para convertir esa humedad en una lámina de agua equivalente expresada en mm. Goyal y Gonzáles (2007)

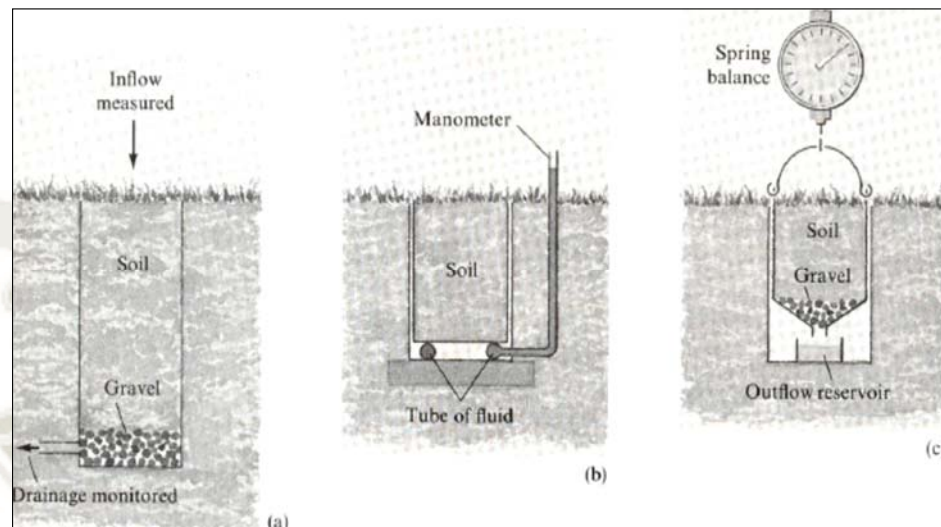
Goyal y Gonzáles (2007); Mediante riego, el método es más simple, debido a que se debe mantener el suelo en condiciones de humedad óptima y el cálculo ahora sería despejando ETP de la ecuación siguiente:

$$\text{RIEGO} = \text{ETP} + \text{INFILTRACIÓN}$$

$$\Rightarrow \text{ETP} = \text{Riego} - \text{Infiltración}$$

Ya no hay Δ almacenamiento, puesto que dicho almacenamiento está siempre completo y consideramos que tampoco hay precipitación. Un lisímetro es difícilmente representativo de 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. Goyal, M. y Gonzáles, F. (2007)

Figura N° 4: Tipos de lisímetros (a) De Drenaje, (b) Nivel freático constante, (c) de Pesaje.



Fuente: Dunne & Leopold (1978)

Balance aplicado a lisímetros de Drenaje: $ET_c = P + I - D$

En caso de zonas áridas si precipitación: $ET_c = R - D$

Balance aplicado a lisímetros de Pesada: $ETR = P + R - D + \Delta\theta$

Donde:

- P : precipitación
- R : riego
- D : drenaje
- $\Delta\theta$: Intercambio de humedad del suelo.

2.2.3.1.2. Método del tanque de evaporación tipo "A".

Goyal, M. y Gonzáles, F. (1990); manifiestan que la bandeja de evaporación integra los factores de clima y proveen un buen estimado de la E_{To} si se le da buen servicio de mantenimiento y manejo. La relación entre la E_{To} y la evaporación de bandeja pueden ser expresadas como:

$$E_{To} = K_p \cdot E$$

Donde:

E_{To} = Evapotranspiración potencial, mm/ día.

K_p = Coeficiente de bandeja.

E = Evaporación de bandeja clase A.

Con los datos del tanque evaporímetro puede calcularse la evaporación de las masas de agua mediante coeficientes estimados en cada zona.

FAO (2006); El tanque Clase A es circular, 120,7 cm. de diámetro y 25 cm. de profundidad. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). Se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm. por encima del nivel del suelo. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm. por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 cm. por debajo del borde. El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las mallas sobre los tanques deben evitarse. Los tanques deben ser protegidos con mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales.

FAO, (2006); El lugar de instalación debe estar cubierto preferentemente con pasto, en un área de 20 por 20 m, abierto a todos lados para permitir la circulación del aire. Es preferible que la estación se encuentre situada en el centro o dentro de grandes campos cultivados.

Avidán (1994); el tanque evaporímetro clase A permite estimar los efectos integrados del clima en función de la evaporación de una superficie de agua libre de dimensiones estándar. Existe una estrecha relación entre los procesos de evapotranspiración del cultivo, (Etc) la evaporación del tanque clase A (E_{to}) donde:

La Eto se estima de acuerdo a la siguiente fórmula de la FAO

$$Eto \text{ (mm/día)} = Eo \text{ (mm/día)} / Kp$$

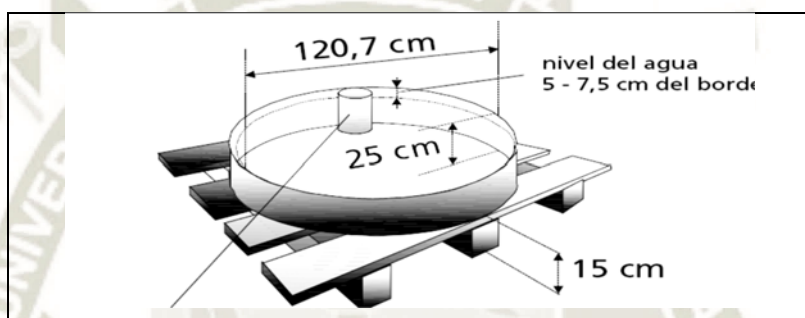
Donde:

Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia, (mm/día)

Eo = Evaporación media diaria del tanque evaporímetro (mm/día)

Ktan = Coeficiente del tanque evaporímetro clase A

Figura N° 5: Especificaciones del tanque clase A



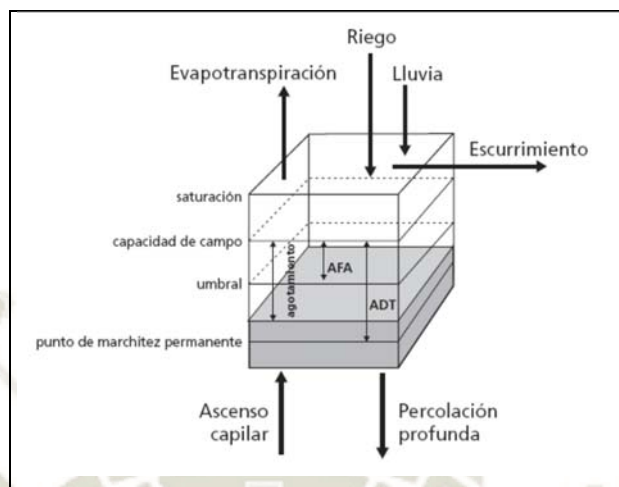
Fuente: FAO (2006)

2.2.3.1.3. Balances hídricos.

El balance es la evaluación volumétrica de las entradas y salidas de agua a un sistema para conocer su disponibilidad García, (1990).

García, (1990); Para establecer un balance hídrico hay que conocer las entradas de agua, que están dadas por el riego (R), medido volumétricamente, y las salidas de agua de un cultivo, que se dan por la evapotranspiración (ETc), que es la pérdida de agua por evaporación desde cualquier superficie evaporante más la transpiración de la vegetación existente, y por el drenaje (D), que es la cantidad de agua que percola a través del suelo por efecto de la gravedad.

Figura N° 6: Balance de Agua en la zona radicular



Fuente: FAO (2006)

Para la FAO (2006); la estimación del consumo hídrico requiere del cálculo de un balance diario de humedad para la zona radicular del suelo. De una manera esquemática (Figura N° 06), se puede representar la zona radicular como un recipiente en el cual puede fluctuar la cantidad de agua existente. Es útil expresar el contenido de agua en la forma de agotamiento del agua en la zona radicular.

Esto hace más sencillo el proceso de añadir y sustraer las pérdidas y ganancias, considerando que los diferentes parámetros del balance de humedad del suelo son expresados generalmente en forma de lámina de agua. *Fao, (2006)*.

Fao, (2006); El balance diario del agua en la zona radicular del suelo, expresado en términos de agotamiento al final del día es, por lo tanto:

$$ETc = \text{Riego} + \text{Precipitación} - \text{Agua que percola}$$

2.2.3.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

2.2.3.2.1. Factores meteorológicos:

Shukla y Mintz, (1982); las condiciones meteorológicas desempeñan un gran papel en la determinación de la tasa de evapotranspiración, y a su vez la evapotranspiración tiene un gran peso en la caracterización del clima. La gran cantidad de energía consumida por el proceso de evapotranspiración procede fundamentalmente de dos fuentes: La radiación y la energía del aire cuando está más caliente que el cultivo.

Shukla y Mintz, (1982); Son los más importantes porque dominan el orden de magnitud del proceso, definiendo la ETP además determinan la capacidad evaporante del aire, función de variables como:

Radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire, velocidad del viento y otros. (Shukla y Mintz, 1982).

2.2.3.2.2. Factores del Suelo y de la Vegetación (ETc)

a) Factores Relacionados con el Suelo: Son importantes porque controlan la cantidad de agua disponible para la evapotranspiración, el suelo no interviene cuando no hay déficit de humedad ($ETR=ETP$), entran en juego cuando la humedad del suelo es inferior a la capacidad de campo. Por ello están relacionados con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, y con su facilidad para ceder el agua retenida. Doorenbos y Pruitt (1977)

b) Factores relacionados con la vegetación:

- Coeficiente de albedo: Reflectividad de la superficie vegetal, distinta para cada especie según la forma de la hoja, color, rugosidad superficial, etc.
- De la superficie vegetal, desde los estomas y la cutícula (mayor o menor adaptación a vivir en ambientes secos):

Valores bajos para herbáceas de zonas templadas.

Valores más pequeños para árboles de hoja caduca, más altos para los de hoja perenne y mayores para las coníferas, hierbas de regiones secas y plantas suculentas.

- Resistencia aerodinámica de la cubierta vegetal, en función de su altura, siendo menor (mayor difusión de vapor) para las cubiertas más altas.
- Relación raíz a tallo (superficie absorbente de las raíces en relación a superficie evaporante de las hojas).
- Profundidad y densidad de raíces, que posibilita el acceso a mayor humedad del suelo (más espacio efectivo). Doorenbos y Pruitt (1977).

2.3. COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. Para Doorenbos y Pruitt (1977); el factor (Kc) depende del cultivo y su etapa fenológica y se puede determinar mediante el balance hídrico. Al mismo tiempo, *García, (1997)*; lo considera como un parámetro que permite estimar la Etc en función de la Eto.

Es decir, el Kc permite conocer la demanda hídrica de un cultivo en ausencia de lisímetros. Si en el experimento del estudio de requerimientos hídricos del cultivo, hacemos funcionar paralelamente un evapotranspirómetro, entonces tendremos informaciones de evapotranspiración máxima (Etc) y de evapotranspiración de referencia (Eto) y con los dos conjuntos de datos se determinan los valores de kc, haciendo uso de la relación que se expresa en la ecuación siguiente:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

Donde E_{Tc} puede ser la evapotranspiración medida por lisímetros y la E_{To} es la evapotranspiración potencial que considera la radiación solar, la humedad relativa, la velocidad del viento y la temperatura.

García (1997); Como tanto E_{to} y E_{tc} son funcionales de elementos climáticos y que E_{TC} depende además del cultivo, es obvio, según la ecuación anterior, que el k_c es variable y depende mayormente del cultivo, variando grandemente de una fase a otra y muy poco de una especie a otra. Los valores máximos corresponden al estado de pleno desarrollo del cultivo y los valores más bajos al estado de establecimiento.

Para Goyal M. y González F. (1990); el coeficiente de cultivo (K_c) desarrollado experimentalmente refleja la fisiología del cultivo, el grado de cubierta y la evapotranspiración (E_{To}). El K_c combinado incluye evaporación del suelo y de la superficie de la planta; El K_c puede ser ajustado a la disponibilidad de agua en el suelo y evaporación de la superficie. La distribución de K_c vs. tiempo es conocida como la curva de cultivo

2.3.1. FACTORES QUE DETERMINAN EL COEFICIENTE DEL CULTIVO:

De acuerdo con Doorenbos y Pruitt (1977); los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectaran al valor de K_c :

- Tipo de cultivo
- Clima
- Evaporación del suelo
- Etapas de crecimiento del cultivo

2.3.1.1. Tipo de Cultivo

Según Allen et.al, (1998); Debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas, se presentaran diferencias entre la evapotranspiración de un cultivo bien desarrollado y regado y la de referencia E_{To} . Los espaciamientos estrechos entre plantas, así como la mayor altura y rugosidad de la superficie de una gran cantidad de

cultivos agrícolas, producen como consecuencia que esos cultivos presenten coeficientes K_c mayores a 1,0.

2.3.1.2. Clima

Doorenbos, J. y Pruitt, W. (1977); debido a que las propiedades aerodinámicas son más pronunciadas en la mayoría de los cultivos agrícolas, al compararse con el pasto de referencia, el cociente entre E_{Tc} y E_{To} (o sea K_c), aumenta en la mayoría de los cultivos cuando la velocidad del viento aumenta y cuando la humedad relativa disminuye. En condiciones de una mayor aridez climática y de una mayor velocidad del viento, los valores de K_c aumentan. Por otro lado, en climas húmedos y en condiciones de velocidades del viento bajas, los valores de K_c disminuyen.

2.3.1.3. Evaporación del suelo

Doorenbos, J. y Pruitt, W. (1977); Cuando el suelo se encuentra humedecido la mayoría del tiempo debido al riego o la lluvia, la evaporación en el suelo será significativa y el valor de K_c puede exceder a la unidad.

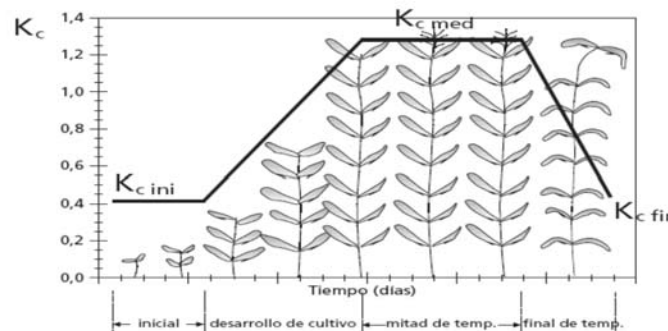
2.3.1.4. Etapas de crecimiento del cultivo

Fuentes, (2003); El valor del coeficiente de cultivo depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su período vegetativo. Según *Doorenbos, J. y Pruitt, W. (1977)*; a medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Esta variación es más evidente en cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo. Para los que se distinguen cuatro etapas:

- **Primera etapa:** Emergencia de plántulas
- **Segunda etapa:** Inicio de ramificaciones
- **Tercera etapa:** Floración.
- **Cuarta etapa:** Madurez fisiológica

- **Quinta etapa:** Madurez de cosecha

Figura N° 7: Curva típica del coeficiente de cultivo



Fuente: FAO 2006 Guía N° 56

Como se observa en la figura superior, el K_c comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de K_c se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de K_c para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden ajustar valores orientativos de K_c de acuerdo a las características climatológicas y meteorológicas del lugar.

2.4. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS

- A. Chávez, (2016); en su trabajo de investigación se realizó en el Centro de Reconversión Agroganadera (CRA) de la Autoridad Autónoma de Majes, sección B, zona especializada de la Irrigación Majes, a una Altitud de 1400 m.s.n.m. y ubicada en Latitud sur: 16° 30', Longitud Oeste: 72° 10', y políticamente ubicada en el departamento de Arequipa, Provincia de Caylloma, Distrito Majes. El cultivo de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) se ha estado introduciendo favorablemente a las condiciones áridas de la Irrigación Majes, con el fin de generar información y hacer un uso adecuado del agua de riego, se realizó el presente trabajo entre los meses de Enero a Julio, en el cual se estimaron los coeficientes de cultivo (K_c) para maralfalfa (*Pennisetum sp.*) en su desarrollo vegetativo. Se estimó la ET_c

utilizando un lisímetro de drenaje libre. La ETo se obtuvo del método de Evaporación (Eo) del Tanque Clase "A" ubicado en la misma zona de estudio de la Irrigación de Majes. El periodo de desarrollo vegetativo del cultivo fue de 192 días, equivalentes a 28 semanas (tres cortes), el primer corte se obtuvo a los 93 días después de la siembra, el segundo a 46 días después del primer corte y el tercero a los 52 días después del segundo corte. Se ha determinado una gráfica lineal donde los valores de ETC van creciendo en relación a la etapa de desarrollo del cultivo siendo los valores más altos en la etapa final o cosecha, los valores obtenidos en los diferentes cortes fueron de 0,40 a 5,28 mm día⁻¹; 1,03 a 2,43 mm día⁻¹ y 0,22 a 2,88 mm día⁻¹ para el primer, segundo y tercer corte respectivamente. En cuanto a los valores de Kc se ha determinado por cada semana de crecimiento del cultivo para cada etapa o corte siendo los valores para el primer corte dividido en 14 semanas; 0,16; 0,22; 0,36; 0,51; 0,49; 0,83; 0,78; 0,85; 0,89; 0,93; 1,00; 1,06; 1,17 y 1,07; en el segundo corte con 7 semanas el cual empezó en la semana catorce y llegó hasta la 20 cuyos valores fueron; 0,27; 0,38; 0,48; 0,57; 0,62; 0,73 y 0,87; y para el tercer corte con 9 semanas el cual en peso en la 20 hasta la 28 cuyos valores de Kc fueron 0,14; 0,29; 0,42; 0,53; 0,58; 0,64; 0,72; 0,79 y 0,84. Finalmente se registró un consumo de agua de 2216,11; 850,56 y 957,04 m³ ha⁻¹ para el primer segundo y tercer corte respectivamente. En lo referente a la producción en el primer corte se obtuvo un rendimiento de 247 t ha⁻¹; en el segundo con 76,5 t ha⁻¹ y el tercer corte con 115 t ha⁻¹ y con un índice de rentabilidades de 1,82; 0,88 y 1,82 respectivamente.

- B. Cáceres, (2016); El presente trabajo de investigación se realizó en el área del Centro de Reconversión Agrícola de la Autoridad Autónoma de Majes, sección B, zona especializada de la Irrigación Majes, a una Altitud de 1400 m.s.n.m. y ubicada en Latitud sur: 16° 30', Longitud Oeste: 72° 10', y políticamente ubicada en el departamento de Arequipa, Provincia de Caylloma, Distrito Majes. El cultivo de ají paprika (*Capsicum Annuum*) ocupa los primeros lugares en importancia dentro de las hortalizas que se cultivan en nuestra zona y

en general en el país, siendo este un cultivo de exportación y de importancia económica es necesario conocer el consumo de agua de este cultivo por etapa fenológica para tener un mejor uso del recurso frente a esta crisis del calentamiento global que se presenta y los problemas que se vienen dando en los valles, como los deslizamientos, siendo consecuencia del exceso de riego que da a los cultivos por desconocimiento del consumo real de agua por campaña del cultivo.

Se estimó la ET_c utilizando un lisímetro de drenaje libre. La ET_o se obtuvo del método de Evaporación (E_o) del Tanque Clase "A" ubicado en la misma zona de estudio de la Irrigación de Majes. El periodo de desarrollo vegetativo del cultivo fue de 189 días. Se ha determinado una gráfica lineal donde los valores de ET_c van creciendo en relación a la etapa de desarrollo del cultivo siendo los valores más altos en la etapa de floración. Se determinaron 6 etapas vegetativas diferentes en el cultivo. La primera fase de Germinación tiene una duración de 13 días y un K_c de 0.41, la segunda fase o Periodo Vegetativo Lento tiene una duración de 53 días y presenta un K_c de 0.55, la tercera fase o Periodo Vegetativo Rápido tiene una duración de 28 días con un K_c de 0.63, la cuarta fase o Floración dura 28 días y presenta un K_c de 0.81, la quinta fase o fase de Fructificación tiene una duración de 39 días presentando un K_c de 0.65, y por último la última fase de Maduración tiene una duración de 28 días con un K_c de 0.55. Estos datos son de importancia para tener una base técnica en relación a la aplicación de tiempos de riego, dado que año tras año la disponibilidad de agua va disminuyendo, por lo tanto nos vemos en la obligación de ser más eficientes con el uso de agua de riego, aplicando sólo lo que la planta necesita utilizando coeficientes de riego, los cuales entran a tallar a una programación de riego aumentando nuestra productividad del agua.

- C. Padilla (2016); el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) está presente en 2 400 has en la ciudad de Lima. Debido a ello, el entendimiento y la determinación del requerimiento hídrico del césped en estudio es de gran interés desde el punto de vista económico y

ambiental. Otro aspecto importante relacionado con los coeficientes de los cultivos viene a ser los métodos para su determinación, en este estudio se utilizaron lisímetros de drenaje de bajo costo, ajustados a las características agronómicas del césped americano. Por tanto, el objetivo principal es la determinación del coeficiente de cultivo para el césped americano utilizando lisímetros de drenaje desde el mes de marzo hasta julio en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El lisímetro de drenaje fue óptimo en base a los siguientes aspectos: economía, confiabilidad y estabilidad. Por otro lado, el monitoreo de los datos meteorológicos se realizó con una estación meteorológica automática, y adicionalmente se contó con un tanque evaporímetro clase A. El tanque facilitó la información necesaria para conocer las láminas de riego a reponer considerando un factor del tanque de 0,8 y conocer la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). Así mismo se comprobó que la ET_o obtenida a partir de la estación meteorológica es confiable estadísticamente con respecto a la determinada mediante el método del tanque de evaporación. Los balances hídricos en el suelo sirvieron para obtener los valores de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), y fueron menores a la unidad durante el periodo de estudio. Las variables que intervinieron en los balances fueron las siguientes: riego, precipitación, variación de humedad en el suelo y agua drenada. El resultado de la investigación determinó que el coeficiente de cultivo (K_c) del césped americano fluctuó entre los valores de 0,89 a 0,62 en La Molina desde el mes de marzo hasta el mes de julio considerando una cobertura total en las parcelas experimentales.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El lugar donde se llevó a cabo la investigación se encuentra ubicado en el Centro de Reconversión Agroganadera de la AUTODEMA en la Comisión de Regantes 3R-B6 “Zona especializada”, a continuación, se detalla la ubicación:

3.1.1. Ubicación Política

- Departamento : Arequipa
- Provincia : Caylloma
- Distrito : Majes
- Comisión de Regantes : 3R-B6 “Zona especializada”

3.1.2. Ubicación Geográfica

- Latitud : 16° 30' 00" S
- Longitud : 72° 10' 00" W
- Altitud : 1400 m.s.n.m

3.2. FECHA DE INICIO Y TÉRMINO

La instalación del experimento de investigación, se inició en mayo del 2017 y culminó en noviembre del 2017 teniendo una totalidad de 7 meses de duración.

3.3. HISTORIA DEL CAMPO EXPERIMENTAL

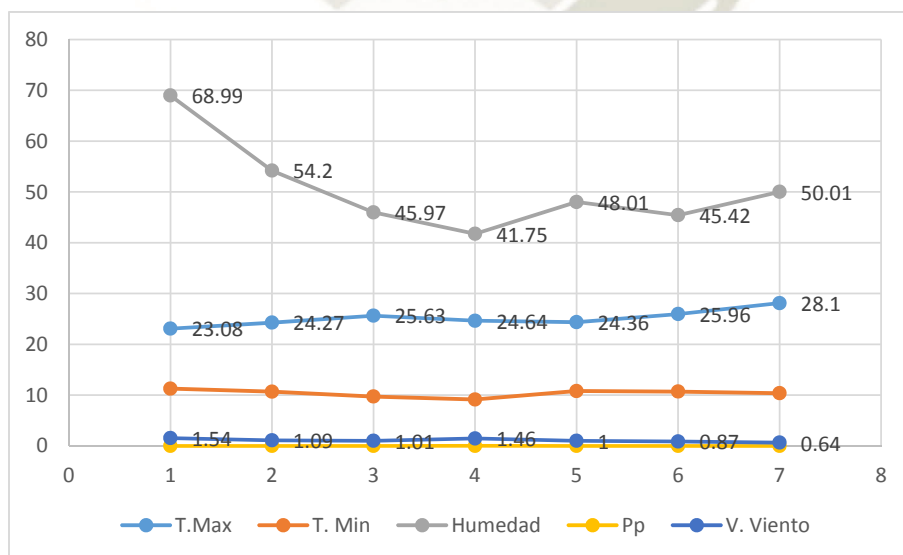
El campo experimental donde se instaló el estudio, es un terreno que estuvo cultivado con tomate anteriormente.

3.4. CLIMATOLOGÍA

Los datos se obtuvieron de la estación lisimétrica se instaló una estación meteorológica automática, con sensores de humedad relativa, temperatura del aire y suelo, dirección y velocidad del viento, radiación solar y otras variables climáticas necesarias para determinar Eto, la misma que nos proporciona datos captados cada décima de segundo y la descarga se realiza a través del software Weatherlink 5.1.2, instalado en una PC, los datos se descargan diariamente para los cálculos correspondientes. Asimismo, se recopilaron datos históricos de temperatura, humedad y horas de sol de la Irrigación Majes. Estos datos se encuentran en Anexo 1 y la representación Gráfica en el Grafico 01.

La temperatura máxima mensual se registra en noviembre con 28.1 °C y la temperatura Mínima mensual más baja en el mes de Agosto con 9.14°C, La humedad relativa más alta se encuentra en el mes de Mayo con 68.99% y la más baja en Agosto con 41.75 %. La Velocidad del viento máxima mensual más alta en el mes de Mayo con 1.54 km/m. la velocidad mínima Mensual en el mes de Noviembre con 0.64 km/m.

Gráfico N° 1. Datos meteorológicos de estación CRV (Mayo – Noviembre 2017)



3.5. RECURSO AGUA

Conductividad Eléctrica (CE)

Clase C2: Agua de salinidad media, puede utilizarse siempre y cuando haya un cierto grado de lavado. Las plantas moderadamente tolerantes a las sales pueden producir adecuadamente en casi todos los casos y sin necesidades de prácticas de control de salinidad. La CE, varía entre 250 – 750 micromhos/cm.

Sodio (RAS)

Clase S1: Agua baja en sodio, puede utilizarse para el riego de la mayoría de los cultivos y en la mayoría de los suelos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. El valor de RAS, es bajo.

Hidrología

El recurso hídrico proviene de las aguas reguladas del río Colca, trasvasadas a la cuenca del río Siguan y distribuidas a través de canales de riego a las áreas bajo cultivo. El área del proyecto es abastecida por el canal 3 R el cual, según la licencia de agua actual, consigna una dotación de hasta 23,500 m³/ha/año (0.75 lts/seg/ha). (Anexo 02)

3.6. RECURSO SUELO

Los análisis de suelo, se muestran en el Cuadro 01, donde se observa que son suelos de textura franco arenoso, con pH 7.80, Conductividad eléctrica 6.43 mmhos/cm, Carbonato de calcio (CaCO₃) 0.18 %, Materia Orgánica (MO) 0.00 % Nitrógeno (N) 0.00%, Fosforo (P) 2.27 ppm, Oxido de potasio (K₂O) 326.41 ppm, Capacidad de intercambio catiónico (CIC) 5.26 meq/100g, Calcio (Ca) 3.59 meq/100g, Magnesio (Mg) 0.55 meq/100g, Potasio (K) 0.60 meq/100g, Sodio (Na) 0.52 meq/100g, Arena 89.58 %, Limo 5.94% y Arcilla 4.48 % (Anexo N° 03).

3.7. MATERIALES Y MÉTODOS

3.7.1. MATERIALES

a) Materiales de campo

- 3 lisímetros que se instalaron con cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*).
- 01 Estación Agroclimática Automática.
- 01 tanque de evaporación clase A.
- Agua apta para el riego, disponibles en forma diaria.
- Fichas de registro y toma de datos.
- Insumos agrícolas

b) Material biológico

- Semillas de Chia (*Salvia hispánica L.*).

c) Material de Escritorio

- Lapiceros
- Computadora
- Hojas de papel Bond.
- Reglas.
- Calculadora.
- Programa Computacional.
- Libreta de Campo.

3.7.2. METODOLOGÍA SEGUIDA

a) Análisis del suelo.

Para comenzar la instalación de un cultivo, lo más recomendable es hacer un análisis de suelo, el cual es una herramienta fundamental para evaluar la fertilidad del suelo y es la base para definir la dosis de nutrientes a aplicar.

b) Acondicionamiento de Lisímetro.

Se realizaron labores de acondicionamiento de los lisímetros para asegurarnos de que no haya problemas con los volúmenes de agua (Fuga). Se retiró todo el material y se corrigieron algunos de los problemas, para luego proceder a llenarlo. Fotografía 1 se observa el Lisímetro para su Acondicionamiento

FOTOGRAFÍA N° 1. Lisímetro para su Acondicionamiento**c) Calibración de Depósitos.**

Calibración de depósitos de aplicación de volúmenes de agua y depósitos de recepción del agua de drenaje. Cada lisímetro cuenta con un depósito que aplicará agua para el riego y un depósito de recepción de agua de drenaje. El volumen de agua en litros de cada depósito fue calibrado en función a la altura de agua en cm. de la regla graduada del depósito. Fotografía 2 Calibración de depósitos

FOTOGRAFÍA N° 2. Calibración De Depósitos



d) Capacidad de campo del suelo

Se determinó la capacidad de campo del suelo aplicando el método gravimétrico

e) Instalación y desarrollo del cultivo a investigar

Una vez calibrados los lisímetros (A1, A2 y A3), se instalaron las semillas de Chia, para ello la preparación del terreno se realizó una semana antes de la siembra, tratándose de un suelo de textura franco arenosa, se incorporó estiércol descompuesto y se niveló antes de instalar las cintas de goteo. La fecha de siembra fue el 25 de Mayo del 2017, se instaló el cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*), en forma manual, se utilizó 1 semilla por golpe con una densidad de 133,333.333 plantas/Ha. La instalación se realizó, con un espaciamiento de 0.20 m. entre plantas y 0.75 m. entre líneas, a doble hilera, contando con 48 plantas dentro de cada lisímetro. El riego y la fertilización se aplicó a través del sistema de riego en forma diaria, por lo que se utilizó un programa de fertilización el mismo que tuvo una duración de 21 semanas, la aplicación de fertilizantes se realizó semanalmente, considerando la compatibilidad entre ellos. En

la Fotografía 3 se observa la siembra del cultivo de Chia.
Fotografía 4 ,5,6 desarrollo del cultivo.

FOTOGRAFÍA N° 3. Siembra del Cultivo de Chia



FOTOGRAFÍA N° 4. Desarrollo del cultivo



FOTOGRAFÍA N° 5. Desarrollo del cultivo



FOTOGRAFÍA N° 6. Desarrollo del cultivo



f) Aplicaciones de agua y toma de datos

En forma diaria a horas 9.00 am se midió el volumen de agua drenado de cada lisímetro y se anotó en un registro de datos; inmediatamente se evacuó dicha agua, para poner el recipiente en cero y pueda acumular el volumen de la nueva lectura. En la fotografía 7, se observa la aplicación del agua al cultivo, fotografía 8 registro de datos.

FOTOGRAFÍA N° 7. Aplicación de Agua



FOTOGRAFÍA N° 8. Registro de Datos



g) Cosecha.

El periodo vegetativo de dicho cultivo fue de 147 días, se cosecho el 19 de octubre del 2017. En la fotografía 9 se observa la cosecha.

FOTOGRAFÍA N° 9. Cosecha del Cultivo de Chia.



3.8. COMPONENTES EN ESTUDIO

Kc del cultivo de Chia

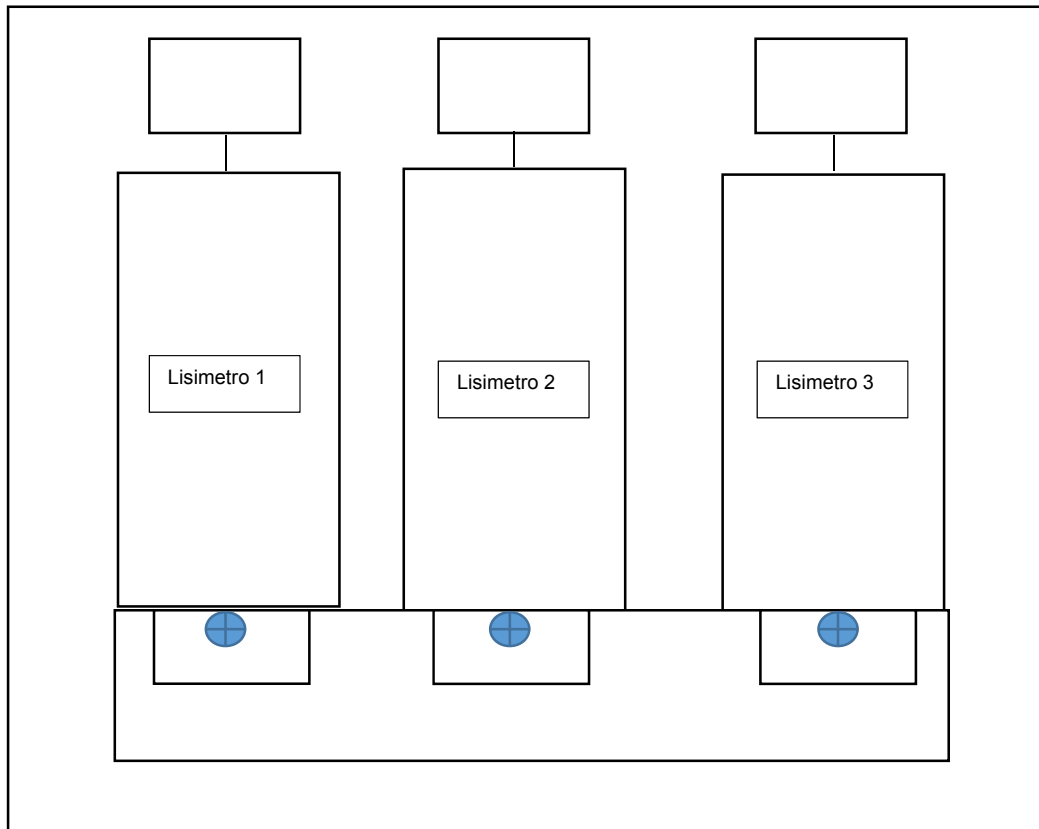
3.9. DISEÑO DE LISIMETROS.

Para el presente trabajo se utilizó tres lisímetros. Los lisímetros, consisten en unas cajas de fibra de vidrio de 1.5 m. de ancho, por 3 m. de largo; y 0.60 m. de alto en uno de los lados y 1 m. de alto en otro de los lados, para garantizar un buen drenaje de agua, los mismos que se abastecen de agua con un sistema consistente en una cubeta con una red de distribución. El lisímetro en la parte baja, contiene un depósito graduado para acumular el agua evacuada o drenada.

Dichos lisímetros, contienen en la parte inferior, un dren que consiste en grava de 1" de diámetro, separados del suelo agrícola por una malla de Metal de 5 mm de diámetro y espesor 2 mm, el suelo agrícola se llenó y

tamizo con tamiz de 2 cm de diámetro extraído del mismo lugar donde se excavo el lisímetro, dándosele inicialmente una densidad aparente del suelo de 1.65 Kg/m³, para lo cual se utilizó por lisímetro 4.455 Kg de suelo agrícola, para llenar un volumen de 2.7 m³

3.10. CROQUIS EXPERIMENTAL



3.11. EVALUACIONES REALIZADAS

3.11.1. Características del suelo

El muestreo de suelos para el respectivo análisis de suelos se realizó antes de la instalación de cultivos procediéndose de la siguiente manera: Se recogieron en un balde 8 sub muestras de toda el área de cultivo de 15 a 20 cm. de profundidad, para después mezclarlas homogéneamente de la que se tomó 1 kg. Esta fue la muestra compuesta enviada para el

análisis al laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y fertilizantes BHIOS. Los resultados se observan en el Anexo 3

3.11.2. Capacidad de campo del suelo

Se determinó la capacidad de campo del suelo aplicando el método gravimétrico, se procedió de la siguiente manera: Se inundó 1 m² de área de terreno, y cubrió con un plástico para evitar pérdida por evaporación, a las 24 horas se tomaron muestras a una profundidad de 25 cm. Luego se volvió a cubrir para después proceder de la misma forma a las 48, 72 y 96 horas, teniendo un total de 4 muestras, las mismas que fueron pesadas en húmedo (Psh) y puestas en una estufa durante 24 horas, se obtuvo también el peso de suelo seco (Pss); luego, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(Psh - Pss)}{Pss} \times 100$$

Finalmente, determinados los porcentajes de humedad para las cuatro muestras, las graficamos (días de muestreo vs %humedad), y cuando la curva graficada se hace constante ese será nuestro contenido de humedad a capacidad de campo (cc).

3.11.3. Punto de marchitez

El punto de marchitez permanente, fue calculado mediante la fórmula de Briggs, que está basada en los porcentajes de arcilla (Ac), limo (L) y arena (Ar), contenidos en el suelo:

$$Pm = 0.302 \times Ac + 0.102 \times L + 0.0147 \times Ar$$

3.11.4. Calibración de depósitos de ingreso de agua y de recepción del agua de drenaje.

Cada lisímetro cuenta con un depósito que aplicará agua para el riego y un depósito de recepción de agua de drenaje, cuyas características son las siguientes:

El depósito de aplicación de agua de riego es de forma cúbica, de 0.6 metros de alto, 0.5 metros de ancho y 0.5 metros de largo, sostenido en 4 patas de 1.3 metros de alto cada una, las que están cimentadas en una profundidad de 0.3 metros; es fabricado en fibra de vidrio de 5 mm de espesor (tres lados y base), y un lado de vidrio de 4 mm de espesor; en cuyo lado presenta adherida una regla metálica de 0.6 metros de alto, graduada en mm.

El depósito de recepción de agua de drenaje es de forma cúbica, de 0.4 metros de alto, 0.5 metros de ancho y 0.5 metros de largo, sostenido en 4 patas de 0.2 metros de alto cada una; es fabricado en fibra de vidrio de espeso 5 mm (tres lados y base), y un lado de vidrio de 4 mm de espesor; en cuyo lado presenta adherida una regla metálica de 0.4 metros de alto, graduada en mm.

El volumen de agua en litros de cada depósito fue calibrado con una probeta de un litro, en función a la altura de agua en cm. de la regla graduada del depósito, a fin de conocer la relación de altura de agua vs volumen, para el registro de los volúmenes de agua aplicados por cada riego.

3.11.5. Calibración de lisímetros.

Dicha prueba consistió en aplicar un volumen de agua uniforme al suelo del lisímetro, que supere 4 veces la evaporación registrada el día anterior en el tanque Clase A (evaporación = 5 mm x 4 veces = 20 mm; como el lisímetro tiene un área de 4.5 m², se aplicó una lámina de agua de 9.0 mm, equivalentes a un volumen de 90 litros de agua por lisímetro), a fin de que el suelo entre en capacidad de campo. Al mismo tiempo corroboramos dicha calibración con los datos de evaporación del Tanque clase A.

Volumen Aplicado = Volumen drenado + Evaporación

La prueba antes descrita es realizada para que el suelo del lisímetro se encuentre a capacidad de campo antes de la siembra del cultivo a

investigar; y después de las aplicaciones del riego, el flujo de agua sea constante y garantice un drenaje permanente desde el inicio de la toma de datos.

3.11.6. Instalación y desarrollo del cultivo a investigar

Una vez calibrados los lisímetros (A1, A2 y A3), se instalaron las semillas de Chia, para ello La preparación del terreno se realizó una semana antes de la siembra, tratándose de un suelo de textura franco arenosa, se incorporó estiércol descompuesto y se niveló antes de instalar las cintas de goteo.

La fecha de siembra fue el 25 de Mayo del 2017, se instaló el cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*), en forma manual, se utilizó 1 semillas por golpe con una densidad de 133,333.333 plantas/Ha. La instalación se realizó, con un espaciamiento de 0.20 m. entre plantas y 0.75 m. entre líneas, a doble hilera, contando con 48 plantas dentro de cada lisímetro.

El riego y la fertilización se aplicó a través del sistema de riego en forma diaria, por lo que se utilizó un programa de fertilización el mismo que tuvo una duración de 22 semanas, la aplicación de fertilizantes se realizó semanalmente, considerando la compatibilidad entre ellos.

3.11.7. Aplicaciones de agua y toma de datos

En forma diaria a horas 9.00 am se midió el volumen de agua drenado de cada lisímetro y se anotó en un registro de datos; inmediatamente se evacuó dicha agua, para poner el recipiente en cero y pueda acumular el volumen de la nueva lectura.

El cálculo de volúmenes de agua a aplicar, se hizo en función a los coeficientes de cultivo establecidos por el Manual N° 56 de la FAO que fueron los siguientes: **0.5** en la etapa inicial, **0.68**, para la II etapa, 0.81, para la III etapa **0.97**, para la IV etapa **1.20** y para la etapa final, **0.83**.

Dichos coeficientes (kc) fueron incrementados en un 60%, para asegurar el agua de drenaje y así poder hacer más manejable nuestro balance hídrico, asimismo, los valores de ETo utilizados fueron tomados en promedio de datos históricos de la Irrigación Majes (5.0 mm/día). Se aplicó la siguiente fórmula para determinar el volumen de agua a aplicar.

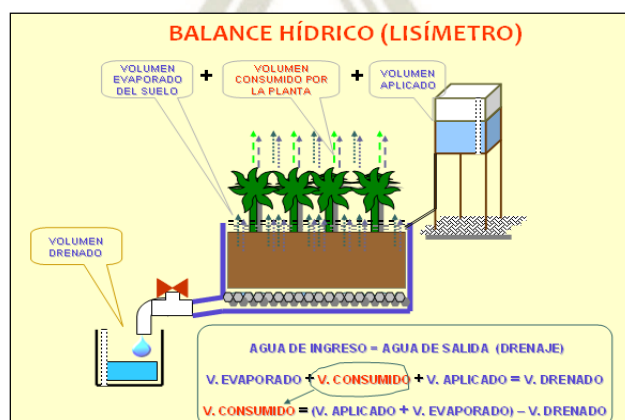
$$ETc = ETo \text{ (mm)} \times (kc + kc \text{ FAO}(60\%))$$

Por otro lado, en forma semanal se han registrado datos de altura media de planta, número de hojas, además de registrar observaciones de cambios en la planta como inicios y fin de floración, maduración de frutos y otros, información que sirvió para identificar los estadios o etapas del periodo vegetativo de la planta.

3.11.8. Evapotranspiración Potencial o de Referencia por el método directo (lisimetría) – ETo-

De los lisímetros instalados, se obtuvieron datos diarios de volúmenes de agua aplicados y drenados, cuya diferencia dividida por el área del lisímetro, expresará la evapotranspiración potencial ETo del día. En la figura que se muestra a continuación esta esquematizado el balance hídrico aplicado para la determinación de la ETo por el método de lisímetros de drenaje.

Figura N° 8: Balance Hídrico



Fuente: Elaboración propia.

3.11.9. De la Evapotranspiración Potencial por el Método del Tanque de Evaporación Clase “A”

Consideramos éste método a modo de referencia, por ser el mayormente utilizado por su fácil manejo y economía; se registraron las lecturas de evaporación de tanque en forma diaria a las 9.00 horas haciendo una diferencia y multiplicándolo por el respectivo coeficiente de tanque (Kt). Nuestro tanque está ubicado en suelo desnudo situado a 1 m. del área de cultivo, durante esta campaña se registró una velocidad del viento promedio de 1.89 m/s, una humedad relativa promedio de 53.83%, por lo que consideramos un Kt de 0.80.

3.11.10. Evapotranspiración Potencial por el Método Recomendado por la FAO - Penman Monteith.

También consideramos a modo de referencia este método de determinación indirecta de la ETo, para ello se trabajó con una Estación Agroclimática Automática, la misma que está ubicada en el mismo área experimental de los lisímetros y registra todas las variables climatológicas necesarias para la aplicación de la ecuación de Penman Monteith, ésta estación agroclimática, calcula la ETo a través del método recomendado por la FAO, en tiempo real captando 2 datos por segundo, siendo de manejo flexible por lo que nos permitió programarla para recepcionar datos cada 30 min. Los mismos que se procesaban todos los días por la mañana.

3.11.11. De la Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

Para determinar la evapotranspiración del cultivo, se tomaron como base los volúmenes de agua aplicados y drenados a diario y su diferencia, la que se dividió entre el área del lisímetro (4.5 m²); dicho registro de datos se fue procesando a diario.

3.11.12. De las Evaluaciones de Desarrollo del cultivo

Se evaluaron 3 plantas del lisímetro, utilizando una wincha y un vernier, se midieron la altura de plantas, y se contaron las hojas del cultivo (unidades).

3.11.13. Determinación de Etapas fenológicas del Cultivo

Para establecer las etapas fenológicas del cultivo, se trabajó en base a las evaluaciones semanales de desarrollo fisiológico del cultivo y a la variación de la evapotranspiración diaria del cultivo lo cual se refleja muy claramente en los gráficos, Se considerará que se encuentra en la etapa fenológica cuando el 50% de las plantas presenten las características para cada fase.

Etapas fenológicas del cultivo de Chía		Características
I	Emergencia de plántulas	Plántula sale del suelo
II	Inicio de ramificaciones	Ocho hojas verdaderas
III	Floración	50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas
IV	Madurez fisiológica	Cuando el grano formado es presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración
V	Madurez de cosecha	Amarilla miento de la planta

3.11.14. Determinación de los Coeficientes de Cultivo (Kc) para la Chía (*Salvia hispánica L.*)

Después de la definición de las longitudes de las etapas de desarrollo, se procedió a determinar los coeficientes de cultivos correspondientes, para finalmente elaborar la curva del coeficiente del cultivo.

Para el cálculo de los coeficientes de cultivo (kc), se aplicó la metodología propuesta por la FAO en La Publicación N° 56, definiendo el kc como el cociente entre ETc y ETo. Para ello nos sirvieron los datos diarios de evapotranspiración real o del cultivo (ETc) y la evapotranspiración

potencial o de referencia (ETo), éste último calculado por los tres métodos antes descritos. Asimismo, al igual que en el caso de la ETc y la ETo, tendremos datos de kc diarios, desde la siembra hasta la cosecha.

Los valores de kc obtenidos se promediaron por semanas y luego se graficó la curva de coeficientes de cultivo obtenida por los tres métodos antes descritos, para luego aplicar una regresión de tipo polinomial para definir la tendencia de los datos.

3.12. PROCESAMIENTO DE DATOS

El análisis de los datos se llevó a cabo a través de las fórmulas mencionadas en las evaluaciones realizadas.



CAPITULO IV RESULTADOS

4.1. Características del suelo

A partir de la muestra compuesta que se envió al laboratorio los resultados de caracterización de suelos son los siguientes: fue la muestra compuesta enviada para el análisis al laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y fertilizantes BHIOS. La copia de los resultados de laboratorio se aprecia a continuación:

Cuadro N° 1: Análisis Físico-Químico de Suelos “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

Determinación	Resultados	Unidades
Ph	7.80	Unidades de pH
Conductividad eléctrica	6.43	mmhos/cm
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	0.18	%
Materia Orgánica (MO)	0.00	%
Nitrógeno (N)	0.00	%
Fosforo (P)	2.27	ppm
Oxido de potasio (K ₂ O)	326.41	ppm
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	5.26	meq/100g
Calcio (Ca)	3.59	meq/100g
Magnesio (Mg)	0.55	meq/100g
Potasio (K)	0.60	meq/100g
Sodio (Na)	0.52	meq/100g
Arena	89.58	%
Limo	5.94	%
Arcilla	4.48	%
Clase textural	Arena franca	

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y fertilizantes BHIOS

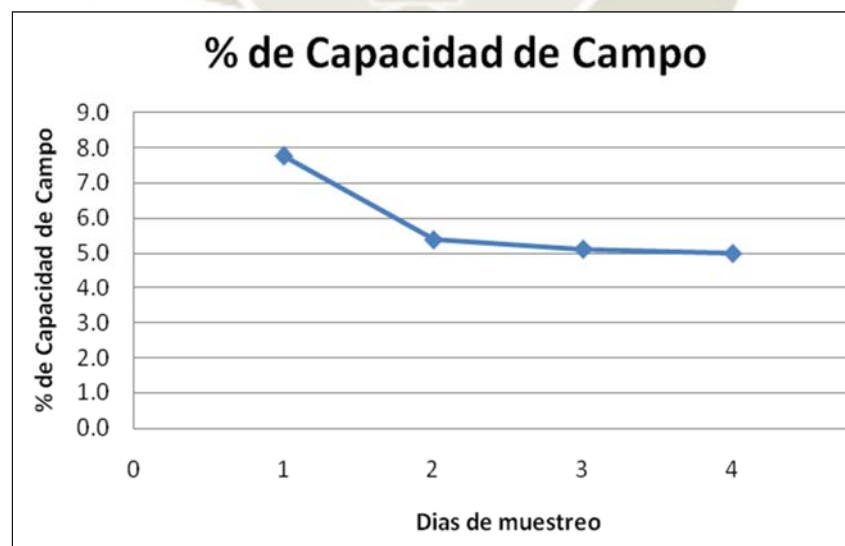
4.1.1. Capacidad de campo del suelo

Cuadro N° 2: Resultados del Muestreo de Suelos Método Gravimétrico “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

Día	Muestra	PSh (g)	PSs (g)	% Humedad	Promedio
1	A	200	185.4	7.875	7.778
	B	200	185.8	7.643	
	C	200	185.5	7.817	
2	A	185.3	173.6	6.740	5.390
	B	205	195.8	4.699	
	C	205.8	196.5	4.733	
3	A	203.8	194.5	4.78	5.122
	B	204.8	194.35	5.38	
	C	202	192	5.21	
4	A	210	200	5.00	5.000
	B	210	200	5.00	
	C	210	200	5.00	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 2: Porcentaje de Humedad del Suelo-Método Gravimétrico



Del gráfico 04; se desprende que la capacidad de campo del suelo de los lisímetros fue de 5%. La capacidad de campo del suelo también fue calculada mediante la fórmula de Peele, que expresa:

$$Cc = 0.48xAc+0.162xL+0.023xAr+2.62$$

Donde:

Cc = Capacidad de campo %

Ac = % Arcilla

L = % Limo

Ar = % Arena

Aplicando la fórmula de Peele, se tiene que la capacidad de campo es de:

$$Cc = 0.48 (4.48)+0.162 (0.162) + 0.023 (89.58)+2.62$$

$$Cc = 7.93$$

Finalmente, determinados los porcentajes de humedad para las cuatro muestras, las graficamos (días de muestreo vs %humedad), y cuando la curva graficada se hace constante ese será nuestro contenido de humedad a capacidad de campo (cc).

4.1.1. Punto de marchitez

$$Pm = 0.302 x Ac + 0.102 x L + 0.0147 x Ar$$

$$Pm = 0.302 x Ac + 0.102 x L + 0.0147 x Ar$$

$$Pm = 0.302 (4.48) + 0.102 (5.94) + 0.0147 (89.58)$$

$$Pm = 3.36 \%$$

4.2. Calibración de depósitos de ingreso de agua y de recepción del agua de drenaje

Como resultado de la calibración de altura la altura de la regla en el depósito con volumen, se determinaron las denominadas curvas de calibración, para el depósito de ingreso resultó la ecuación:

$y = 2.4X + 0.6$ y para el depósito de drenaje la ecuación: $y = 2.5X$ donde:

X = Altura de regla en cm.

Y = Volumen de agua en litros.

4.3. Aplicaciones de agua y drenaje

Aplicando la ecuación siguiente, se determinó el volumen de agua a aplicar por etapa o fase fenológica.

$$ETc = ETo \text{ (mm)} \times (kc + kc(60\%))$$

Cuadro N° 3: Cálculo de los volúmenes a aplicar por etapas fenológicas. “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

	FASE	P.V	KC	Vmm	V total (mm) 4.5 M2	
A	fase 1	28	0.5	4	18	
B	fase 2	35	0.8	6.4	28.8	
C	fase 3	28	1.05	8.4	37.8	
D	fase 4	35	1.25	10	45	
E	fase 5	14	1.05	8.4	37.8	
	V (hs)	V (m3)	A (m2)	H (m)	H (cm)	Redondeo
A	18	0.018	0.25	0.072	7.2	8
B	28.8	0.0288	0.25	0.1152	11.52	12
C	37.8	0.0378	0.25	0.1512	15.12	16
D	45	0.045	0.25	0.18	18	18
E	37.8	0.0378	0.25	0.1512	15.12	16

Fuente: Elaboración propia

De los cuadro anteriores, se deduce que se apliquen los volúmenes de 18, 28.8, 37.8, 45 y 37.8 litros por etapa fenológica al lisímetro del cultivo, los cuales equivalen a 8, 12, 16, 18 y 16 cm de agua en el tanque de ingreso de acuerdo a la regla generada de la calibración de depósitos y por etapa respectivamente.

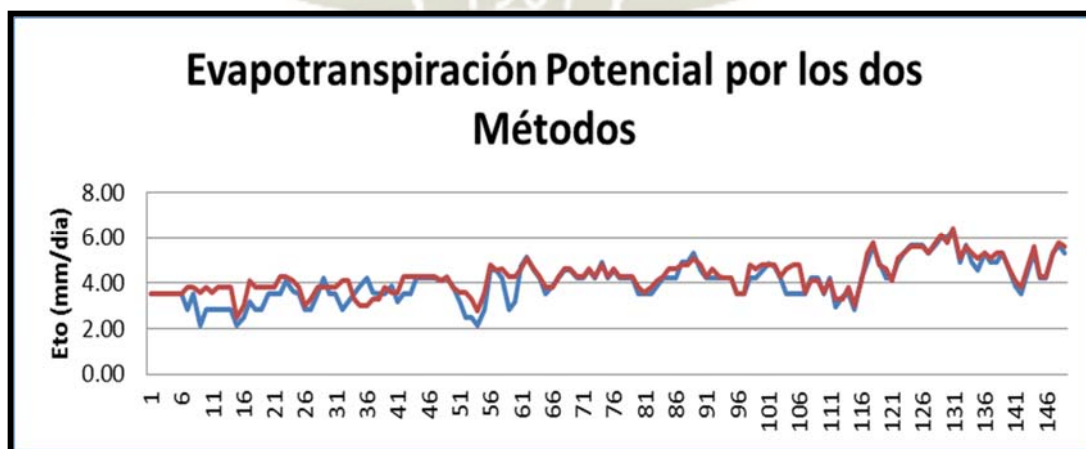
4.4. Evapotranspiración Potencial o de referencia

La evapotranspiración potencial fue calculada por dos métodos, cuyos resultados se analizan a continuación.

Cuadro N° 4: Resumen de Eto, por los dos Métodos “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

ETo	Tanque clase A	Estación Agroclimática
	Eto (mm/día)	Eto (mm/día)
Máxima	6.34	6.4
Mínima	2.12	2.5
Promedio	4.23	4.45

Gráfico N° 3: Evapotranspiración Potencial Determinado Por los dos Métodos



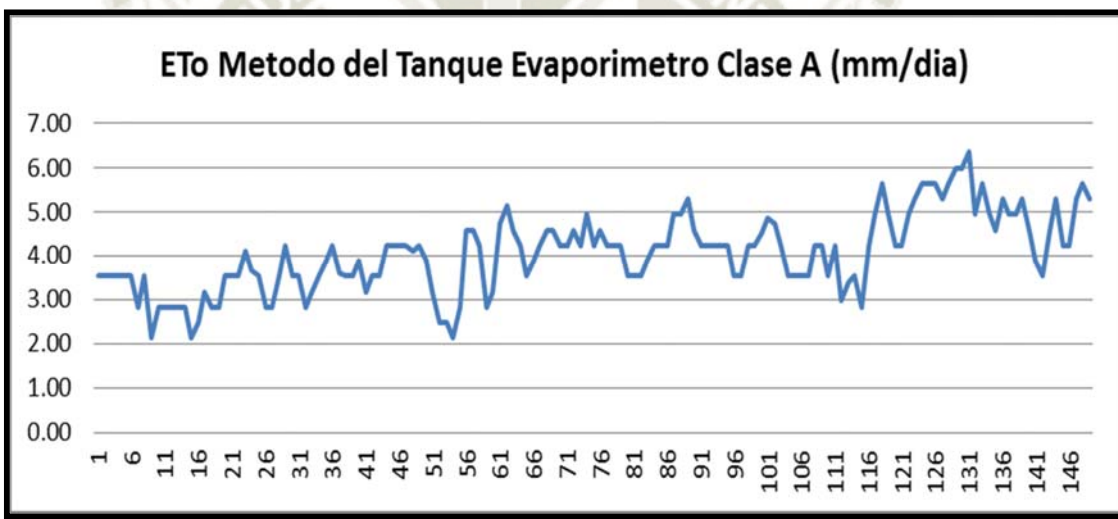
En el **gráfico 03**, se pueden apreciar que la Eto en cuanto para el tanque y para la estación tiene una diferencia no muy marcada, lo cual nos indica que podemos trabajar de la mano con ambas sin ningún problema.

4.4.1. Evapotranspiración Potencial por el Método del Tanque de Evaporación Clase “A”

Los registros de evaporación Eo y cálculo de la ETo, considerando un coeficiente de tanque Kt de 0.80; sin embargo se tiene:

$$ETo = \text{Evaporación del tanque} \times Kt$$

Gráfico N° 4: Evapotranspiración Potencial-Método del Tanque Clase A.

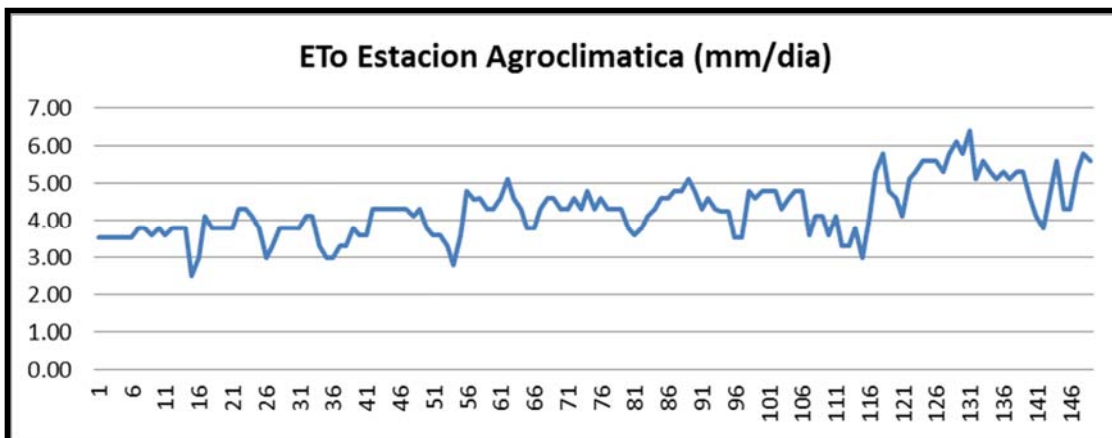


En el gráfico 04, se observa que la evapotranspiración máxima calculada fue de 6.34 mm el día 02 de octubre del 2017, mientras que la mínima fue de 2.12 mm, registrada el 08 de Junio del 2017.

4.4.2. De la Evapotranspiración Potencial por el Método Recomendado por la FAO - Penman Monteith.

La ETo que reporta la estación agroclimática automática, es procesada con el método de Penman Monteith, cuyos datos diarios de ETo, sin embargo se tiene:

Gráfico N° 5: Evapotranspiración Potencial-Método FAO Penman Monteith



En el gráfico 05, se observa que la evapotranspiración máxima calculada fue de 6.4 mm el día 02 de Octubre del 2017, mientras que la mínima fue de 2.50 mm, registrada el 08 de Junio del 2017.

4.5. Desarrollo Vegetativo del Cultivo.

Se pueden observar las evaluaciones semanales promediadas

	ALTURA DE PLANTA CHIA												P. GENERAL
	LISMETRO 1 (cm)				LISMETRO 2 (cm)				LISMETRO 3 (cm)				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMED	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMED	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMEDIO	
SEMANA 1	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0.00
SEMANA 2	1	1	1	1.00	1	1	1	1.00	1	1	1	1.00	1.00
SEMANA 3	2	3	4	3.00	3	1	3	2.33	2	3	2	2.33	2.56
SEMANA 4	2	5	8	5.00	4	3	7	4.67	2	6	4	4.00	4.56
SEMANA 5	3	7	11	7.00	6	4	11	7.00	4	7	6	5.67	6.56
SEMANA 6	4	9	14	9.00	8	5	15	9.33	5	9	8	7.33	8.56
SEMANA 7	8	15	21	14.67	35	20	37	30.67	10	14	18	14.00	19.78
SEMANA 8	12	25	35	24.00	45	35	44	41.33	14	22	27	21.00	28.78
SEMANA 9	20	27	55	34.00	60	45	50	51.67	20	30	40	30.00	38.56
SEMANA 10	30	30	60	40.00	70	60	60	63.33	38	40	50	42.67	48.67
SEMANA 11	40	40	70	50.00	90	80	80	83.33	50	50	60	53.33	62.22
SEMANA 12	60	60	90	70.00	110	100	100	103.33	70	70	80	73.33	82.22
SEMANA 13	80	80	110	90.00	125	120	120	121.67	90	90	110	96.67	102.78
SEMANA 14	100	100	100	100.00	130	125	125	126.67	110	110	125	115.00	113.89
SEMANA 15	110	110	130	116.67	130	125	125	126.67	110	110	125	115.00	119.44
SEMANA 16	110	110	130	116.67	135	130	130	131.67	110	110	125	115.00	121.11
SEMANA 17	115	115	135	121.67	135	130	130	131.67	115	115	130	120.00	124.44
SEMANA 18	115	115	135	121.67	135	130	130	131.67	115	115	130	120.00	124.44
SEMANA 19	110	115	135	120.00	130	125	125	126.67	110	110	125	115.00	120.56
SEMANA 20	110	115	135	120.00	130	125	125	126.67	110	110	125	115.00	120.56

Cuadro N° 5: Altura de planta. “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

	NUMERO DE HOJAS EN CHIA												P. GENERAL
	LISMETRO 1				LISMETRO 2				LISMETRO 3				
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMEDIO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMEDIO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	PROMEDIO	
SEMANA 1	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0
SEMANA 2	1	1	1	1.00	1	1	1	1.00	1	1	1	1.00	1
SEMANA 3	4	4	5	4.33	2	2	5	3.00	2	3	3	2.67	3
SEMANA 4	6	8	8	7.33	3	4	7	4.67	4	5	5	4.67	6
SEMANA 5	8	11	12	10.33	4	5	13	7.33	5	6	7	6.00	8
SEMANA 6	9	14	16	13.00	7	6	15	9.33	6	7	9	7.33	10
SEMANA 7	12	16	20	16.00	9	8	20	12.33	8	9	11	9.33	13
SEMANA 8	15	20	25	20.00	15	14	27	18.67	14	15	17	15.33	18
SEMANA 9	25	30	30	28.33	25	25	30	26.67	25	25	30	26.67	27
SEMANA 10	30	40	40	36.67	30	30	40	33.33	30	30	35	31.67	34
SEMANA 11	50	50	50	50.00	50	50	50	50.00	50	50	50	50.00	50
SEMANA 12	60	55	60	58.33	60	60	60	60.00	55	55	60	56.67	58
SEMANA 13	70	65	70	68.33	70	70	70	70.00	65	65	70	66.67	68
SEMANA 14	70	65	70	68.33	70	70	70	70.00	65	65	70	66.67	68
SEMANA 15	70	65	70	68.33	70	70	70	70.00	65	65	70	66.67	68
SEMANA 16	70	65	70	68.33	70	70	70	70.00	65	65	70	66.67	68
SEMANA 17	65	65	70	66.67	65	65	65	65.00	65	60	70	65.00	66
SEMANA 18	65	65	65	65.00	65	65	65	65.00	60	60	70	63.33	64
SEMANA 19	65	60	65	63.33	65	65	65	65.00	60	60	65	61.67	63
SEMANA 20	65	60	65	63.33	60	60	60	60.00	60	60	65	61.67	62

Cuadro N° 6: Número de Hojas. “Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) para el Cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*) por el Método de Lisímetros de drenaje libre en la Irrigación Majes”

4.5.1. Altura de planta y número de hojas.

Gráfico N° 6: Evolución de la altura de planta por semanas.

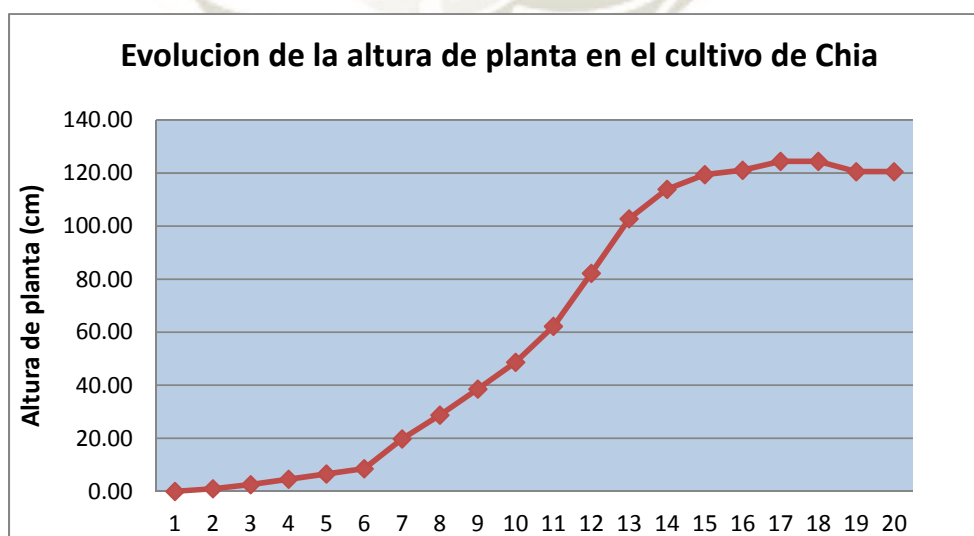
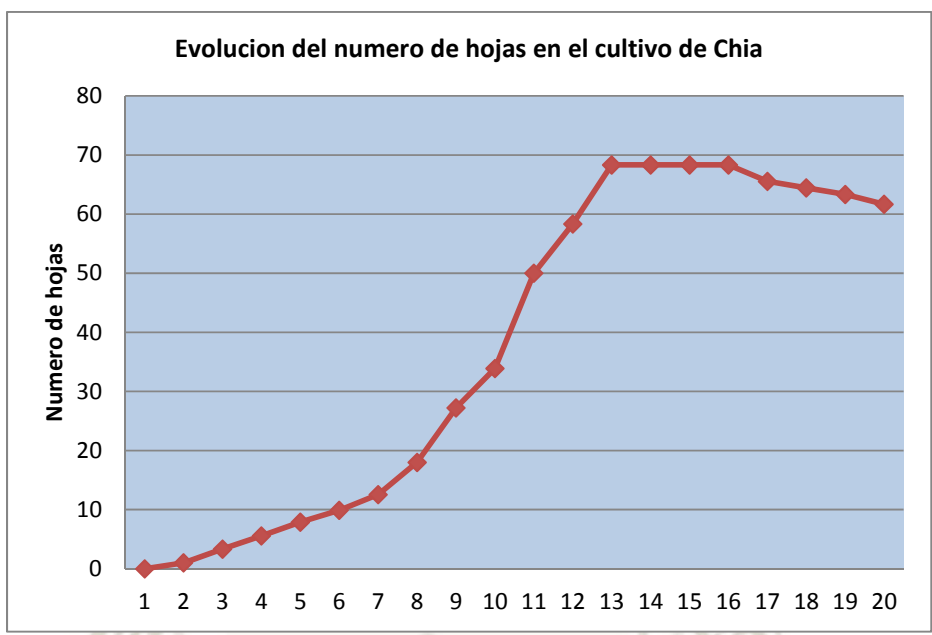


Gráfico N° 7: Evolución del número de hojas por semana.



4.5.2. Coeficiente de cultivo Kc

Obtenidos los datos diarios de evapotranspiración del cultivo de Chia ETC, se dividieron entre la ETo diaria calculada con los dos métodos señalados (Tanque clase A, y Penman Monteih), teniéndose coeficientes de cultivo (kc) diarios en cada lisímetro, que se observan a continuación. Datos diarios del Coeficiente de Cultivo (kc) de Chia (*Salvia hispánica L.*).

DESCRIPCION				Lisimetro1	Lisimetro2	Lisimetro3	Promedio
MES	DIA	HORA DE RIEGO	ETP (mm)	kc	kc	kc	
MAYO	25	9.00 AM	3.53				0.00
	26	9.00 AM	3.53	0.63	0.65	0.79	0.69
	27	9.00 AM	3.53	0.63	0.65	0.79	0.69
	28	9.00 AM	3.53	0.47	0.65	0.79	0.64
	29	9.00 AM	3.53	0.47	0.66	0.95	0.69
	30	9.00 AM	3.53	0.44	0.61	0.94	0.66
	31	9.00 AM	3.80	0.44	0.61	0.94	0.66
JUNIO	1	9.00 AM	3.80	0.47	0.58	0.88	0.64
	2	9.00 AM	3.60	0.54	0.48	0.77	0.60
	3	9.00 AM	3.80	0.54	0.48	0.76	0.59
	4	9.00 AM	3.60	0.52	0.49	0.77	0.60

DESCRIPCION				Lisimetro1	Lisimetro2	Lisimetro3	Promedio	
MES	DIA	HORA DE RIEGO	ETP (mm)	kc	kc	kc		
	5	9.00 AM	3.80	0.56	0.51	0.73	0.60	
	6	9.00 AM	3.80	0.72	0.76	0.92	0.80	
	7	9.00 AM	3.80	0.66	0.73	0.88	0.76	
	8	9.00 AM	2.50	0.74	0.76	1.06	0.85	
	9	9.00 AM	3.00	0.74	0.74	0.78	0.75	
	10	9.00 AM	4.10	0.68	0.65	0.68	0.67	
	11	9.00 AM	3.80	0.70	0.69	0.64	0.68	
	12	9.00 AM	3.80	0.73	0.73	0.73	0.73	
	13	9.00 AM	3.80	0.66	0.70	0.70	0.69	
	14	9.00 AM	3.80	0.66	0.69	0.72	0.69	
	15	9.00 AM	4.30	0.65	0.65	0.65	0.65	
	16	9.00 AM	4.30	0.65	0.66	0.67	0.66	
	17	9.00 AM	4.10	0.69	0.69	0.69	0.69	
	18	9.00 AM	3.80	0.61	0.66	0.64	0.64	
	19	9.00 AM	3.00	0.63	0.69	0.65	0.65	
	20	9.00 AM	3.30	0.57	0.61	0.62	0.60	
	21	9.00 AM	3.80	0.56	0.59	0.62	0.59	
	22	9.00 AM	3.80	0.59	0.59	0.62	0.60	
	23	9.00 AM	3.80	0.58	0.58	0.57	0.58	
	24	9.00 AM	3.80	0.60	0.67	0.66	0.64	
	25	9.00 AM	4.10	0.54	0.66	0.68	0.63	
	26	9.00 AM	4.10	0.69	0.68	0.68	0.68	
	27	9.00 AM	3.30	0.67	0.67	0.66	0.67	
	28	9.00 AM	3.00	0.93	0.93	0.83	0.90	
	29	9.00 AM	3.00	0.93	0.93	0.74	0.86	
	30	9.00 AM	3.30	1.01	0.84	0.67	0.84	
	JULIO	1	9.00 AM	3.30	0.67	1.01	0.84	0.84
		2	9.00 AM	3.80	0.58	0.58	0.73	0.63
		3	9.00 AM	3.60	0.63	0.63	0.76	0.67
		4	9.00 AM	3.60	0.77	0.77	0.77	0.77
5		9.00 AM	4.30	0.65	0.65	0.75	0.68	
6		9.00 AM	4.30	0.78	0.71	0.76	0.75	
7		9.00 AM	4.30	0.65	0.74	0.78	0.72	
8		9.00 AM	4.30	0.63	0.78	0.72	0.71	
9		9.00 AM	4.30	0.66	0.78	0.72	0.72	
10		9.00 AM	4.30	0.66	0.78	0.72	0.72	
11		9.00 AM	4.10	0.81	0.95	0.68	0.81	
12		9.00 AM	4.30	0.92	0.90	0.97	0.93	
13		9.00 AM	3.80	0.67	0.69	0.69	0.68	

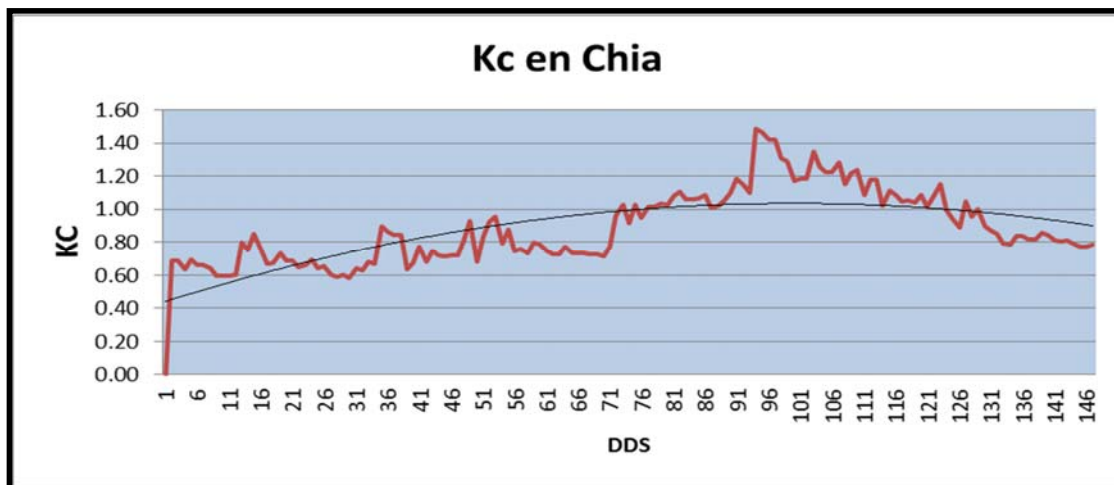
DESCRIPCION				Lisimetro1	Lisimetro2	Lisimetro3	Promedio	
MES	DIA	HORA DE RIEGO	ETP (mm)	kc	kc	kc		
	14	9.00 AM	3.60	0.76	0.91	0.83	0.83	
	15	9.00 AM	3.60	1.08	0.93	0.77	0.93	
	16	9.00 AM	3.30	1.01	1.01	0.84	0.95	
	17	9.00 AM	2.80	0.79	0.79	0.79	0.79	
	18	9.00 AM	3.60	0.93	0.93	0.77	0.87	
	19	9.00 AM	4.80	0.69	0.79	0.76	0.75	
	20	9.00 AM	4.58	0.66	0.78	0.84	0.76	
	21	9.00 AM	4.60	0.72	0.75	0.72	0.73	
	22	9.00 AM	4.30	0.79	0.79	0.81	0.80	
	23	9.00 AM	4.30	0.78	0.78	0.80	0.78	
	24	9.00 AM	4.60	0.72	0.72	0.79	0.74	
	25	9.00 AM	5.10	0.65	0.76	0.76	0.73	
	26	9.00 AM	4.60	0.60	0.72	0.85	0.72	
	27	9.00 AM	4.30	0.78	0.78	0.78	0.78	
	28	9.00 AM	3.80	0.73	0.73	0.73	0.73	
	29	9.00 AM	3.80	0.73	0.73	0.73	0.73	
	30	9.00 AM	4.30	0.65	0.78	0.78	0.73	
	31	9.00 AM	4.60	0.72	0.72	0.72	0.72	
	AGOSTO	1	9.00 AM	4.60	0.72	0.72	0.72	0.72
		2	9.00 AM	4.30	0.71	0.71	0.71	0.71
		3	9.00 AM	4.30	0.78	0.78	0.78	0.78
		4	9.00 AM	4.60	0.95	0.97	0.97	0.96
		5	9.00 AM	4.30	1.03	1.03	1.01	1.02
		6	9.00 AM	4.80	0.91	0.90	0.93	0.91
		7	9.00 AM	4.30	1.03	1.02	1.03	1.03
		8	9.00 AM	4.60	0.94	0.95	0.95	0.95
		9	9.00 AM	4.30	1.03	1.01	0.99	1.01
		10	9.00 AM	4.30	1.05	0.98	1.01	1.01
		11	9.00 AM	4.30	1.03	1.03	1.03	1.03
		12	9.00 AM	3.80	1.04	1.02	1.02	1.03
		13	9.00 AM	3.60	1.08	1.08	1.08	1.08
14		9.00 AM	3.80	1.17	1.07	1.08	1.11	
15		9.00 AM	4.10	1.08	1.02	1.08	1.06	
16		9.00 AM	4.30	1.06	1.07	1.06	1.06	
17		9.00 AM	4.60	1.03	1.09	1.09	1.07	
18		9.00 AM	4.60	1.09	1.09	1.09	1.09	
19		9.00 AM	4.80	1.01	1.01	1.01	1.01	
20		9.00 AM	4.80	1.02	1.02	1.02	1.02	
21		9.00 AM	5.10	1.03	1.03	1.09	1.05	

DESCRIPCION				Lisimetro1	Lisimetro2	Lisimetro3	Promedio
MES	DIA	HORA DE RIEGO	ETP (mm)	kc	kc	kc	
	22	9.00 AM	4.80	1.04	1.04	1.22	1.10
	23	9.00 AM	4.30	1.10	1.16	1.29	1.18
	24	9.00 AM	4.60	1.09	1.15	1.21	1.15
	25	9.00 AM	4.30	1.03	1.10	1.16	1.10
	26	9.00 AM	0.00	1.37	1.51	1.58	1.48
	27	9.00 AM	0.00	1.44	1.38	1.58	1.47
	28	9.00 AM	0.00	1.42	1.42	1.42	1.42
	29	9.00 AM	0.00	1.42	1.42	1.42	1.42
	30	9.00 AM	4.80	1.27	1.27	1.39	1.31
	31	9.00 AM	4.60	1.21	1.33	1.33	1.29
	SEPTIEMBRE	1	9.00 AM	4.80	1.16	1.20	1.16
2		9.00 AM	4.80	1.19	1.18	1.19	1.19
3		9.00 AM	4.80	1.18	1.19	1.18	1.18
4		9.00 AM	4.30	1.36	1.33	1.36	1.35
5		9.00 AM	4.60	1.26	1.26	1.26	1.26
6		9.00 AM	4.80	1.23	1.23	1.23	1.23
7		9.00 AM	4.80	1.23	1.22	1.23	1.22
8		9.00 AM	3.60	1.28	1.28	1.28	1.28
9		9.00 AM	4.10	1.15	1.15	1.15	1.15
10		9.00 AM	4.10	1.22	1.22	1.22	1.22
11		9.00 AM	3.60	1.23	1.23	1.23	1.23
12		9.00 AM	4.10	1.08	1.08	1.08	1.08
13		9.00 AM	3.30	1.18	1.18	1.18	1.18
14		9.00 AM	3.30	1.18	1.18	1.18	1.18
15		9.00 AM	3.80	1.02	1.02	1.02	1.02
16		9.00 AM	3.00	1.11	1.11	1.11	1.11
17		9.00 AM	4.10	1.08	1.08	1.08	1.08
18		9.00 AM	5.30	1.05	1.05	1.05	1.05
19		9.00 AM	5.80	1.05	1.05	1.05	1.05
20		9.00 AM	4.80	1.04	1.04	1.04	1.04
21	9.00 AM	4.60	1.09	1.09	1.09	1.09	
22	9.00 AM	4.10	1.02	1.02	1.02	1.02	
23	9.00 AM	5.10	1.09	1.09	1.09	1.09	
24	9.00 AM	5.30	1.15	1.15	1.15	1.15	
25	9.00 AM	5.60	0.99	0.99	0.99	0.99	
26	9.00 AM	5.60	0.94	0.94	0.94	0.94	
27	9.00 AM	5.60	0.89	0.89	0.89	0.89	
28	9.00 AM	5.30	1.05	1.05	1.05	1.05	
29	9.00 AM	5.80	0.96	0.96	0.96	0.96	

DESCRIPCION				Lisimetro1	Lisimetro2	Lisimetro3	Promedio
MES	DIA	HORA DE RIEGO	ETP (mm)	kc	kc	kc	
	30	9.00 AM	6.10	1.00	1.00	1.00	1.00
OCTUBRE	1	9.00 AM	5.80	0.96	0.86	0.86	0.89
	2	9.00 AM	6.40	0.87	0.87	0.87	0.87
	3	9.00 AM	5.10	0.87	0.93	0.76	0.85
	4	9.00 AM	5.60	0.79	0.79	0.79	0.79
	5	9.00 AM	5.30	0.79	0.68	0.89	0.79
	6	9.00 AM	5.10	0.87	0.87	0.76	0.84
	7	9.00 AM	5.30	0.84	0.84	0.84	0.84
	8	9.00 AM	5.10	0.82	0.82	0.82	0.82
	9	9.00 AM	5.30	0.84	0.84	0.79	0.82
	10	9.00 AM	5.30	0.89	0.84	0.84	0.86
	11	9.00 AM	4.60	0.85	0.85	0.85	0.85
	12	9.00 AM	4.10	0.81	0.81	0.81	0.81
	13	9.00 AM	3.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	14	9.00 AM	4.80	0.81	0.75	0.87	0.81
	15	9.00 AM	5.60	0.79	0.79	0.79	0.79
	16	9.00 AM	4.30	0.78	0.78	0.78	0.78
	17	9.00 AM	4.30	0.78	0.78	0.78	0.78
	18	9.00 AM	5.30	0.79	0.84	0.73	0.79

Los datos de Kc, fueron graficados para una mejor interpretación y ajustados a un modelo polinómico, resultando lo siguiente.

Gráfico N° 8: Kc en Chía.



El gráfico, presenta valores diarios de Kc, medidos en el lisímetro, los calculados con el método de la FAO,

En la gráfica 8 se puede observar que la curva empieza a crecer a los 6 dds donde alcanza el primer pico esto se debe que según el estado fenológico a los 6 dds. Se da la emergencia de la planta. La curva va en acenso hasta los 16 dds donde la planta ya presenta mayor número de hojas verdaderas. La curva se mantiene hasta los 36 dds. Donde se inicia la fase de ramificaciones donde la curva vuelve a subir y desciende a los 45 dds inicio de floración, la curva va en acenso hasta los 90 dds. Donde alcanza su madurez fisiológica, A partir de los 131 dds. La curva desciende cuando el cultivo llega a la madurez comercial.

4.5.3. Identificación de las fases fenológicas

En el cuadro 7 se puede observar las 5 etapas fenológicas del cultivo de chíá y a los días después de siembra que se fueron presentando.

Cuadro N° 7: Identificación de las fases fenológicas en “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CHÍA		dds	FECHA	Kc
FASE I	Emergencia de plántulas	6	25 mayo – 31 mayo	0.68
FASE II	Inicio de ramificaciones	36	30 de junio	0.85
FASE III	Floración	45	15 de julio	0.97
FASE IV	Madurez fisiológica	90	29 de agosto	1.20
FASE V	Madurez de cosecha	136	4 de octubre	0.83

Emergencia de la plántula: cuando la plántula sale del suelo y extiende las hojas cotiledonales, pudiendo observarse en el surco las plántulas esto ocurre a los 6 días de la siembra.

Inicio de ramificación: Se observa ocho hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas cotiledonales se caen y dejan cicatrices en el tallo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja, ocurre de los 36 días de la siembra.

Floración: La floración es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, lo que ocurre de los 45 días después de la siembra, así mismo la planta comienza a eliminar las hojas inferiores que son menos activas fotosintéticamente.

Madurez Fisiológica: Cuando el grano formado es presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración, Ocurre de los 90 días después de la siembra, el lapso comprendido de la floración a la madurez fisiológica viene a constituir el período de llenado del grano, así mismo en esta etapa ocurre un amarillamiento completo de la planta y una gran defoliación

Madurez de Cosecha: Cuando la plántula se encuentra completamente amarilla y lista para trillar esta etapa se da a los 136 días después de siembra

4.5.4. Cosecha

La cosecha del cultivo de Chia se llevó cabo el 19 de octubre del 2017, los resultados obtenidos del cultivo bajo las condiciones climáticas señaladas fueron:

Cuadro N° 8: Cosecha de Chía. “Determinación De Coeficientes De Cultivo (Kc) Para El Cultivo De Chia (*Salvia hispánica L.*) Por El Método De Lisímetros De Drenaje Libre En La Irrigación Majes”

COSECHA DE CHIA			
	Cosecha por kg/4.5m ²	Cosecha por Kg/ha	TOTAL PROMEDIO KG/Ha
LISIMETRO 1	1.6	3555.55	3925.25
LISIMETRO 2	1.8	4000.00	
LISIMETRO 3	1.9	4222.22	

De acuerdo con los datos del cuadro anterior, podemos deducir muy claramente que la producción de Chia fue muy buena y que nuestros coeficientes determinados son aceptables, porque garantizan una buena producción.

CAPITULO V DISCUSIÓN

5.1. Características Del suelo

Son suelos de textura franco arenoso, con pH 7.80, Conductividad eléctrica 6.43 mmhos/cm, Carbonato de calcio (CaCO_3) 0.18 % Materia Orgánica (MO) 0.00 % Nitrógeno (N) 0.00 % Fosforo (P) 2.27 ppm Oxido de potasio (K_2O) 326.41 ppm, Capacidad de intercambio catiónico (CIC) 5.26 meq/100g, Calcio (Ca) 3.59 meq/100g, Magnesio (Mg) 0.55 meq/100g, Potasio (K) 0.60 meq/100g, Sodio (Na) 0.52 meq/100g, Arena 89.58 %, Limo 5.94 % y Arcilla 4.48 %.

5.2. Capacidad de campo del suelo Y Punto de marchitez

La capacidad de campo (CC) o el porcentaje de humedad disponible del suelo (% de Hd) de los lisímetros en la investigación fueron de 5%.; mientras que el Punto de Marchitez permanente (PMP) calculado mediante la fórmula de Briggs, se encuentra en 3,36 %

El procedimiento utilizado en la determinación de la Capacidad de campo del suelo de la investigación es reforzado por Vásquez (2000); indicando que la Capacidad de campo (CC) es la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje y se alcanza según la textura del suelo entre 12 y 72 horas después de un riego pesado, es decir cuando la percolación ha cesado.

Por otro lado, respecto a la utilización del agua en el suelo Fuentes J. (2003), dice que desde el punto de vista de su utilización por las plantas el “agua disponible” es una de sus clasificaciones, en donde menciona que el agua puede ser absorbida por las raíces con suficiente rapidez para compensar las pérdidas por su transpiración siendo esto igual a la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PM). El contenido de agua y su disponibilidad para las plantas fue influenciado por la textura, estructura y otras características edáficas de la zona en estudio que condicionan el flujo de agua en el suelo. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes al suelo, pudo reducir la

necesidad de agua debido al mayor crecimiento del cultivo; por tanto, la relación transpiratoria pudo ser menor al nutrir el cultivo en la campaña.

5.3. Evapotranspiración Potencial o de referencia

El Promedio de la evapotranspiración para la estación es de 4.23 y para el tanque es de 4.45; se pueden apreciar que la E_{to} para el tanque y para la estación tiene una diferencia no muy marcada, lo cual nos indica que podemos trabajar de la mano con ambas sin ningún problema. La evapotranspiración real (E_{Tc}) llamada también uso consuntivo, está referida a la cantidad de vapor transferida a la atmósfera, que depende no solo de las condiciones meteorológicas existentes, sino del ciclo vegetativo del cultivo (capacidad para extraer humedad) y de las disponibilidades de agua reales por efecto de la periodicidad con que se aplica el agua. En otras palabras, el consumo en condiciones reales de explotación de un cultivo (Pérez, 2005)

5.4. Evapotranspiración Potencial por el Método del Tanque de Evaporación Clase "A"

Se observa que la evapotranspiración máxima calculada fue de 6.4 mm el día 02 de Octubre del 2017, mientras que la mínima fue de 2.50 mm, registrada el 08 de Junio del 2017. El resultado de la investigación referido a la Evapotranspiración referencial (E_{To}) mm/día durante el desarrollo del cultivo está basado en un registro de lecturas diaria de datos tomados por el método del tanque Clase "A" y muestra una línea de tendencia descendente; por tanto Goyal (1990), manifiesta que el tanque de evaporación Clase "A" integra los factores climáticos en un solo parámetro que es la evaporación (E_o) directa desde una superficie libre de agua, la cual se puede medir diariamente correlacionándola con la Evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{Tp}). Por tanto en el presente estudio de investigación estos mismos efectos se relacionan en el consumo de agua de un cultivo, por lo que este método fue de gran utilidad en la determinación del K_c .

5.5. Evapotranspiración Potencial por el Método Recomendado por la FAO - Penman Monteith.

Se observa que la evapotranspiración máxima calculada fue de 6.4 mm el día 02 de octubre del 2017, mientras que la mínima fue de 2.50 mm, registrada el 08 de Junio del 2017. Por lo anterior el estudio de la FAO, riego y drenaje, manual 54 (1977), indican que para poder correlacionar en buena forma la Evapotranspiración referencial (ET_o) con la Evapotranspiración del cultivo (ET_c), es necesario utilizar los coeficientes de cultivos que se tienen para cada uno de ellos según la fase de su periodo vegetativo. Estos coeficientes de cultivo corrigen las distorsiones que se producen durante el crecimiento de las plantas (a mayor desarrollo mayor es la transpiración, porque tiene mayor follaje) y se presenta para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre sus necesidades de agua.

5.6. Desarrollo Vegetativo del Cultivo.

- **Altura de Planta**

La altura de planta de chia a los 60 dds es 38.56 s y a los 120 días es de 62 cm estos resultados son menores a los resultados obtenidos en las investigaciones “EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE CHIA (*Salvia hispánica L.*) CON DOS DENSIDADES DE SIEMBRA Y DOS TIPOS DE FERTILIZANTE ORGÁNICO, EN LA COMUNIDAD DE MANZANAYOCC- ACOBAMBA” donde tuvieron altura promedio de 50 cm a los 60 dds. y de 72 a los 120 dds. esto se debe a que en dicha investigación probaron la influencia de abonos orgánicos en el cultivo

5.7. Coeficiente de cultivo K_c

En la gráfica 7 se estima el consumo de agua del cultivo se puede observar que la gráfica va en acenso hasta los 96 dds. que según las fases fenológica es cuando termina llenado de grano; luego la curva decae en la fase de madures comercial hasta la cosecha, su máximo consumo se presenta en la formación de panoja.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un numero adimensional que se obtiene

dividiendo ET_c por ET_o y que se puede utilizar para estimar el consumo diario en los campos de producción con el mismo cultivar y prácticas culturales y creciendo bajo las mismas condiciones ambientales (Yishai, 2010)

La determinación de las curvas se puede hacer con valores semanales, de diez días, o mensuales de K_c son necesarios cuando los cálculos de ET_c son realizados para intervalos de tiempo semanales, de diez días, o mensuales. Un procedimiento general consiste en construir la curva de K_c , superponer a ella las duraciones de las semanas, períodos de diez días o meses, y determinar gráficamente a partir de la curva de K_c el valor de K_c correspondiente al período considerado (FAO, 2006).

El Coeficiente de cultivo (K_c) se determina de acuerdo a las características del cultivo, el momento de siembra, el ritmo de crecimiento del cultivo y del período vegetativo y significa la preparación de una curva de coeficientes para cada cultivo. Así mismo menciona que el K_c es un factor que indica el grado de desarrollo de un cultivo y está desarrollado con la cobertura del suelo del mismo, que es la que va a influenciar en la evapotranspiración de determinada zona (Serruto 1987, citado por DIAZ 2011)

CAPITULO VI CONCLUSIONES

El trabajo de investigación para determinar los coeficientes de cultivo Kc del cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*), se llevó a cabo bajo las condiciones ambientales existentes en la Irrigación Majes, durante la temporada de Mayo a Octubre del 2017, aplicándose el método directo mediante la utilización de lisímetros de drenaje libre, tomando como referencia el tanque evaporímetro clase A, y la estación agroclimática (FAO Penman Monteith), respecto de los resultados, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El consumo hídrico del Cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*), se manifiesta en función a las condiciones climáticas y meteorológicas de la Irrigación Majes, y el método directo de lisimetría, aplicado en el presente trabajo de investigación, se encontró que:

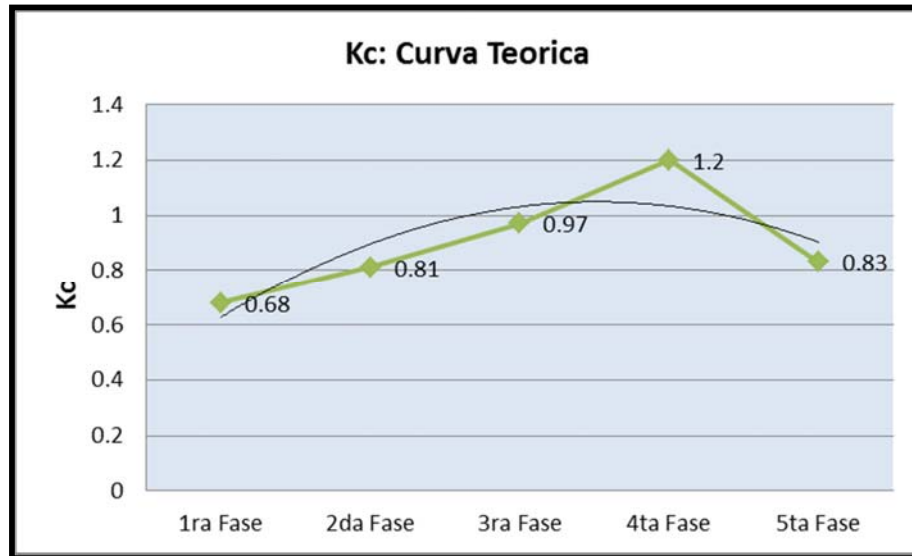
El cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*), bajo las condiciones de la Irrigación Majes, sembrado durante la temporada de Mayo a Octubre del 2017, desarrolló en un periodo vegetativo de 21 semanas, siendo los coeficientes de cultivo Kc determinados, los siguientes:

Cuadro N° 9: Etapas fenológicas y Kc “Determinación de Coeficientes de Cultivo (Kc) para el Cultivo de Chia (*Salvia hispánica L.*) por el Método de Lisímetros de Drenaje Libre en la Irrigación Majes”

Etapas fenológicas del cultivo de Chía		KC
I	Emergencia de plántulas	0.68
II	Inicio de ramificaciones	0.85
III	Floración	0.97
IV	Madurez fisiológica	1.20
V	Madurez de cosecha	0.83

Asimismo, se determinó la curva real de coeficientes de cultivo, que dio lugar a la curva teórica de coeficientes de cultivo para la Chía en la Irrigación Majes.

Gráfico N° 9: Curva Teórica de Coeficientes de Cultivo



CAPITULO VII RECOMENDACIONES

- 1) Después de haber determinado los coeficientes de cultivo para el cultivo Chia, en la temporada de campaña chica (mayo-octubre), de acuerdo a la climatología y meteorología de la zona, se propone la aplicación de los resultados obtenidos en la presente investigación en regiones edafoclimáticas similares a las analizadas en este proyecto.
- 2) Difundir los resultados de esta investigación a los agricultores de la Irrigación Majes.
- 3) Los valores de coeficientes propuestos deben ser perfeccionados sobre la base de futuros trabajos de investigación y la propia práctica productiva. Sin duda, esto hará más consistentes los coeficientes obtenidos en esta investigación.
- 4) Realizar trabajos similares con otros cultivos de importancia en la Irrigación Majes, básicamente los cultivos de agroexportación.

CAPITULO VIII BIBLIOGRAFÍA

AVIDÁN, A. 1994, "Determinación del Régimen de Riego de los Cultivos", CINADCO-Estado de Israel, 60 pág.

APARICIO, M. J. - 2004, "Fundamentos de Hidrología de Superficie" duodécima reimpresión; Editorial Limusa Balderas-México. 303 pág.

AUTODEMA - 2007, Boletín Técnico: "El cultivo de Chia", Gerencia de Desarrollo Rural. 21 pág.

BENITEZ, C. C. 1999; "Sistemas Hidráulicos de Riego", edit. UNSA – Arequipa Perú, 699 pág.

CACERES, L. 2017, "Determinación Del Coeficiente (Kc) Para El Cultivo De Páprika (*Capsicum annum L.*) var. "Papri Queen" Bajo Condiciones De La Irrigación Majes."

CASTELLVI, S. F. – 1996, "Agrometeorología Ministerio de Pesca y Alimentación", Mundi Prensa – España.

CHAVEZ, A. 2016, "Determinación Del Coeficiente De Cultivo (Kc) Y Crecimiento Vegetativo De Maralfalfa (*Pennisetum sp.*) Bajo Condiciones Climáticas De La Irrigación Majes Tesis"

COMISIÓN NACIONAL DEL RIEGO - 1998 "Necesidades de agua de los cultivos"; Universidad de concepción Facultad de Ing. agrícola – Chile.

DIAZ, G. 2011. Determinación del coeficientes de cultivo (kc) en las etapas fenológicas en el cultivo de arveja (*pisum sativum* l. ssp. var. *sativum*) en la Irrigación Majes. Tesis para optar el título de Ingeniero agrónomo. UCSM. Arequipa - 2011.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. – 1977, "Las Necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 24, Roma, Italia. 195 pág.

DUNNE, T. AND LEOPOLD, L.B. (1978) Water in Environmental Planning. Freeman, New York

FAO – 1990, “Evapotranspiración del Cultivo, Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”, Estudio FAO Riego y Drenaje; boletín 56; Roma – 299 pág.

FAO – 2006, “Evapotranspiración del Cultivo, Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”, Estudio FAO Riego y Drenaje; 15 pág

FUENTES, R. C. ET, AL – 1997, “Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – México, 168 pág.

FUENTES Y. J. – 2003; “Técnicas del Riego”, - editorial Mundi-Prensa – Madrid España (484 pág.)

GARCÍA, C. I., BRIONES S. G. – 1997, “Sistemas De Riego Por Aspersión Y Goteo”, editorial Trillas – México UAAAN, primera edición, 264 pág.

GOYAL, R. M. & GONZÁLEZ F. E. – 1990; “Manejo de Riego por Goteo”, Puerto Rico, Serv. De extensión agrícola del Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto de Mayagüez. 300 pág.

ISRAELSEN, H. – 1985, “Principios y Aplicaciones del Riego”; Editorial Reverté S.A., Barcelona – España; “2ª edición; traducido por el Agrónomo García Palacios A. / 397 pág.

INSTITUTO DE METEOROLOGÍA -1986 “Instrucciones para realizar observaciones agrometeorológicas en estaciones y puestos” ; editorial Academia-La Habana Cuba.

MONSALVE S. G. – 1999, “Hidrología en la Ingeniería” Segunda edición. Editorial Alfa y Omega.

PADILLA, L. 2016, “Coeficiente De Cultivo Para El Césped Americano (*Stenotaphrum secundatum*) Utilizando Lisímetros De Drenaje, Durante La Estación De Otoño - UNALM”

PÉREZ F.A. (2005). Manual de Riego Por Goteo, AUTODEMA. Arequipa Perú.

PIZARRO, C. – 1996, “Riego localizado de alta frecuencia”; Editorial Mundi prensa 3º edición – España

REYES, C. L. – 1992, “Hidrología Básica”, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología “; CONCYTEC, Lima – Perú.

SÁNCHEZ C. R. – 1994, “Requerimiento climático del cultivo de papa en condiciones climáticas de la Molina, Lima Perú

VÁSQUEZ, V. A. – 1992, “El Riego”. Universidad Agraria la Molina, impreso en Lima – Perú, 150 pág.

VÁSQUEZ V.A. (2000). El Riego. Universidad Agraria la Molina, Lima – Perú.

WHITERS, B. & VIPOND, S. – 1978, “El Riego: Diseño Y Práctica”, editorial Diana – México, primera edición, 350 pág.

YISHAI, N. 2010. A model for irrigation of vineyards under limited water availability. Thesis submitted for the degree Doctor of philosophy. Hebrew University of Jerusalem. Israel

ANEXOS

Anexo N° 1 Registros meteorológicos de la Estación AUTODEMA. (2017)

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRA MAYO 2017					
DÍA	T.Max	T. Min	Humedad	Pp	V. Viento
1	26.8	13.2	53.63	0.00	1.78
2	24.6	12.8	49.13	0.00	2.03
3	21.5	9.3	63.79	0.00	1.53
4	23	8.5	59.75	0.00	1.46
5	25.9	13	62.58	0.00	1.92
6	21.8	11.6	78.25	0.00	1.27
7	23.3	11.8	81.96	0.00	1.74
8	24.2	12.6	71.50	0.00	1.83
9	24.2	11.6	73.00	0.00	1.21
10	23.9	12.1	82.38	0.00	1.17
11	22.3	11.8	83.88	0.00	1.31
12	24.4	11.9	77.38	0.00	1.90
13	25.8	11.7	66.38	0.00	1.63
14	25.4	10.1	68.79	0.00	1.55
15	21.1	9.6	72.58	0.00	1.44
16	24.1	11.4	68.75	0.00	1.31
17	20.6	9.8	73.88	0.00	1.08
18	20.9	9.2	81.96	0.00	0.89
19	18.4	7.7	82.21	0.00	0.86
20	20.9	8.9	66.50	0.00	1.97
21	22.7	12.9	59.42	0.00	1.75
22	23.7	10.7	49.96	0.00	1.74
23	20.6	10.7	67.17	0.00	1.53
24	23.8	12.4	67.38	0.00	2.04
25	21.4	10.1	81.21	0.00	1.35
26	18.6	10.7	83.58	0.00	1.23
27	23.2	12	67.46	0.00	1.32
28	27	13.8	60.50	0.00	1.57
29	23.3	14	63.46	0.00	1.87
30	22.6	10.4	66.29	0.00	1.36
31	25.6	13	54.08	0.00	2.02
PROMEDIO	23.08	11.27	68.99	0.00	1.54

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRV JUNIO 2017					
DÍA	T. Max	T. Min	Humedad	Pp	V. viento
1	24.7	10.3	56.70	0.00	1.80
2	22.8	9.8	56.54	0.00	1.51
3	23.1	10.9	53.42	0.00	1.85
4	22.7	10.9	55.58	0.00	1.66
5	25.3	14.6	41.13	0.00	1.80
6	24.8	8.4	54.17	0.00	1.83
7	19.5	8.3	82.67	0.00	1.35
8	20.7	7.9	66.71	0.00	1.53
9	24.3	11.2	51.54	0.00	2.23
10	24.6	11.2	50.00	0.00	1.99
11	25.1	10.4	47.08	0.00	1.97
12	23.2	10.6	48.46	0.00	2.16
13	25.4	10.4	43.88	0.00	2.27
14	26.1	12.3	30.50	0.00	1.71
15	26.3	11.9	47.29	0.00	1.16
16	29.3	9.8	54.96	0.00	1.18
17	22.8	7	62.88	0.00	0.45
18	21.3	8.1	58.57	0.00	0.12
19	24.6	8.5	51.57	0.00	0.45
20	27.8	12.4	49.74	0.00	0.40
21	24.6	12.5	51.30	0.00	0.41
22	27.2	13.2	46.22	0.00	0.39
23	24.7	12.7	49.09	0.00	0.44
24	25.3	13.3	45.87	0.00	0.68
25	21.9	10.9	60.55	0.00	0.28
26	23.6	9.1	70.23	0.00	0.15
27	22.4	7.6	73.96	0.00	0.20
28	22.6	10.8	64.73	0.00	0.10
29	24.5	11.6	56.48	0.00	0.19
30	26.8	13.7	44.17	0.00	0.28
PROMEDIO	24.27	10.68	54.20	0.00	1.09

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRA Julio 2017					
DÍA	T. Max	T. Min	Humedad	Pp	V. viento
1	25.9	14.2	51.45	0.00	0.33
2	23.3	12.5	50.32	0.00	0.18
3	22.2	7.9	52.43	0.00	0.84
4	24.1	8.7	49.67	0.00	1.95
5	25.8	12.7	36.46	0.00	1.75
6	26.7	10.7	31.25	0.00	0.58
7	26.9	9.2	31.46	0.00	0.61
8	27.5	10.9	31.38	0.00	1.18
9	26.3	10.1	31.63	0.00	1.36
10	25.3	9.6	32.75	0.00	1.03
11	25.3	10.7	33.67	0.00	1.22
12	25.1	10.5	40.21	0.00	0.84
13	24.1	9.7	48.79	0.00	0.77
14	24.7	10.9	55.71	0.00	0.78
15	21.6	7.2	60.42	0.00	0.58
16	18.5	6.2	76.33	0.00	0.49
17	22.9	6.7	59.96	0.00	0.43
18	28.3	13.6	27.71	0.00	1.78
19	30.3	13.4	32.13	0.00	2.58
20	25.4	11.3	43.04	0.00	1.74
21	28.6	9.2	51.67	0.00	0.81
22	26.7	8.7	62.38	0.00	0.73
23	21.8	8.3	65.21	0.00	0.87
24	24.5	7.3	54.75	0.00	1.18
25	30.4	9.1	37.88	0.00	1.10
26	26.9	10.2	40.29	0.00	1.19
27	25.4	6.8	51.29	0.00	0.83
28	25.5	7.6	49.83	0.00	1.06
29	27.1	9.2	44.75	0.00	0.78
30	28.4	8.9	46.46	0.00	0.91
31	29	9.3	43.83	0.00	1.00
PROMEDIO	25.63	9.72	45.97	0.00	1.01

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRA Agosto 2017					
DÍA	T. Max	T. Min	Humedad	Pp	V. viento
1	28.4	7.4	42.74	0.00	1.02
2	28.4	7.6	43.25	0.00	1.25
3	24.8	7.2	46.38	0.00	1.05
4	25.5	6.7	43.50	0.00	1.15
5	26.6	12.2	35.38	0.00	2.13
6	25.4	10.8	34.71	0.00	1.57
7	25.5	10.3	34.04	0.00	2.20
8	22.9	9	39.04	0.00	1.64
9	25.6	10.5	39.58	0.00	1.23
10	24.3	10.7	39.33	0.00	0.71
11	22.1	9.2	50.79	0.00	0.97
12	20.2	3.4	60.46	0.00	0.81
13	22.6	5.5	55.54	0.00	0.69
14	21.8	6.3	51.08	0.00	1.00
15	24.4	8.6	36.71	0.00	1.70
16	24.4	8.8	36.13	0.00	1.60
17	25.9	11.3	31.50	0.00	1.95
18	24.6	10.9	32.42	0.25	1.83
19	24.7	9.8	37.46	0.00	1.92
20	28.2	11.3	27.04	0.00	2.10
21	28.3	9.9	32.92	0.00	1.49
22	24.9	8.5	42.13	0.00	1.44
23	23	8.4	39.63	0.00	1.85
24	23.2	8.9	49.46	0.00	1.48
25	21.9	8.6	50.96	0.00	1.35
26	23.4	9.2	50.13	0.00	1.37
27	22.9	9.1	43.79	0.00	1.55
28	24.1	11.4	42.08	0.00	1.50
29	24.5	10.1	38.67	0.00	1.89
30	25.6	10.8	45.46	0.00	1.55
31	25.8	10.8	42.08	0.00	1.37
PROMEDIO	24.64	9.14	41.75	0.01	1.46

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRA Setiembre 2017					
DÍA	T. Max	T. Min	Humedad	Pp	V. viento
1	25.8	10.9	41.22	0.00	1.47
2	24.1	10.1	37.25	0.00	1.49
3	24.6	10.9	46.75	0.00	1.09
4	24.3	11.3	46.00	0.00	1.64
5	25.3	11.2	45.88	0.00	1.22
6	21.8	10.9	41.17	0.00	1.47
7	22.4	13.2	54.79	0.00	0.73
8	20.5	11.4	60.50	0.00	0.95
9	20.7	10.3	58.13	0.00	1.13
10	19.8	6.1	74.13	0.00	0.96
11	20.7	10.6	58.29	0.00	1.30
12	19.9	9.9	59.13	0.00	0.72
13	21.3	9.8	67.38	0.00	0.94
14	18.8	11	70.71	0.00	0.73
15	21.1	9.2	66.25	0.00	0.73
16	25.7	14.9	46.25	0.00	1.20
17	27.4	14.4	40.63	0.00	1.44
18	27.4	13	40.33	0.00	1.97
19	27.1	10.9	45.38	0.00	1.06
20	24.1	9.2	58.21	0.00	0.53
21	21.2	9.7	64.25	0.00	0.35
22	25.6	10.6	52.50	0.00	0.60
23	27.2	11	37.67	0.00	0.50
24	27.4	11.2	30.83	0.00	0.46
25	28.6	10.6	33.83	0.00	0.70
26	24.7	10.4	34.29	0.00	0.95
27	26.8	10.2	35.13	0.00	0.75
28	28.8	10	30.96	0.00	0.92
29	29.8	10.2	29.67	0.00	0.95
30	27.9	10.7	32.88	0.00	0.95
PROMEDIO	24.36	10.79	48.01	0.00	1.00

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRA Octubre 2017					
DÍA	T. Max	T. Min	Humedad	Pp	V. viento
1	28.1	11.3	22.87	0.00	1.43
2	27.7	9.3	35.71	0.00	0.68
3	25.6	8.1	39.00	0.00	0.98
4	26.4	9.9	45.79	0.00	1.20
5	25.8	9.6	55.63	0.00	0.68
6	26.6	10.6	48.75	0.00	0.77
7	27.6	9.9	46.42	0.00	0.66
8	26.2	9.1	45.83	0.00	0.65
9	27.7	10.7	48.25	0.00	0.99
10	22.1	11.3	59.58	0.00	0.72
11	19.6	6.6	73.00	0.00	0.53
12	20.5	8.8	73.42	0.00	0.42
13	26.1	12	45.04	0.00	0.65
14	27.3	12.1	34.92	0.00	0.66
15	26.1	13.7	28.88	0.00	0.73
16	24.5	12.8	27.38	0.00	0.75
17	28.6	14.2	33.21	0.00	0.96
18	28.2	11	39.08	0.00	0.98
19	26.6	12.5	47.33	0.00	0.90
20	26.6	12.2	46.08	0.00	0.99
21	28	10.1	49.75	0.00	1.05
22	26.9	10.2	51.58	0.00	0.92
23	26.3	10.9	49.58	0.00	0.59
24	27.7	11.4	40.54	0.00	0.98
25	26	10.6	46.38	0.00	0.96
26	24.5	10.3	50.96	0.00	0.88
27	23.6	11.7	41.21	0.00	1.20
28	24.4	8.6	44.38	0.00	1.01
29	24.9	9.8	49.96	0.00	0.90
30	26.4	10.9	47.83	0.00	1.15
31	28.2	11.5	39.58	0.00	0.89
PROMEDIO	25.96	10.70	45.42	0.00	0.87

ESTACIÓN METEOROLÓGICA CRA Noviembre 2017					
DÍA	T. Max	T. Min	Humedad	Pp	V. viento
1	26.1	11.8	43.30	0.00	0.87
2	28.8	12.1	47.63	0.00	0.84
3	28.7	11.9	43.21	0.00	0.75
4	30.8	9.8	46.46	0.00	0.53
5	27.6	7.9	48.83	0.00	0.59
6	27.6	7.7	48.17	0.00	0.68
7	28.2	8.7	39.13	0.00	0.81
8	30.7	9.3	37.54	0.00	0.69
9	28.8	9.1	45.67	0.00	0.50
10	29.2	9.7	48.88	0.00	0.68
11	27.8	10.6	43.33	0.00	0.58
12	28.7	14.1	42.08	0.00	0.44
13	28.7	13.2	44.63	0.00	0.57
14	27.3	12.7	53.33	0.00	0.63
15	25.6	9.9	58.92	0.00	0.52
16	25.3	8.9	70.57	0.00	0.55
21	27.6	12.8	53.75	0.00	1.01
22	30	9.7	55.63	0.00	0.57
23	27.3	6.4	62.13	0.00	0.55
24	27.6	9.1	60.67	0.00	0.55
25	27.2	9.6	49.38	0.00	0.58
26	28	9.6	42.79	0.00	0.57
27	28.3	10.5	50.13	0.00	0.75
28	28.2	11.3	50.29	0.00	0.61
29	28.5	13.1	57.29	0.00	0.58
30	27.9	10	56.50	0.00	0.63
PROMEDIO	28.10	10.37	50.01	0.00	0.64

Anexo N° 2 Resultados Análisis de agua AUTODEMA

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD
Ph a 22.3°	6.99	
Conductividad eléctrica a 25° C	0.77	Ms/cm
Calcio (Ca)	2.64	Meq/L
Magnesio (Mg)	0.91	Meq/L
Sodio (Na)	3.77	Meq/L
Potasio (K)	0.23	Meq/L
Amonio (NH)	<0.01	Meq/L
Cloruro (Cl)	3.21	Meq/L
Sulfato (SO ₄)	2.05	Meq/L
Nitrato (NO ₃)	0.04	Meq/L
Carbonato (CO ₃)	<0.02	Meq/L
Bicarbonato (HCO ₃ -)	2.02	Meq/L
Fosforo (H ₂ PO ₄)	<0.01	Meq/L
Cobre (cu)	<0.01	Ppm
Zinc (Zn)	<0.01	Ppm
Manganeso (Mn)	<0.01	Ppm
Hierro (Fe)	0.37	Ppm
Boro (B)	0.69	Ppm
R.A.S	2.83	

Fuente. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE (Kc) PARA EL CULTIVO DE PÁPRIKA (*Capsicum annum L.*) var. "Papri Queen" BAJO CONDICIONES DE LA IRRIGACIÓN MAJES. José María Cáceres López

Anexo N° 3. Análisis De Suelo

Determinación	Resultados	Unidades
Ph	7.80	Unidades de pH
Conductividad eléctrica	6.43	mmhos/cm
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	0.18	%
Materia Orgánica (MO)	0.00	%
Nitrógeno (N)	0.00	%
Fosforo (P)	2.27	ppm
Oxido de potasio (K ₂ O)	326.41	ppm
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	5.26	meq/100g
Calcio (Ca)	3.59	meq/100g
Magnesio (Mg)	0.55	meq/100g
Potasio (K)	0.60	meq/100g
Sodio (Na)	0.52	meq/100g
Arena	89.58	%
Limo	5.94	%
Arcilla	4.48	%
Clase textural	Arena franca	