

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**“EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA
CHIA (*Salvia hispánica L.*) DURANTE SU PERIODO DE
DESARROLLO EN EL CIFO - UNHEVAL”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

TESISTA

Bach. Huamani Berrospi, Ney Franklin

ASESORA

M.Sc. Luisa M. Alvarez Benaute

HUÁNUCO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A nuestro amado DIOS por darme vida, fuerza, energía, sabiduría e inteligencia. A mi madre Guillermina Berrospi y mi padre Alfredo Huamani, por ser mi inspiración, motivo, energía e impulso.

LOS AMO.

AGRADECIMIENTO

A nuestro amado DIOS por brindarme la oportunidad de poder presentar mi tesis y guiarme hoy, mañana y siempre.

Agradecerme a mí mismo por ponerle perseverancia y capacidad en mi vida universitaria de manera muy especial a mis padres quienes me han dado la vida y que confiaron en mí por su ayuda total ellos son mi motivo principal por el cual estoy en estas instancias de mi vida universitaria. Agradecer a mi hermanita Alanis y mi hermano Mark por su apoyo.

A la célebre, “Universidad Nacional Hermilio Valdizan”, Huánuco, Perú.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias por brindarme sus conocimientos para ser un profesional exitoso.

A mi asesora M.Sc. Luisa M. Alvarez Benaute por brindarme su ayuda y asesoramiento.

En general a cada persona por contribuir de alguna u otra manera en la iniciación, ejecución y finalización de mi trabajo de investigación, muchas gracias.

**“EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHIA (*Salvia hispánica L.*)
DURANTE SU PERIODO DE DESARROLLO EN EL CIFO-UNHEVAL”**

RESUMEN

La evapotranspiración (ET_c) y el coeficiente de cultivo (K_c) son indicadores importantes para diagnosticar el consumo de agua de un determinado cultivo, el objetivo fue determinar la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chía (*Salvia hispánica L.*) durante su periodo de desarrollo en el CIFO – UNHEVAL. Se instaló tres lisímetros volumétricos con el cultivo del gras lo cual se utilizó para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), mientras para la cuantificación de la ET_c se instalaron seis lisímetros volumétricos con el cultivo de chía los cuales se ubicaron con aleatoriedad y simetría.

La ET_c para chía y la ET_o del gras, resulto el coeficiente de cultivo (K_c). La cuantificación del acceso y percolación del agua provenientes de los lisímetros, evaluaciones semanales del desarrollo fisiológicos, altura de planta, cantidad de hojas por planta, inicio y fin fases fenológicas, permitió distinguir y establecer las fases fenológicas para chía conjuntamente con el requerimiento hídrico. Los resultados del estudio indican que se obtuvo 1477.10 mm de lámina hídrica por el método lisimétrico. La ET_c durante el periodo de desarrollo para chía fue de 277.04 mm, 278.34 mm, 399.68 mm, 315.8 mm y 206.22 mm para las fases I, II, III, IV y V respectivamente. Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) para chía varían de acuerdo a su periodo de desarrollo, consiguiéndose los K_c en las diferentes fases de 0.85; 0.89; 1.03; 1.01 y 0.93 respectivamente. El desarrollo y crecimiento de chía tuvo un inicio de emergencia de planta a 5 dds, inicio de ramificaciones a 33 dds, floración 58 dds, madurez fisiológica 87 dds y madurez de cosecha 124 dds. Concluido la investigación y determinado la ET_c y K_c para el cultivo de chía durante su periodo de desarrollo nos permite adaptarlo en proyectos en zonas donde la edafología y climatología sean idénticas a las determinadas en esta investigación.

Palabras claves: Evapotranspiración, coeficiente de cultivo, chía

ABSTRACT

The evapotranspiration (ET_c) and the culture coefficient (K_c) are important indicators to diagnose the water consumption of a certain culture, the objective was to determine the evapotranspiration and the culture coefficient for chia (*Salvia hispánica* L.) during its development period in the CIFO - UNHEVAL. Three volumetric lysimeters were installed with the culture of the gras, which was used to calculate the reference evapotranspiration (ET_o), while for the quantification of ET_c, six volumetric lysimeters were installed with the chia culture, which were located with randomness and symmetry.

The ET_c for chia and the ET_o for gras, resulted in the cultivation coefficient (K_c). The quantification of access and percolation of water from lysimeters, weekly evaluations of physiological development, plant height, number of leaves per plant, beginning and end of phenological phases, allowed to distinguish and establish the phenological phases for chia together with the water requirement. The results of the study indicate that 1477.09 mm of hydric layer was obtained by the lysymmetric method. The ET_c during the development period for chia was 277.04 mm, 278.34 mm, 399.68 mm, 315.8 mm and 206.22 mm for phases I, II, III, IV and V respectively. The values of the cultivation coefficient (K_c) for chia vary according to its development period, achieving the K_c in the different phases of 0.85; 0.89; 1.03; 1.01 and 0.93 respectively. Chia development and growth had a plant emergence start at 5 dds, branching start at 33 dds, flowering 58 dds, physiological maturity 87 dds and harvest maturity 124 dds. Once the investigation is concluded and the ET_c and K_c determined for the cultivation of chia during its development period, it allows us to adapt it in projects in areas where the soil science and climate are identical to those determined in this research.

Key words: Evapotranspiration, crop coefficient, chia

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE	6
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Formulación del problema.....	12
Problema general	12
Problema específico	13
1.2 Objetivos	13
Objetivo general	13
Objetivo específico	13
II. MARCO TEÓRICO	14
2.2. Fundamentación teórica.....	14
2.2.1. Evaporación	14
2.2.2. Transpiración	14
2.2.3. Evapotranspiración del cultivo (ETc)	15
2.2.4. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).....	16
2.2.5. Factores que influyen a la evapotranspiración.....	16
2.2.6. Métodos para estimar la evapotranspiración	17
2.2.8. Coeficiente de cultivo (Kc)	26
2.2.9. Etapas fenológicas del cultivo para determinar el Kc.....	28
2.2.10. Capacidad de campo (CC)	30
2.2.11. Punto de marchitez permanente (PMP).....	31
2.2.12. Disponibilidad de agua en el suelo.	31
2.2.13. Cuantificación del agua aprovechable en el sistema radicular	33
2.2.14. Requerimiento hídrico para los cultivos.....	34
2.2.15. Importancia del coeficiente del cultivo	34
2.2.16. Cultivo de la chía (<i>Salvia hispánica L.</i>)	35
2.3. ANTECEDENTES.....	38

2.4. HIPÓTESIS.....	40
2.5. VARIABLES.....	41
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	42
3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	42
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS	43
3.4 FACTORES Y TRATAMIENTOS EN ESTUDIO	43
3.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS	44
3.5.1. Diseño investigación y esquema.....	44
3.5.2. Datos registrados	47
3.5.3. Técnicas e instrumentos y procesamiento de la información.....	49
3.6. MATERIALES Y EQUIPOS	50
3.7. CONDUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
IV. RESULTADOS.....	65
V. DISCUSIÓN	95
VI. CONCLUSIONES.....	98
VII. RECOMENDACIONES	100
VIII. LITERATURA CITADA	101
ANEXO A	102
ANEXO B	102
ANEXO C	102
ANEXO D	102
ANEXO E	102
ANEXO F.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Proceso de transpiración.	14
Figura 02. Evapotranspiración del cultivo (ETc.).....	15
Figura 03. Cálculo gráfico de la ETo.....	16
Figura 04. Características del tanque evaporímetro clase “A”.....	19
Figura 05. Esquema del agua en el suelo y su utilización por las plantas.	26
Figura 06. Evolución del Kc en función del estado de desarrollo	29
Figura 07. Etapa de desarrollo del cultivo y del cultivo hipotético(pasto).....	30
Figura 08. Croquis del área de trabajo.....	46
Figura 09. Comportamiento del % CC en suelo para lisímetros.	65
Figura 10. Comportamiento de la altura de planta para chíá.....	68
Figura 11: Comportamiento del número de hojas para chíá.	69
Figura 12. Diagrama de barras para la ETc / mes.....	73
Figura 13. Diagrama de barras de la ETc para las variedades de chíá	74
Figura 14. Volumen de agua consumida en m ³ /ha para chíá..	75
Figura 15. Comportamiento del Kc en chíá por etapa que menciona la FAO.	77
Figura 16. Comportamiento del Kc por día.....	77
Figura 17. Comportamiento del Kc para chíá durante los meses de julio a noviembre..	78
Figura 18. Comportamiento del Kc para el periodo de desarrollo para chia.	78
Figura 19. Comportamiento de la ETo calculado por el método de lisímetro-gras.....	81
Figura 20. ETo lisimétrica y ETp ecuaciones para el período julio 2020 – noviembre 2020.	85
Figura 21. Evapotranspiración potencial (mm/día) resuelto con ecuaciones para el periodo 2010 – 2020.	86
Figura 22. Gráfica comparativa de la ETo (mm/día) calculado por los 3 métodos.....	87
Figura 23. Diagrama de barras que comparan la ETo (mm/día) calculado por 8 ecuaciones, gras-lisímetro y el tanque clase “A”.....	87

Figura 24. Gráfica comparativa de la ETo (mm/día) calculado con la ecuación FAO Penman Monteith, gras-lisímetro y tanque clase “A”; para el periodo de estudio julio 2020 – noviembre 2020.	88
Figura 25. Diagrama de barras que comparan la ETo (mm/día) calculado por la ecuación FAO Penman Monteith, gras-Lisímetro y tanque clase “A”.	88
Figura 26. Días después de la siembra del cultivo de chíá en los tratamientos.	89
Figura 27. Gráfica comparativa del error relativo (%) y desviación estándar, para las ecuaciones en estudio.	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Ecuaciones empíricas utilizadas en esta investigación.	20
Cuadro 02. Densidad aparente, CC y el PMP según la textura del suelo.	33
Cuadro 03. Tratamiento en estudio.	44
Cuadro 04. Datos meteorológicos para el período (2010 – 2020).	58
Cuadro 05. Datos meteorológicos periodo de estudio (julio 2020 – noviembre 2020) ...	59
Cuadro 06. Etapas fenológicas y sus características para chíá.	63
Cuadro 07: Resultado del muestreo de suelo para determinar el % CC.	65
Cuadro 08. Análisis de varianza para altura de planta.	67
Cuadro 09. Prueba de Duncan para altura de planta.	67
Cuadro 10. Análisis de varianza para la evapotranspiración.	68
Cuadro 11. Prueba de Duncan para la evapotranspiración.	68
Cuadro 12. Resultado de la evapotranspiración de cultivo (ETc) calculado con los lisímetros para la chíá (<i>Salvia hispánica L.</i>) durante su periodo de desarrollo.	70
Cuadro 13. ETc /semana y ETc para el periodo de desarrollo para chíá.	73
Cuadro 14. ETc para los meses desde julio – noviembre.	74
Cuadro 15. Volumen de agua en m ³ /ha, durante el periodo de desarrollo para chíá.	75
Cuadro 16. Coeficiente de cultivo (Kc) calculado de manera directa con lisímetros.	76

Cuadro 17. ETc, ETo y Kc para las fases de desarrollo.	77
Cuadro 18. Evapotranspiración potencial (mm/día) para el tanque clase “A”.	79
Cuadro 19. Evapotranspiración de referencia por el método lisímtrico.....	79
Cuadro 20. Resultado de la evapotranspiración potencial (ETo) en mm/día calculado con el cultivo de referencia (gras) en lisímetros.....	80
Cuadro 21. Resultado de la evapotranspiración potencial (mm/día) calculado empleando ecuaciones para el periodo (2010 - 2020)	82
Cuadro 22. Resultado de la evapotranspiración potencial (ETo) en mm/día calculado para el período en estudio (julio 2020 – noviembre 2020)	83
Cuadro 23. Evapotranspiración potencial (mm/día) calculado con las 8 ecuaciones para el periodo en estudio (julio 2020 – noviembre 2020) y el periodo (2010 – 2020).....	84
Cuadro 24. Evapotranspiración potencial (mm/día) calculado empleando las 8 ecuaciones, gras-lisímetro y tanque clase “A”.	87
Cuadro 25. Evapotranspiración potencial (mm/día) calculado empleando la ecuación Penman Monteith, gras-lisímetro y tanque clase “A”	88
Cuadro 26. Identificación de las fases fenológicas en los tratamientos.....	89
Cuadro 27. Fases fenológicas y sus coeficientes de cultivo de chíá respectivos.	90
Cuadro 28. Observaciones durante el desarrollo para chíá (<i>Salvia hispánica</i> L.).....	91
Cuadro 29. Resultado del error relativo (%) y desviación estándar de la evapotranspiración potencial calculada con ecuaciones proporcionalmente a la ETo del gras-lisímetro.	92

I. INTRODUCCIÓN

La planificación de poder optimizar el recurso hídrico dentro de la agricultura es un problema mundial. La evapotranspiración de cultivo y el coeficiente de cultivo son parámetros muy importantes para determinar el requerimiento hídrico de las plantas, estos indicadores son el pilar para poder diseñar y ayudar a un buen manejo agronómico en los sistemas de riego, por consiguiente, facilita la programación de un conjunto de operaciones de riego como los días, tiempo de riego, cantidad de agua, etc. También permite planificar, gestionar de recursos hídricos una cuenca, dimensionar canales, redes de tuberías, reservorios, etc.

El Perú cuenta con climas, suelos, altitudes, muy variadas, aun se reportan pocas investigaciones que determinan el K_c y la ET_c para chía (*Salvia hispánica L.*). En Huánuco no se evidencian trabajos relacionados con el K_c y la ET_c para chía (*Salvia hispánica L.*), porque aún no se opta por este cultivo debido al poco conocimiento o nada, el desconocimiento de estos valores para las condiciones agroclimáticas del CIFO-UNHEVAL es un problema que ocasiona inadecuado manejo de todo un sistema de riego.

La importancia del K_c y la ET_c es lograr una mejora del progreso del recurso hídrico, estudios indican que la planta retiene gran cantidad de agua cuando se le suministra, el inconveniente es que no toda esa agua lo utiliza para su desarrollo fisiológico, es decir se desperdicia mediante la transpiración, evaporación, escorrentía, influencia de los factores meteorológicos y agroclimáticos del lugar donde se desarrolla la planta.

La determinación del K_c se resuelve realizando una división entre la ET_c y la ET_o ambos indicadores se calculan por el método lisimétrico para una manera directa, la ET_o también se resuelve con la utilización de los datos meteorológicos (ecuaciones empíricas) y el tanque evaporímetro clase "A", para una manera indirecta.

El Kc durante un ciclo fenológico tiene valores altos debido a que alcanza su mayor índice de canopia y transpiración estomática (Rodríguez 2012). La chía (*Salvia hispánica L.*) es un cultivo de periodo corto herbáceo perteneciente a la familia Lamiaceae, tiene importancia por poseer compuestos de actividad bacteriana y bioinsecticida, el cultivo de la chía (*Salvia hispánica L.*) es un cultivo que tiene mucha demanda económica además tiene propiedades para la salud (Di Sapio *et al.* 2012).

En la producción agrícola el recurso hídrico es imprescindible debido a que las plantas requieren este elemento líquido para su desarrollo y crecimiento entre otras utilidades, por ello es importante invertir en investigación tener la iniciativa en la optimización y cuidado del recurso hídrico en tiempo real e in situ. El uso de la tecnología e innovación actualmente cumplen roles importantes en muchos estudios y principalmente en la agricultura, con el estudio podremos responder preguntas como cuando y cuanto hay que regar una planta (Gutiérrez *et al.* 2005).

La estimación de la ETo se resuelve con los factores climáticos, esto debido a que el clima, temperatura, viento, radiación solar son muy variados para diferentes lugares (Landon 2004). Las formas de determinar la ETo son con el tanque evaporímetro y fórmulas empíricas como: Penman Monteith, Thornthwaite, Turc, Hargreaves temperatura y Hargreaves radiación, Jensen-Haise, Blaney-Criddle, FAO Radiación, entre otros métodos (Bhabagrahi *et al.* 2012). Finalmente, esta investigación proporcionara datos de ETc y Kc para chía (*Salvia hispánica L.*) durante su periodo de desarrollo en el CIFO-UNHEVAL.

1.1 Formulación del problema

Problema general

¿Cuál será la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chía (*Salvia hispánica L.*) durante su periodo de desarrollo en el CIFO – UNHEVAL?

Problema específico

¿Se podrá obtener la evapotranspiración de referencia del gras con la herramienta lisimétrica?

¿Se conseguirá determinar la evapotranspiración potencial a partir de diferentes ecuaciones empíricas con el uso de parámetros climáticos para la naturaleza propia del lugar?

¿Se logrará comparar los datos de la evapotranspiración de referencia calculados con el lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y ecuaciones empíricas?

1.2 Objetivos

Objetivo general

Determinar la evapotranspiración y coeficiente de cultivo para chíá (*Salvia hispánica* L.) durante su periodo de desarrollo en el CIFO – UNHEVAL.

Objetivo específico

- ❖ Obtener la evapotranspiración de referencia del gras con la herramienta lisimétrica.
- ❖ Determinar la evapotranspiración potencial a partir de diferentes ecuaciones empíricas con el uso de parámetros climáticos para la naturaleza propia del lugar.
- ❖ Comparar los datos de la evapotranspiración de referencia calculados con el lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y ecuaciones empíricas.

II. MARCO TEÓRICO

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Evaporación

Según la FAO (2006) informa que es parte del ciclo hidrológico y que consta del cambio de un estado líquido a vapor de agua, la evaporación ocurre en distintos espacios como ríos, suelos, lagos, riachuelos, lugares donde el agua tenga la conexión con una fuente de calor como el sol. La evaporación es importante ya que si no hay ese proceso lo más probable es que no se presente las lluvias, un exceso de evaporación es muy perjudicial para los seres humanos, animales, plantas, suelo y el agua.

2.2.2. Transpiración

Es un proceso por el cual el agua contenida en los estomas y órganos de las plantas sale al exterior, en el conjunto verde de la planta (canopia) es donde se realiza la mayor transpiración esto es influenciado mayormente por los cambios climáticos de una estación del año a otra (FAO 2006). La transpiración y la evaporación depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento (Allen *et al.* 2006)



Figura 01. Proceso de transpiración.
Fuente: Allen *et al.* (2006)

2.2.3. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo este compuesto por dos sucesos que no es fácilmente posible distinguir ya que ocurren simultáneamente por un lado la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo, la unidad de media en que se expresa la ETc es en milímetros (mm) por unidad de tiempo, esto expresara la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada, la unidad de tiempo puede ser por día, mes, periodo de desarrollo y anual (Allen *et al.* 2006).

La ETc se determina de manera tanto directas como indirectas, pero en su mayoría se calcula indirectamente con la utilización de parámetros meteorológicos y todo el conjunto de características propias de cada planta y cada lugar. La ETc necesita los indicadores de Kc y ETo, algunos cultivos ya tienen Kc establecidos en el manual de la FAO, el método de Penman Monteith es la ecuación general que se utiliza para determinar el valor de la ETo (FAO 2006). El Kc se puede determinar experimentalmente dividiendo la ETc / ETo para un determinado período de desarrollo para un cultivo.

$$ET_c = ETo \times K_c \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 01}$$

Una representación gráfica de la evapotranspiración se presenta en la figura 02, se visualiza que la multiplicación de la ETo con el Kc en una etapa de desarrollo establecida porque para cada etapa es diferente, nos dará la ETc (FAO 2006).

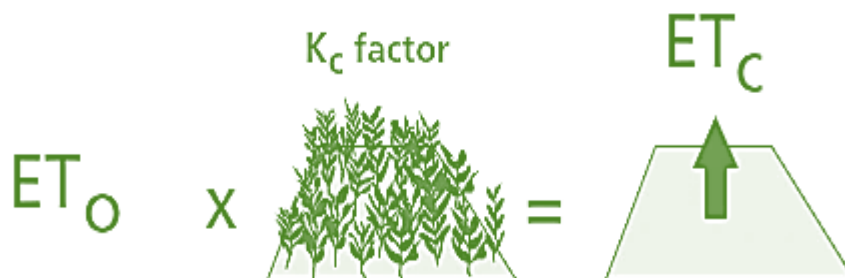


Figura 02. Evapotranspiración del cultivo (ETc)
Fuente: FAO (2006)

2.2.4. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Es el proceso de evapotranspiración para un cultivo teórico y factible, en muchos casos tiene que tener ciertas características, pero las más principales es que tiene que tener bajo tamaño de planta y crecer provistas del recurso hídrico indispensable, unos de los cultivos que cumple este rol importante es el pasto(gras) los factores únicos que afecta la ET_o es los parámetros climáticos. Por lo tanto, la ET_o también puede ser calculado a partir de datos meteorológicos utilizando el método FAO Penman Monteith y el tanque evaporímetro clase "A" (Allen *et al.* 2006)



Figura 03. Cálculo gráfico de la ET_o

Fuente: FAO (2006)

2.2.5. Factores que influyen a la evapotranspiración

Fuentes (2003) considera que los factores que afectan directamente la evapotranspiración es la meteorología, la naturaleza de la planta, el periodo de desarrollo y el suelo. FAO (2006) manifiesta que los factores de influencia en la evapotranspiración son principalmente los parámetros climáticos y el manejo del cultivo.

a) Parámetros climáticos, este factor influye debido al cambio brusco que se prestan en los cultivos entre ellos podemos mencionar la temperatura, humedad, viento, precipitación y radiación por consiguiente estos parámetros son

los que afecta directamente en mayor parte que se produzca los fenómenos de evaporación y transpiración (FAO 2006).

b) Manejo del cultivo, este factor es imprescindible porque una planta cuando se presente bien fisiológicamente, hidrológicamente y sanidadmente podrá realizarse en su desarrollo de manera normal y la evapotranspiración no será afectada, mientras que si no se brinda las condiciones óptimas de desarrollo para una planta la evapotranspiración será errónea, es decir la ETc debe estar en condición estándar (FAO 2006).

2.2.6. Métodos para estimar la evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración de un cultivo dentro de condiciones estándares y en completo balance de agua, suelo, planta y climatología se encuentran muchas maneras de poder realizar su cálculo, los más importantes son los métodos experimentales y los métodos empíricos (Pérez 2005).

1. Métodos experimentales.

El método experimental o directo se utiliza cuando la determinación de la evapotranspiración que se requiere es in situ y minimizar los errores, los más recomendados son los lisímetros y tanque de evapotranspiración clase "A" (FAO 2006).

Esta manera de poder resolver cálculos de ETc nos brindan más confiabilidad a la hora de poder realizar trabajos hidrológicos ya que brinda datos propios del lugar y bajo condiciones reales de climatología, en la actualidad debido a la constante investigación se ha logrado resolver técnicas como la Eddy Covariance más sofisticados para resolver y acercarse a la ETc real y con mínimo porcentaje de error (Castañeda 2013).

a) Lisímetros

Es una herramienta, dispositivo que se construye con la finalidad de controlar y medir el balance hídrico del agua, constituido por un volumen de suelo separado hidrológicamente y que presenta las mismas características edáficas de donde se utilizó la tierra (Puppo *et al.* 2010). El objetivo principal de esta herramienta es poder determinar la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas de desarrollo (Callanaupa 2016).

El lisímetro pertenece a la manera directa y exacta de medir la evapotranspiración, dentro del lisímetro se encuentra un cultivo del cual se realizará el análisis y el diagnóstico del volumen de agua evapotranspirada, este método en su mayor dimensión se utiliza para la realización de investigaciones y dar respuesta a la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia de cultivos en estudio (Vásquez *et al.* s.f.). En algunos casos la utilización del lisímetro podría tornarse de difícil manejo y de presupuesto elevado, por ello este instrumento es recomendado solo para trabajos investigatorios. Para determinar la ETc o la ETo a partir del lisímetro se utiliza la ecuación 02, que menciona una división entre agua útil (CAA-CAD) y el área del lisímetro (FAO 2006).

$$ETc = \frac{CAA - CAD}{\text{área del lisímetro}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 02}$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm)

CAA = Cantidad de agua aplicado (mm)(litros)

CAD= Cantidad de agua drenada (mm) (litros)

b) Tanque de evaporación clase "A"

Método directo que más se utiliza para determinar solo la ETo por su facilidad, diagnóstico y presupuesto bajo, su manejo es contabilizar el agua que se evapora por efectos climatológicos (Bochetti 2010). Según la FAO (2006) su construcción generalmente consta de un recipiente circular de 120.7 cm de diámetro y de profundidad 25 cm está realizado de un material galvanizado (0.8 mm) se

posiciona sobre una superficie plana y de madera con el cultivo de gras alrededor, el agua que se le suministra al tanque debe estar limpio y mantenerlo a 7.5 cm por debajo del borde, en los alrededores del tanque solo debe cercarse con cualquier material para evitar inconvenientes y daños externos, la ecuación general para el cálculo de la ETo por el tanque evaporímetro clase "A" es la siguiente :

$$E_{To} = E_o / K_p \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 03}$$

Donde:

E_{To} = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

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

K_{tan} = Coeficiente del tanque evaporímetro clase "A"

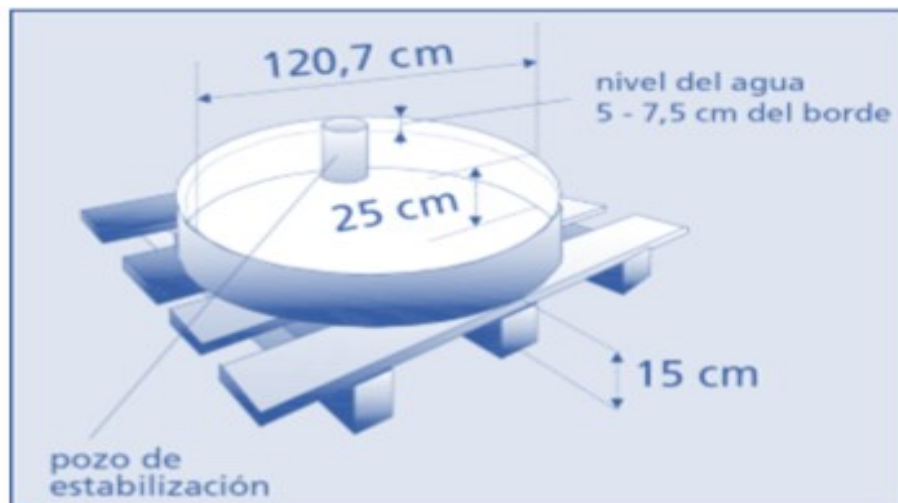


Figura 04. características del tanque evaporímetro clase "A"

Fuente: FAO (2006)

2. Métodos empíricos:

Los métodos indirectos o empíricos nos brindan resultados en rápido tiempo para condiciones que más se asemejan al lugar donde se encuentra el cultivo a estudiar, la evapotranspiración de referencia es la que generalmente se calcula con este método, con la utilización de diversas ecuaciones que solo necesitan los parámetros climáticos para resolver el cálculo de la ETo (FAO 2006).

La estimación de la ETo se resuelve con los factores climáticos, esto debido a que el clima, temperatura, viento, radiación solar son muy variados para diferentes lugares (Landon 2004). Para determinar la ETo se utiliza fórmulas empíricas como: Penman Monteith, Thornthwaite, Turc, Hargreaves temperatura y Hargreaves radiación, Jensen-Haise, Blaney-Criddle, FAO Radiación, entre otros métodos (Bhabagrahi *et al.* 2012).

Se encontró que muchos autores utilizan diferentes fórmulas o ecuaciones para estimar la evapotranspiración de referencia con la utilización de datos climatológicos, actualmente el método más confiable y estándar es la FAO Penman Monteith, las ecuaciones para esta investigación son a continuación:

Cuadro 01. Ecuaciones empíricas utilizadas en esta investigación

AUTOR	ECUACIONES	PARÁMETROS CLIMATICOS
FAO Penman Monteith	$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)}$	Radiación Temperatura Velocidad de viento
Thornthwaite	$ET_p = 0.53333 \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a$	Temperatura
Jensen y Haise	$ET_0 = R_s (0.025T_m + 0.08)$	Temperatura Radiación solar
Turc	$ET_p = K1 * K2 * (R_{sc} + 50) * \frac{TC}{(TC + 15)}$	Temperatura Horas reales de sol
FAO Radiación	$ET_0 = a + b * w * R_s$	Radiación solar Horas reales de sol
Blaney–Criddle modificado por la FAO	$ET_0 = A + B * f$	Temperatura
Hargreaves temperatura	$ET_p = MF * TMF * CH * CE$	Temperatura Humedad relativa
Hargreaves radiación	$ET_0 = 0,0135 (T_{med} + 17,78) R_s$	Radiación solar Temperatura

Fuente: Elaboración propia.

a) Método FAO Penman Monteith

En la actualidad esta ecuación está muy diversificada como un método muy estandarizado para la estimación de la evapotranspiración de referencia (Castañeda 2013). El resultado calculado con esta ecuación nos será útil para poder comparar rápidamente con diferentes lugares para periodos de desarrollo diferentes y consistentes para diferentes cultivos (Allen *et al.* 2006). Este método fue desarrollado posteriormente por diversos investigadores y ampliado en superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia, la ecuación de Penman Monteith actualizada se muestra a continuación, según FAO (2006).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \dots\dots \text{Ecuación 04}$$

donde:

ET₀ = evapotranspiración de referencia (mm/día)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

G = flujo del calor de suelo (MJ/m²/día)

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día)

γ = constante psicrométrica (kPa /°C)

u₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa /°C)

e_s - e_a = déficit de presión de vapor (kPa)

El cálculo de la evapotranspiración potencial (ET₀) puede ser automatizado por el software de la FAO, llamado CROPWAT, que utiliza la ecuación FAO Penman Monteith en su programación, según la FAO (2006).

b) Método de Thornthwaite

Guevara (2003) señala que Thornthwaite en su ecuación explica la estimación biológica y física de la evapotranspiración en la taxonomía climática, con el perfeccionamiento, ejecución e investigación logró diseñar una ecuación super útil para calcular la ETo, Thornthwaite propuso esta ecuación en el año de 1948, la ecuación es expresada a continuación:

$$ETp = 0.53333 \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a \dots\dots\dots \text{Ecuación 05}$$

Donde:

ETp: Evapotranspiración Potencial en mm/día.

a: $6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.79 * 10^{-2} * I + 0.49$

T: Temperatura media mensual en °C.

I: Índice de calor total derivado de la suma de los 12 valores de los índices mensuales (i) obtenida a partir de:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5.1}$$

c) Método de Jensen y Haise

Este método o ecuación se basa en la temperatura y radiación solar, fue estudiado en el oeste de los Estados Unidos de América en terrenos áridos luego se contrastó con lisímetros, los resultados mostraron que existe un grado de subestimación cuando hay un proceso de transporte atmosférico por el campo de masa, se evalúa utilizando el viento total, pero tiene una correlación muy buena cuando no se da ese proceso (Landon 2004).

$$ETp = Rs (0.025 * Tm + 0.08) \dots\dots\dots \text{Ecuación 06}$$

Donde:

ETp: Evapotranspiración potencial (mm/día)

Tm: Temperatura media (°C).

Rs: Radiación solar expresada (mm/día)

d) Método de Turc

Según Landon (2004) menciona que, en esta ecuación los parámetros climáticos predominantes son la temperatura y la radiación solar incidente sobre la tierra, el cálculo de la evapotranspiración de referencia se puede realizar con este método porque brinda mucha confiabilidad y aceptación, la ecuación propuesta por el investigador Turc se investigó en condiciones climáticas para el oeste de Europa, para calcular la ETp se utiliza la siguiente ecuación:

$$ETp = K1 * K2 * (Rsc + 50) * \frac{TC}{(TC + 15)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 07}$$

Donde:

ETp = evapotranspiración potencial (mm/día)

HRmed = humedad relativa media en (%).

K2 = 1, Si HRmed > 50%

$K2 = 1 + \frac{(50 - HRmed)}{70}$, si HRmed < 50%

TC = temperatura media en (°C).

K1 = 0.40, para meses de 30 y 31 días.

K1 = 0.37, para meses de 28 y 29 días

Rsc = radiación solar expresada en cal/cm²/día.

e) Método Blaney-Criddle modificado por la FAO

Esta ecuación fue desarrollada en 1960, su cálculo e investigación lo realizaron en los Estados Unidos de América dentro de las condiciones referentes al oeste, por su manera y su fácil interpretación lo adaptaron en diferentes estados y latitudes, este método nos permite estimar la ETp con los factores de temperatura, número de horas sol y los parámetros biológicos como tipo de cultivo y manejo agronómico (Bochetti 2010). La FAO logró ajustar y aplicar algunos aspectos a la ecuación Blaney-Criddle y así poder calcular la evapotranspiración de referencia en una expresión como la ecuación 08 (Allen *et al.* 2006).

$$ET_p = A + B * f \dots\dots\dots \text{Ecuación 08}$$

$$f = p * [0.46 * T_m + 8.13] \dots\dots\dots \text{Ecuación 8.1}$$

Dónde:

ET_p = evapotranspiración potencial (mm/día)

A, B = factores de ajuste como la velocidad de viento, humedad relativa y la relación de brillo solar (n/N: n y N, horas de insolación)

T_m = temperatura media (°C)

P = porcentaje de horas diurnas anuales.

f) Método de FAO Radiación

Esta ecuación fue propuesta y desarrollado por la FAO donde indican que este método resalta por su precisión en los efectos climatológicos en los requerimientos hídricos de una planta, estudios realizados por la FAO demostraron que los resultados de este método son más fiables y verídicos con otros métodos como Blaney-Criddle, los indicadores primarios para esta ecuación son la temperatura y la radiación solar para su resolución de la formula se utiliza la ecuación 09, según Bhabagrahi *et al.* (2012).

$$ET_o = a + b * w * R_s \dots\dots\dots \text{Ecuación 09}$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.50 * \frac{n}{N} \right) * R_a \dots\dots\dots \text{Ecuación 9.1}$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración potencial (mm/día).

R_s: Radiación solar expresada en evaporación (mm/día)

W: indicador que depende de la temperatura y la altitud.

n / N: relación entre horas reales y máxima insolación.

a, b: coeficientes de humedad relativa y velocidad de viento.

R_a: radiación de la superficie terrestre

g) Método de Hargreaves

La ecuación de Hargreaves fue establecida para poder patentar una ecuación que pudiera resolver la climatología real para diferentes lugares con un objetivo de poder determinar la evapotranspiración potencial, este método debido a que se puede utilizar los datos meteorológicos de temperatura se subdivide en Hargreaves temperatura y cuando se tiene datos de radiación solar se subdivide en Hargreaves radiación (Samani 2000).

I. Hargreaves radiación: Samani (2000) indica que para la obtención de la evapotranspiración potencial en base a la radiación solar se utiliza la siguiente fórmula:

$$ET_o = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_o * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

donde:

ET_o = evapotranspiración potencial (mm/día)

R_o = Radiación solar extraterrestre (mm/día)

t_{max} = temperatura máxima (°C)

t_{min} = temperatura mínima (°C)

t_{med} = temperatura media (°C)

II. Hargreaves temperatura

$$ET_p = MF * TMF * CH * CE \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

ET_p : evapotranspiración potencial (mm/día).

TMF : temperatura media mensual (°C).

MF : factor mensual de latitud.

HR : humedad relativa media mensual (%).

CH : factor de corrección por la humedad relativa.

$CH = 0.166(100 - HR)^{0.5}$, para $HR > 64\%$

$CH = 1$, para $HR < 64\%$

CE = factor de corrección para la altitud.

$$CE = 1.00 + \frac{(0.04 * E)}{2000} \dots\dots\dots \text{Ecuación 11.1}$$

2.2.7. Utilización de agua en el suelo

Fuentes (2003) señala que la utilización del agua del suelo para las plantas se clasifica en: Agua sobrante; es la cantidad de agua que sale libre al exterior debido a la gravedad esta agua no es aprovechable por lo que se encuentra en una capa inaccesible para el sistema radicular, se presenta en el suelo de manera de capacidad de campo. Agua disponible; es el agua absorbida por el sistema radicular de la planta con mucha calma y llegando a todo el sistema vegetal, se presenta en el suelo en manera de punto de marchites permanente. Agua no disponible; es el agua conservada por el suelo que las plantas le es imposible poder absorberla con rapidez para utilizar en sus funciones fisiológicas y poder recuperarse de la transpiración, se presenta en el suelo seco.

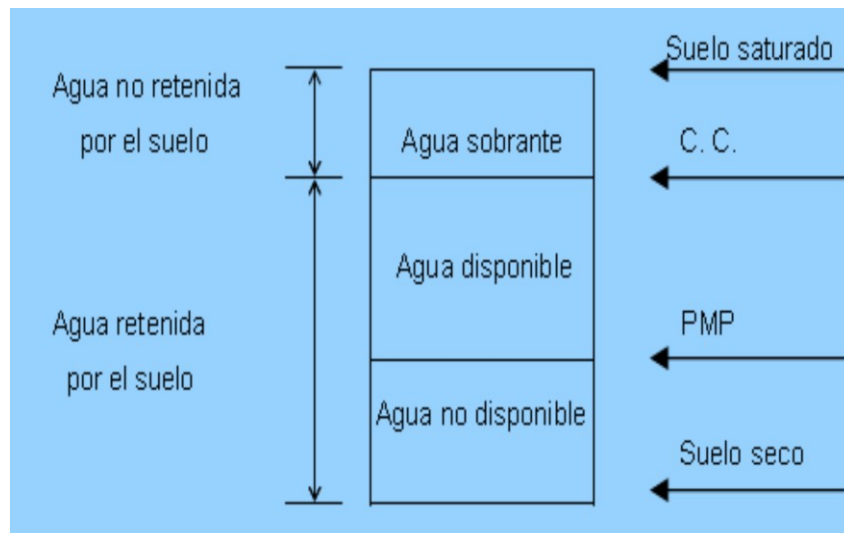


Figura 05. Esquema del agua en el suelo y su utilización por las plantas.
Fuente: Fuentes (2003)

2.2.8. Coeficiente de cultivo (Kc)

Es el indicador representativo o el límite mínimo y máximo de ET_c cuando no existen obstáculos al crecimiento del mismo debido a limitaciones de agua,

densidad del cultivo, enfermedades, malezas, insectos o excesiva salinidad (FAO 2006). El coeficiente de cultivo se puede utilizar para estimar el requerimiento de agua en las áreas de producción con el mismo cultivar, prácticas culturales y creciendo bajo condición ambiental idénticas (Yishai 2010). Se trata de un coeficiente que muestra el avance del desarrollo de un cultivo para evaluar su consumo de agua, se combinan efectos de la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración de un cultivo en un coeficiente único (Allen *et al.* 2006).

El coeficiente de cultivo es un factor reflejante de cambios físicos y biológicos propios de cada cultivo como, altura de planta, el comportamiento de las aberturas regulables del tejido epidérmico, el área foliar y el sistema de conducción, estos dos últimos factores se reflejan el grado de evapotranspiración que producirá el cultivo, para su determinación de coeficiente de cultivo se logra realizando una dividiendo la evapotranspiración del cultivo (ET_c) proporcionado por los lisímetros por la evapotranspiración potencial (ET_o) obtenida del cultivo hipotético (gras), tanque evaporímetro o de las ecuaciones empíricas como la ecuación FAO Penman Monteith (Requena *et al.* 2010).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_p} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

Donde:

K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional)

ET_p = Evapotranspiración potencial (mm)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm)

1. Factores que determinan el coeficiente del cultivo

El coeficiente de cultivo logra distinguir a un cultivo típico de campo con la del pasto de referencia por características que presentan cada una de ellas como la cobertura foliar hacia el suelo y el tamaño, debido a que los cultivos tienen diferentes periodos de desarrollo esto afectará directamente el K_c por lo tanto para cada etapa se obtendrá un K_c diferente, los factores que afectan el coeficiente de cultivo son el tipo de cultivo el clima (FAO 2006).

a) Tipo de cultivo

Es un factor determinante ya que no es lo mismo tener un K_c en una planta pequeña que en una grande esto debido a la altura del cultivo, tipos de estomas y hojas de las plantas, espacios entre plantas y rugosidad de la superficie, los cultivos que presenten K_c mayores a 1.0 son aquellos cultivos altos como la caña de azúcar, maíz y sorgo mientras que los K_c menores a 1.0 son cultivos medianos a pequeños como en la familia de la bromeliáceas (piña) otro factor porque los K_c son bajos es porque algunos cultivos como la piña cierran sus estomas durante el día, sin embargo, en la mayoría de las especies las estomas se abren en respuesta al aumento de la radiación solar, la posición, numero de estomas y resistencia de la cutícula a la pérdida de agua del cultivo por transferencia de vapor, las especies que presentan estomas solamente en la parte inferior de la hoja presentaran valores relativamente menores de K_c (FAO 2006).

b) Clima

Las alteraciones en la velocidad del viento afectan significativamente el valor del K_c debido a la resistencia aerodinámica, la diferencia entre la resistencia aerodinámica del pasto de referencia con otros cultivos agrícolas es tipo de cultivo, condiciones climáticas y altura del cultivo (FAO 2006). La aridez y de velocidad del viento representan condiciones superiores a los límites fuertes mientras los límites inferiores son válidos para condiciones de alta humedad y vientos suaves. Cuando los cultivos tienen menos altura los valores de K_c en respuesta a los cambios de las condiciones climáticas y meteorológicas serán menores, en los cultivos más altos serán mayores (FAO 2006).

2.2.9. Etapas fenológicas del cultivo para determinar el K_c

Cuando la planta se desarrolla pasa por diferentes etapas fenológicas propias, para poder determinar el K_c es importante primero poder observar que etapas están siendo evaluadas desde la óptica de la evapotranspiración. El periodo de crecimiento o de desarrollo consta de las etapas como la etapa inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada y de final de temporada (FAO 2006).

a) Etapa inicial: Está etapa de inicio generalmente tiene valores numéricos de K_c bajos su rango está comprendido entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo, (FAO 2006).

b) Etapa de desarrollo del cultivo: En esta etapa se presenta un K_c que ya comienza a crecer conforme conjuntamente con la canopia el rango comprende desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa (FAO 2006).

c) Etapa de mediados de temporada: Es donde generalmente se da la cúspide del K_c , este rango está comprendido entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez, indica generalmente por el comienzo de la vejez, amarillamiento, senescencia de las hojas, caída de las hojas, aparición del color marrón en el fruto (FAO 2006).

d) Etapa final de temporada: En esta etapa el K_c disminuye considerablemente el rango está comprendido desde el periodo entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia, para el cálculo del K_c y ET_c se dará cuando el cultivo es cosechado, secado al natural y experimenta la caída de las hojas (FAO 2006).

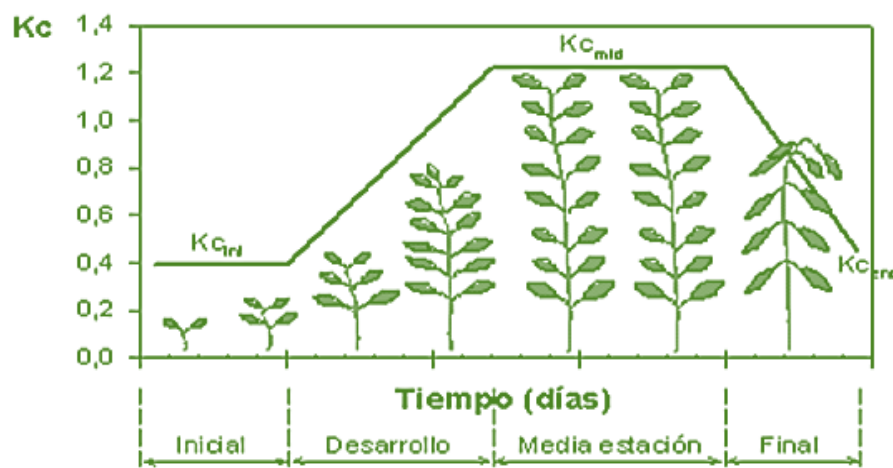


Figura 06. Evolución del K_c en función del estado de desarrollo.
Fuente: FAO (2006)

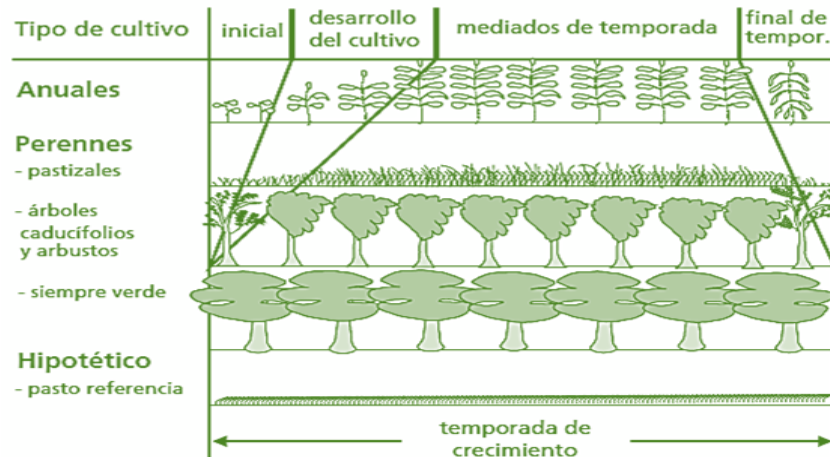


Figura 07. Etapa de desarrollo del cultivo y del cultivo hipotético(pasto)
Fuente: FAO (2006)

2.2.10. Capacidad de campo (CC)

FAO (2006) define como la capacidad que un suelo pueda retener el agua suministrado evitando inconvenientes de pérdida de agua por percolación o escorrentía que puede ser logrado en un tiempo determinado según la textura del suelo, es decir cuando la percolación del agua gravitacional ha finalizado, el contenido de humedad del suelo tiende a cero cuando la evapotranspiración es nula. Según Vázquez *et al.* (s.f.) el contenido de humedad a CC es aquel que corresponde a 0.10 bares para una textura arenoso de un estado energético del agua en el suelo, la fórmula general de la CC es:

$$(\%) \text{Humedad} = \frac{(P_{sh} - P_{ss})}{P_{ss}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$

Según Roncalla (2018) la capacidad de campo del suelo también se calcula mediante la fórmula de Peele, que expresa $CC = 0.48 \times Ac + 0.162 \times L + 0.023 \times Ar + 2.62$

Donde:

CC = Capacidad de campo %

Ac = % Arcilla

L = % Limo

Ar = % Arena

2.2.11. Punto de marchitez permanente (PMP)

Se considera que una planta se encuentra en el PMP cuando aunque se le suministre abundante agua a la planta ya no reaccionara debido a que su sistema fisiológico ha sido dañado agresivamente, se conceptualiza al punto de marchitez permanente cuando el contenido de humedad en suelo es 0% y presenta las manifestaciones fisiológicas como senescencia, caída de hojas, síntomas de marchitamiento y disminución en la fructificación debido al lento transporte de agua del suelo hacia el cultivo, a la planta no le es posible sacar agua fácilmente del suelo por consiguiente entra a una fase de marchitamiento permanente irreversible (Lazo 2006).

Fuentes (2003) menciona que la determinación del PMP se mide de manera experimental o no experimental, cuando no se obtiene datos de análisis que brinden la humedad del suelo en el PMP se opta por calcular de un modo aproximado a partir de otros datos analíticos más fáciles de obtener como la composición de la textura, la fórmula que más se utiliza es la siguiente:

$$PMP=0,303 Ac+0,102 L+0,0147 Ar \text{ (fórmula de Briggs).}$$

Donde:

PMP = punto de marchitez permanente (%).

Ac = arcilla (%).

L = limo (%).

Ar = arena (%).

2.2.12. Disponibilidad de agua en el suelo.

a) Agua disponible total (ADT)

El ADT manifiesta el agua aprovechable y óptimo para la planta que puede ser absorbido por su sistema radicular influenciado por la profundidad radicular y el tipo de suelo (FAO 2006). Se refiere a la capacidad de un suelo de conservar el agua aprovechable para las plantas previo suministro por riego o lluvia, el suelo filtrara el exceso de agua hasta llegar a la capacidad de campo, es decir cuando

el volumen de agua perteneciente al suelo y la filtración ha disminuido significativamente se observara que el contenido de humedad ha sobrepasado la CC y por consiguiente no pueden ser retenido en contra de las fuerzas de gravedad para finalmente ser percolado, el total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente multiplicado por la profundidad de las raíces y la constante 1000 (FAO 2006).

$$ADT = 1000 (CC - PMP) Z_r \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

Donde:

ADT = total de agua disponible en la zona radicular del suelo (mm)

CC= capacidad de campo (%) (m^3)

PP = punto de marchitez permanente (%) (m^3)

Zr = profundidad de las raíces (m).

b) Agua fácilmente aprovechable (AFA)

Según la FAO (2006) describe que un suelo manifiesta la AFA cuando el suelo retiene suficiente humedad y por consiguiente tiene la capacidad satisfacer la demanda atmosférica al cultivo por lo que la origen del agua será proporcional a la ETc, es decir conforme disminuya la humedad del suelo el agua será retenida a la matriz del suelo y será más difícil de extraer, cuando el contenido de humedad del suelo este por debajo del umbral el agua del suelo no podrá ser transportada hacia las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la transpiración por consiguiente el cultivo comenzará a sufrir de estrés. Se denomina AFA cuando la fracción de ADT de un cultivo puede suministrar la zona radicular sin experimentar estrés hídrico, la fórmula es:

$$AFA = p ADT \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

Donde:

AFA = agua fácilmente aprovechable (mm),

p = fracción promedio del ADT que se agota en el sistema radicular antes de presentarse estrés hídrico (reducción de la ET) [0 - 1].

El factor p varía normalmente entre 0.30 para cultivos de raíces poco profundas con $ET_c > 8$ mm/día; 0.70 cultivos de raíces profundas con $ET_c < 3$ mm/día. El valor de 0.50 es utilizado generalmente para muchos cultivos (FAO 2006).

2.2.13. Cuantificación del agua aprovechable en el sistema radicular

Vásquez *et al.* (s.f.) manifiesta que cuando se calcula la lámina de agua es imprescindible calcular los valores de la CC y el PMP de un suelo donde se realiza el estudio, al determinar el volumen de agua disponible podremos conocer el agua aprovechable por las plantas en el sistema planta, agua y suelo, la fórmula se presenta a continuación:

$$La = \frac{[CC(\%) - PMP(\%)] * Dap * Prof.}{100 * \rho\omega} \dots\dots\dots \text{Ecuación 16}$$

$$VAD = 10 * La \dots\dots\dots \text{Ecuación 16.1}$$

Dónde:

VAD: volumen de agua disponible (m^3/ha).

Dap: densidad aparente del suelo (gr/cm^3).

La: lámina de agua disponible total (mm).

$\rho\omega$: densidad del agua, equivalente a $1 gr/cm^3$.

Profu.: profundidad radicular (cm).

Cuadro 02. Densidad aparente, CC y el PMP según textura del suelo.

Dap g/cm^3	Dap g/cm^3	CC %	PMP %
Arenoso	1,55-1,80	6-12	2-6
Franco Arenoso	1,40-1,60	10-18	4-8
Franco	1,35-1,50	18-26	6-10
Franco Arcilloso	1,30-1,40	23-31	12-15
Arcillo Arenoso	1,25-1,35	27-35	14-18
Arcilloso	1,20-1,30	31-39	16-20

Fuente: Israelsen (1985)

2.2.14. Requerimiento hídrico para los cultivos.

Castañón (2000) se debe evitar aportes excesivos o insuficientes de riego, se debe aportar lo que el cultivo necesite y en el momento oportuno evitando una disminución en la producción, los requerimientos hídricos también denominados evapotranspiración de cultivo está influenciado directamente con los parámetros climáticos, la disponibilidad de agua, la variedad del cultivo, la densidad de siembra y del estado de su desarrollo, la planta durante su ciclo fenológico presenta diferente sensibilidad a la disponibilidad de agua.

Vásquez *et al.* (s.f.) en la ingeniería de riegos uno de las direcciones es el aspecto de obtener la cuantificación del consumo de agua para los cultivos, para ello un elemento básico para poder diseñar todos los trabajos de ingeniería de riegos como planificar, programar la sostenibilidad y poder dimensionar obras de infraestructuras es el coeficiente de cultivo.

2.2.15. Importancia del coeficiente del cultivo

Radica principalmente en obtener datos del comportamiento de los cultivos en un sistema agua, suelo, planta y meteorología. Durante su periodo de desarrollo de una planta, el K_c le brinda información de cómo y cuánto hay que regar o en qué condiciones fisiológicas se presentan en una etapa establecida, así como poder planificar las próximas siembras y en diferentes épocas del año, poder observar las variaciones climáticas dentro del cultivo también es una facilidad que brinda obtener los coeficientes de cultivos, es importante tener K_c bajo condiciones reales de crecimiento (Wherley *et al.* 2015).

Con el resultado del coeficiente de cultivo se puede manejar correctamente las áreas de cultivo porque un buen manejo de riego nos dará cosechas optimas y una estabilidad en el recurso hídrico, un manejo inadecuado nos minimizará las cosechas y la siembra no podrá sembrarse en cualquier época del año debido a la

escasez del agua de riego, el coeficiente de cultivo es de utilidad para diseñar un correcto sistema de riego (Rodríguez 2012).

2.2.16. Cultivo de la chía (*Salvia hispánica L.*)

1. Taxonomía:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta.

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Género: *Salvia*

Especie: *Salvia hispánica L.*

La familia Lamiaceae está constituida por aproximadamente 7500 especies y 300 géneros una de las especies de mayor importancia es la chía (*Salvia hispánica L.*) cultivo que presenta compuestos de movimiento tanto bioinsecticida y bactericida (Di Sapio *et al.* 2012).

2. Características morfológicas de la chía

La chía (*Salvia hispánica L.*) es herbácea y planta anual que mide de 0.50 a 1.0 m de altura, su tallo es aromático y ramificado de forma cuadrangular, pubescencia de 1-4 cm, en tallos jóvenes se visualiza estomas que poseen cutículas estriadas (Di Sapio *et al.* 2012). El sistema foliar está constituido por hojas simples, opuestas, enteras, lámina oval-elíptica 8-12 cm de longitud y 4-7 cm de ancho, base cuneada, ápice agudo, margen dentado-aserrado, pinnadas, nervadura prominente en el envés, pubescencia, peciolo de 1-3 cm en la parte superior de la planta y 5-7 cm en las ramificaciones inferiores, las raíces penetran el suelo hasta 20 cm de profundidad (Di Sapio *et al.* 2012).

Las flores brotan de las espigas axilares o terminales en conjunto protegidos por brácteas con largas extremidades puntiagudas, el pedúnculo es corto y el cáliz persistente en forma de tubo abultado estriado, la corola es tubular de color azul intenso al blanco con cuatro estambres, dos de los cuales son más grandes y estériles (Di Sapio *et al.* 2012). Presenta estigma bifido, con ovario discoideo, algunas características como los estambres, el color, la forma de la flor y la presencia del disco nectarífero presumen que la chía es una planta alogámica (transfieren polen de la antera de la flor de la planta al estigma de la flor de una planta genéticamente diferente), la polinización es de tipo entomófila (Coates y Ayerza 2006).

Presenta una semilla de forma horizontal con su contorno oblondo, con el extremo radicular angosto y el extremo cotiledonal ancho, superficie opaca, reticulada y de color amarillo-ocráceo (Di Sapio *et al.* 2012). Según la variedad su color puede ser blanco o negro grisáceo con manchas irregulares semejándose a un color rojo oscuro, la polinización es entomófila (Hernández *et al.* 2008).

3. Factores agronómicos para chía (*Salvia hispánica* L.)

a) temperatura: Su temperatura óptima es de 18 a 26°C, requiere abundante luminosidad, pero no por encima de los 33°C porque demasiada temperatura afectaría la polinización por sequedad del estigma, por otro lado, requiere una temperatura mínima de 11°C, no requiere y es perjudicial para su desarrollo crecer bajo la sombra (Miranda 2012).

b) luz y precipitación: Presenta fotoperiodo durante el día, el crecimiento dependerá mucho de la latitud en la cual se realice el cultivo, la chía (*Salvia hispánica* L.) está incluido dentro de las plantas de día corto en respuesta a los diversos cambios que se presenten en la altitud y latitud (Silva 2012). Se requiere al menos presencia de una lluvia por semana o un promedio de 400 a 1 100 mm

por año, un suelo óptimo para germinar la semilla se dará con poca humedad, sin embargo, cuando la planta está establecida aumenta las cantidades de agua para su correcto funcionamiento (Silva 2012).

c) Humedad relativa y viento: Para el correcto desarrollo y crecimiento del cultivo de la chía (*Salvia hispánica* L.) durante sus fases fenológicas se sugiere una humedad relativa comprendida entre 40 y 70% (Coates y Ayerza 2006). Se aconseja cultivar con condiciones climáticas de velocidad de viento bajos de 20 km/hr debido a que el cultivo es frágil a vientos fuertes y se doblan o se rompen con facilidad (Miranda 2012).

d) Suelos: Se sugiere suelos arenosos a limosos con buen drenaje no excesiva humedad, la fertilización moderada, pocas malezas. Los suelos para la chía (*Salvia hispánica* L.) son tolerables a la sequía y acidez, como en cualquier cultivo el exceso de humedad provocara diversas enfermedades como la pudrición del tallo provocados por bacterias y hongos (Miranda 2012).

4. Etapas fenológicas

La fenología o fases fenológicas son manifestaciones fisiológicas y biológicas por el cual toda planta presenta, estos cambios o transformaciones de algunos órganos del cultivo es posible visualizarlo conforme a su avanza su desarrollo y crecimiento (Yzarra y López 2011). La delimitación de las etapas fenológicas se presenta en sucesos continuamente con características propias, en cada periodo se presentan etapas críticas debido a la sensibilidad de un evento meteorológico, el inicio y final de cada fase o etapa ayuda a visualizar la rapidez de desarrollo de un cultivo. Las etapas fenológicas para la mayoría de especies son: la emergencia, floración, fructificación y la maduración, todas estas etapas forman parte de un ciclo de vida para la planta (Yzarra y López 2011).

2.3. ANTECEDENTES

Roncalla (2018) realizó una investigación con el objetivo de determinar los coeficientes de cultivo (K_c) del cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*) en los meses de mayo a octubre en la Irrigación Majes con el método de lisímetros de drenaje libre 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 E_{To} determinados por el método de la FAO Penman Monteith, asimismo se instaló el tanque de evaporación clase "A", también para determinar la evapotranspiración de referencia. Los resultados del trabajo de investigación fue que se determinó cinco etapas fenológicas en el cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*) 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 de cultivo: 0.68; 0.81; 0.97; 1.20 y 0.83 respectivamente.

Tarazona (2017) realizó una investigación con el objetivo de obtener los coeficientes de uso consuntivo (K_c) del agua para los diferentes estadios fenológicos del cultivo de quinua a través de la relación E_{Tc}/E_{To} , mediante el método lisimétrico. Ejecuto el análisis y cálculo para la evapotranspiración potencial (E_{To}) histórica para un promedio de diez años (2007- 2016) utilizando las fórmulas empíricas, los resultados de la evapotranspiración del cultivo de quinua varía en función de la fase de desarrollo de las plantas obteniéndose un resultado de 900.366 mm de lámina hídrica por el método lisimétrico, los valores del coeficiente de uso consuntivo (K_c) varían en el rango de 0.54 a 1.16, siendo las necesidades mínimas en la fase inicial ($K_c = 0.54$) alcanzando su máximo en la fase de media ($K_c = 1.16$) para posteriormente descender en la fase de maduración ($K_c = 0.70$).

Ortiz y Chile (2020) en su trabajo tuvieron el objetivo de evaluar nueve métodos para determinar la evapotranspiración de referencia en el Valle de Tumbaco en Ecuador con el fin de optimizar el uso del agua de riego. Se utilizó información climatológica mensual de la estación La Tola para determinar ETo. Los métodos analizados fueron: FAO Penman Monteith, tanque evaporímetro, Thornthwaite, Hargreaves, Jensen-Haise, Turc y FAO Radiación. Se calcularon los siguientes parámetros inferenciales para el análisis de los resultados, tomando como base FAO Penman Monteith, el error medio absoluto, coeficiente de determinación, coeficiente de concordancia y coeficiente de confiabilidad. Los resultados principales fueron: 1) el método FAO Radiación presentó una precisión buena; 2) los métodos del tanque evaporímetro, Thornthwaite modificado, Hargreaves y Turc proporcionaron índices inferenciales bajos y los restantes índices medios. Se concluye que el método que debe utilizarse para determinar ETo mensual para las condiciones climáticas del Valle de Tumbaco es FAO Radiación.

Jaime (2014) ejecuto su investigación con el objetivo de hacer un estudio de la evapotranspiración potencial del cultivo de haba (*Vicia faba L.*) y determinar la tasa de ETp para las condiciones locales de Acobamba-Huancavelica y comparar las exigencias de agua para establecer las demandas de riego en periodos de mayor necesidad. Utilizó el DEBCR con tres tratamientos y tres repeticiones empleando lisímetros para cada uno de ellos y para disminuir el efecto borde se sembró plantas de haba alrededor del área experimental, los resultados indican que la tasa de la evapotranspiración potencial es para la fase inicial, 107 291 m³/ha; fase de desarrollo, 252 604 m³/ha; fase de fructificación, 307 552 m³/ha y la fase de madurez, 149 479 m³/ha. Los coeficientes de cultivo calculados para la zona de Acobamba son para la fase inicial Kc = 0.363; fase de desarrollo Kc= 0.735; fase de fructificación Kc= 0.844 y la fase de madurez Kc= 0.443.

2.4. HIPÓTESIS

Hipótesis general

- ❖ Se podrá determinar la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chíá (*Salvia hispánica* L.) durante su periodo de desarrollo en el CIFO-UNHEVAL.

Hipótesis específico

- ❖ Es probable obtener la evapotranspiración de referencia del gras con la herramienta lisimétrica.
- ❖ Es probable determinar la evapotranspiración potencial a partir de diferentes ecuaciones empíricas con el uso de parámetros climáticos para la naturaleza propia del lugar.
- ❖ Es probable comparar los datos de la evapotranspiración de referencia utilizando el lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase "A" y ecuaciones empíricas.

2.5. VARIABLES

Tabla N° 01. Variables y operacionalización de las variables de investigación.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente	Velocidad de viento Horas de sol Precipitación Temperatura Radiación solar Humedad relativa	m/s horas mm C° MJ/m ² %
Variable dependiente	Evapotranspiración de Cultivo (ETc) Coeficiente de cultivo (Kc) Cultivo de Chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) variedad blanca y variedad negra Evapotranspiración de referencia (ETo)	mm/día adimensional Fase inicial. Fase desarrollo Fase fructificación Fase maduración gras ecuaciones empíricas
Variable interviniente	Condiciones agroecológicas	suelo agua

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

Este trabajo de investigación se realizó y ejecuto en el centro de Investigación Frutícola Olerícola (CIFO) de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Facultad de Ciencia Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, ubicado en el margen izquierdo del rio Huallaga, Pillco Marca, Huánuco.

Posición geográfica:

Latitud Sur : 09°58' 12"
Longitud Oeste : 76°15' 08"
Altitud : 1947 msnm

Ubicación política:

Región : Huánuco
Provincia : Huánuco
Distrito : Pillco Marca
Localidad : Cayhuayna

Condiciones agroecológicas

Según el Mapa Ecológico de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), la parcela de estudio donde realice mi trabajo de investigación posee una zona de vida monte espinoso-Pre montano Tropical (M.E. PMT) con una temperatura media anual entre 19 a 25 °C, la evapotranspiración anual de 2 a 4 mm, una precipitación anual de 250 a 500 mm, humedad relativa entre 60 a 70%, el clima es templado cálido, el suelo que predomina en el centro de Investigación Frutícola Olerícola es franco arenoso.

3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación

Aplicada, porque se aplicó las teorías científicas sobre la evapotranspiración y coeficiente de cultivo, las fórmulas directas e indirectas, los datos agroclimáticos del SENAMHI, Pillco Marca, Huánuco y el cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*).

Nivel de investigación

Experimental, porque se manipulo las variables independientes (precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa, insolación, velocidad de viento) y se evaluó el efecto en la variable dependiente la evapotranspiración de cultivo (ETc), coeficiente de cultivo, chía (*Salvia hispánica L.*) y el gras.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS

Población: Estuvo conformado por todas las plantas de cultivo de chía y el cultivo de referencia (gras) sembradas en las condiciones agroclimáticas del CIFO.

Muestra: Constituido por 9 unidades experimentales con instalaciones de lisímetros, 6 para el cultivo de chía y 3 para el cultivo de referencia (gras) distribuidos en 30 y 45 plantas por tratamiento respectivamente, cada área neta experimental (lisímetro) con 10 plantas de chía ó 15 plantas de gras.

Tipo de muestreo: Fue probabilístico en su forma de Muestreo Aleatorio Simple (MAS) porque cada planta de chía tuvo la misma probabilidad de formar parte de los lisímetros.

Unidad de Análisis: Estuvo conformado por la chía (*Salvia hispánica L.*) y el gras.

3.4 FACTORES Y TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

En el presente trabajo de investigación se estudió la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chía (*Salvia hispánica L.*) y la ETo del cultivo de referencia (gras). Se construyó nueve lisímetros, constituido por 3 tratamientos y 3 bloques.

Cuadro 03. Tratamiento en estudio.

CLAVE	TRATAMIENTO	BLOQUE	FACTOR DE EVALUACIÓN
T0	gras	I	ETo
T0	gras	I	ETo
T0	gras	I	ETo
T1	chía var. blanca	II	Fenología, ETc y Kc
T1	chía var. blanca	II	Fenología, ETc y Kc
T1	chía var. blanca	II	Fenología, ETc y Kc
T2	chía var. negra	III	Fenología, ETc y Kc
T2	chía var. negra	III	Fenología, ETc y Kc
T2	chía var. negra	III	Fenología, ETc y Kc

Fuente: Elaboración propia.

3.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS

3.5.1. Diseño investigación y esquema.

El tipo de diseño fue experimental en su forma Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones, tres tratamientos y nueve unidades experimentales.

Tabla N° 02. Esquema de análisis de varianza para el diseño (DBCA).

Fuente de Varianza (F.V)	Grados de libertad (gl)	
Bloques o repeticiones	(r-1)	2
Tratamientos	(t-1)	2
Error experimental	(r-1) (t-1)	4
Total	(tr-1)	8

Siendo el modelo aditivo lineal es el siguiente:

Donde:

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Y_{ij} = Observación o variable de respuesta

U = Media general.

T_i = Efecto del i-esimo tratamiento.

B_j = Efecto del i-esimo bloque.

Eij = Error experimental.

Análisis estadístico.

Se utilizó la técnica estadística de Análisis de Varianza (ANDEVA) o prueba de Fisher (F) para determinar la significación entre bloques y tratamientos a un margen de error del 0.01 y 0.05, mientras que para la comparación de los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan un margen de error del 0.01 y 0.05.

3.5.2. Descripción del campo experimental.

a) Características del campo experimental.

Ancho	: 7.50 m
Largo	: 9.50 m
Área experimental	: 71.25 m ²
Área total de camino	: 54.24 m ²
Área del lisímetro	: 0.5181 m ²
Área total experimental (9 x 0.5181)	: 5 m ²

b) Bloques y Tratamientos

Nº de bloques	: 3
Largo	: 9.50 m
Ancho	: 2.4 m
Área del bloque	: 22.8 m ²
Nº de tratamientos	: 3
Ancho	: 0.30 m
Largo	: 0.30 m
Área del tratamiento	: 0.09 m ²

d) Surcos

Número de surcos por tratamiento	: 2
Distanciamiento entre surcos	: 0.60 m
Distanciamiento entre plantas	: Voleo
Número de plantas por unidad experimental	: 15

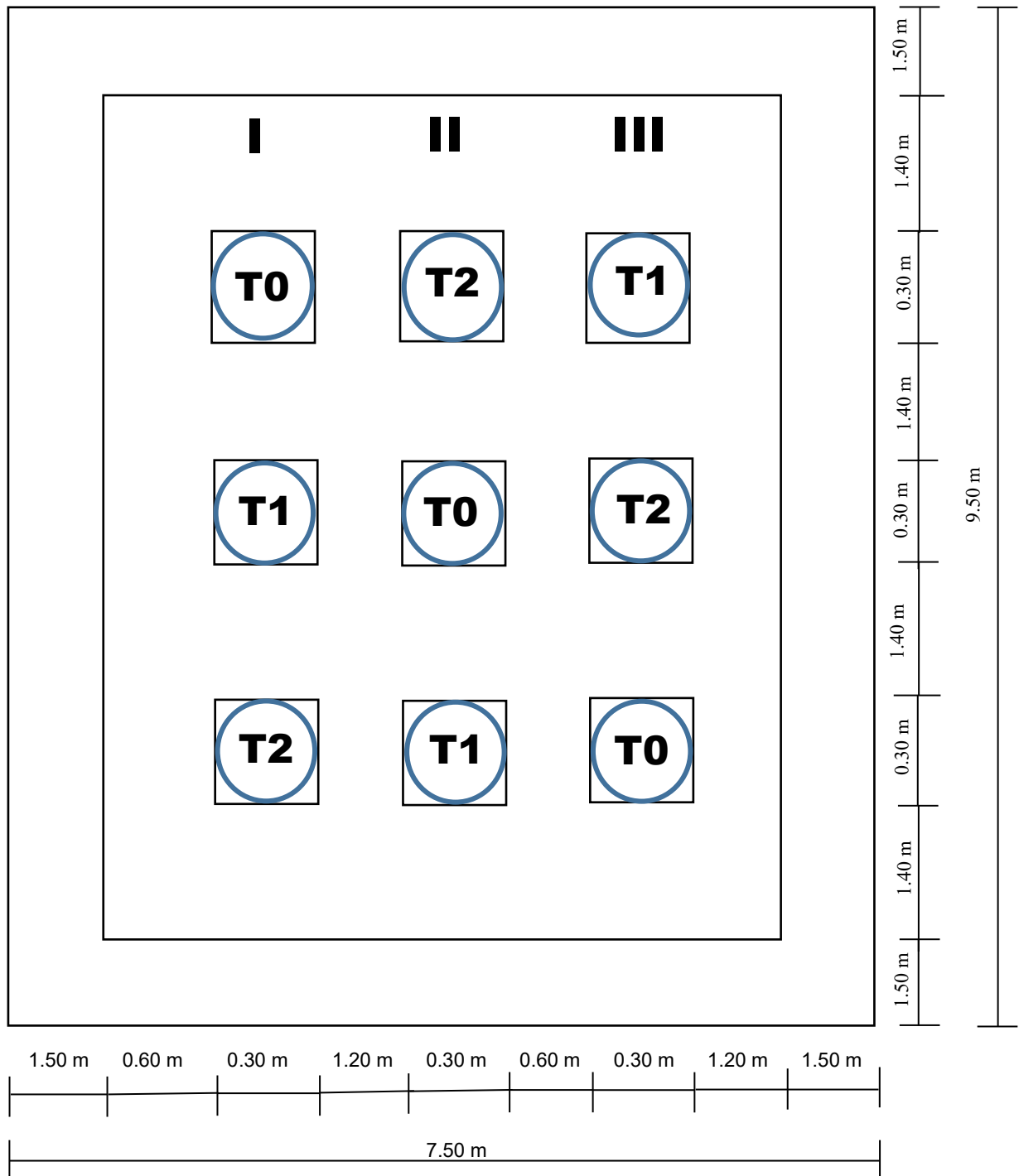


Figura 08. Croquis del área de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Datos registrados

Número de días en etapa inicial.

Según la FAO (2006), recomienda que la etapa inicial comprende desde la siembra hasta el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de su desarrollo. Se contabilizó los días transcurridos desde la siembra hasta el final de la etapa inicial.

Número de días en el desarrollo de cultivo.

Se contabilizó los días transcurridos desde el final de la etapa inicial hasta el final de la etapa de desarrollo del cultivo. Según la FAO (2006) recomienda que la etapa de desarrollo del cultivo comprende desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta alcanzar la cobertura efectiva completa.

Número de días de la maduración.

Se contabilizó los días transcurridos desde el final de la etapa de desarrollo hasta el final de la etapa de maduración. Según la FAO (2006), recomienda que la etapa de maduración comprende desde la cobertura vegetal hasta el comienzo de la madurez (caídas de hojas, coloración marrón en el fruto).

Número de días en la etapa final (cosecha).

Se observó los días transcurridos desde el final de la etapa de maduración hasta el final de la etapa de cosecha. Según la FAO (2006), recomienda que la etapa final comprende desde el comienzo de la madurez del fruto hasta el momento de la cosecha.

Evaluaciones de altura de planta y número de hojas para chíá (*Salvia hispánica* L.)

Se evaluaron 5 plantas por cada lisímetro utilizando wincha se midieron altura de planta y se contabilizaron las hojas del cultivo (unidades), las evaluaciones se realizaban cada semana.

Registro de la cantidad de agua aplicado y percolada

La cantidad de agua aplicado y la cantidad de agua percolado fue registrado en forma frecuente a horas 7:00 am, antes de aplicar la lámina de agua se realizaba la lectura correspondiente del agua percolada y se procedía a poner el recipiente de volumen conocido en cero.

Condiciones climatológicas

Los datos meteorológicos fueron brindados por el SENAMHI, Pillco Marca, Huánuco, Perú; para el periodo 2010 - 2020. (Anexo C)

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Para determinar la evapotranspiración del cultivo, se calculó con la diferencia del volumen de agua aplicado y drenado a la que se dividió entre el área del lisímetro durante el periodo de desarrollo para chía (*Salvia hispánica* L.)

Coefficiente de cultivo (Kc)

La determinación del Kc se realizó utilizando la metodología propuesta por la FAO, donde menciona que se realiza un cociente entre ETc y ETo, se utiliza todos los datos de evapotranspiración del cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.) y la evapotranspiración de referencia del gras para determinar el Kc para un periodo de inicio hasta el final de desarrollo del cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.).

Evapotranspiración de referencia (ETo)

Fue calculado por tres métodos; cultivo de referencia (gras), el tanque evaporímetro clase "A" y las 8 ecuaciones empíricas.

Análisis de suelo.

Los datos fueron analizados y brindados por el laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). Anexo E.

Capacidad de campo.

Fue calculado siguiendo la ecuación; peso de suelo húmedo (Psh) menos el peso de suelo seco (Pss) dividido entre peso de suelo seco (Pss) para finalmente llevarlo a % se multiplico por 100.

Punto de marchites permanente

Se recurrió a la aplicación de la fórmula de Briggs.

3.5.3. Técnicas e instrumentos y procesamiento de la información.

➤ Técnicas

Observación

Esta técnica permitió obtener datos fundamentales del proyecto, realizar observaciones y análisis durante todo el proceso de investigación.

Análisis de contenido

Los estudios y el análisis se realizaron de manera objetiva y sistemática obteniendo información de los libros, tesis, boletines, revistas, internet, etc., que sirvieron para elaborar el marco teórico de la investigación.

➤ Instrumento:

Libreta de campo

Se utilizó para registrar los datos de campo.

Fichas

De registro o localización (fichas bibliográficas y hemerográfica) y de documentación e investigación (fichas textuales o de transcripción, resumen y comentario), se permitió recolectar información bibliográfica de diferentes medios de información para elaborar la literatura citada.

➤ Procesamiento de la información

Los datos obtenidos fueron ordenados y procesados mediante el empleo de la computadora de acuerdo al diseño de la investigación propuesto.

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia de manera empírica se utilizó 8 ecuaciones, también se analizó muestras de suelo para CC y PMP. La presentación de los resultados está mediante cuadros, figuras y barras para lo cual se utilizó el programa Excel, Infostat y CROPWAT. Finalmente, la prueba de hipótesis fue: hipótesis nula (H_0); La ET de los cultivos en estudio son iguales, por otro lado, la hipótesis alterna (H_a); La ET de los cultivos en estudio son diferentes.

3.6. MATERIALES Y EQUIPOS

Materiales

- a) Lisímetro
 - manguera de $\varnothing = \frac{3}{4}$ PVC
 - grifos o caños
 - pegamentos PVC.
 - envase medidor
 - balde de 28 L
 - teflón
 - datos de la estación meteorológica de Pillco Marca - Huánuco
 - vaso graduado
- b) Material biológico
 - semillas de chíca (*Salvia hispánica* L.)
var. blanca y var. negra
 - esquejes de gras
- c) Material de escritorio.
 - lapiceros.
 - hojas de papel bond.
 - wincha, reglas.
 - calculadora.
 - libreta de campo.

Equipos

- balanza analítica.
 - cámara digital
 - laptop
 - pintura anticorrosiva
 - tijeras de podar
- herramientas:
- pico, pala, rafia, estacas.
- insumos:
- fertilizantes

3.7. CONDUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

a) Instalación del experimento

La primera labor fue modificar la estructura del suelo y obtener condiciones favorables para la siembra, emergencia y desarrollo de las plantas, al mismo tiempo permitir una distribución uniforme del agua, semilla, fertilizantes y los lisímetros. Esta labor se realizó con la ayuda de un tractor agrícola. Una vez delimitada la parcela de trabajo se inició con la preparación del terreno para la excavación con pico y pala considerando un largo de 10 m y un ancho de 8 m y una profundidad de 0.5 m.

b) Construcción del lisímetro

Se construyeron 9 lisímetros utilizando baldes de plástico de 28 litros (altura de 40 cm, diámetro 30 cm y un área total de 0.5181 m²) se colocó grifos en la parte basal con la ayuda del pegamento y teflón, los recipientes medidores se le cubría con ligas y bolsas para proteger el agua recolectado.

c) Llenado de los lisímetros

Los lisímetros (baldes) fueron llenados con 5 cm de grava, 5 cm de arena y finalmente 27 cm de tierra agrícola, estrictamente en ese orden, dejando 3 cm para que no escurra el agua, los lisímetros fueron saturados de agua una semana antes de la siembra con fecha 29 de junio para posteriormente ser acondicionados dentro de la parcela en estudio como muestra los planos del experimento.

d) Calibración de lisímetros

Se fundamento en la aplicación de un volumen de agua equivalente para todos los lisímetros para ello se utilizó la evaporación registrada para el mes de julio en el tanque clase "A" (evaporación = 5.6 mm * 4 veces = 22.4 mm; como el lisímetro, tiene un área de 0.5181 m², se aplicó una lámina de agua de 12 mm equivalente a un volumen de 12 litros.

e) Estación meteorológica

La estación meteorológica de Huánuco (Cayhuayna), tipo convencional SENAMHI, se encuentra ubicada en la Facultad de Ciencia Agrarias de la “Universidad Nacional Hermilio Valdizan”, tiene la siguiente ubicación geográfica:

Latitud Sur : 09°58´ 12”
Longitud Oeste : 76°15´ 08”
Altitud : 1947 msnm

La estación indicada incorpora y brinda los datos climatológicos de los equipos como el higrómetro, pluviómetro, termómetro de máximas y mínimas y el tanque de evaporación clase “A”. La estación meteorológica nos proporcionó datos climáticos durante el periodo 2010-2020 que están reportados en el anexo c. Los datos que nos brindaron fueron lo siguiente:

- Temperaturas máxima mensuales (°C)
- Temperaturas mínimas mensuales (°C)
- Humedad relativa media mensual (%)
- Hora de sol total mensual
- Precipitación total mensual (mm)
- Velocidad de viento (m/s)
- Evaporación media mensual (mm)

Cuadro 04. Datos meteorológicos para el período (2010 – 2020).

meses Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación Total Mensual (mm)	64.8	69.3	85.2	39.2	14.3	6.0	4.4	5.5	12.1	47.7	50.0	92.7
T° MAXIMA Mensual (°C)	29.6	29.3	29.4	29.7	29.8	29.2	29.0	29.6	30.0	30.2	30.6	29.3
T° MINIMA Mensual (°C)	12.9	13.6	13.2	11.7	11.0	9.3	8.5	9.1	10.9	12.5	13.2	12.9
Humedad Relativa Media Mensual (%)	68	70	69	67	64	62	61	59	59	63	64	68
Velocidad de Viento Media Mensual(m/s)	3.9	3.8	3.6	3.4	3.9	4.3	4.5	4.6	4.5	4.1	4.0	3.7
Horas de insolación	4.07	3.75	4.16	5.76	6.78	7.36	7.79	7.56	6.26	5.12	4.87	4.10
Horas de sol Total Mensual	126.1	106.0	129.1	171.1	210.2	220.7	241.5	234.3	187.8	158.6	146.2	127.2
Evaporación (mm/ día)	4.7	4.8	4.6	4.7	5.3	5.2	5.5	5.7	5.4	5.2	4.9	4.2

Fuente: SENAMHI

Cuadro 05. Datos meteorológicos periodo de estudio (julio 2020 – noviembre 2020).

meses Parámetros	Precipitación Total Mensual (mm)	T° MAXIMA Mensual (°C)	T° MINIMA Mensual (°C)	Humedad Relativa Media Mensual (%)	Velocidad de Viento Media Mensual(m/s)	Horas de insolación	Horas de sol Total Mensual	Evaporación Media Mensual (mm)
julio	5.9	29.7	10.0	61	4.9	7.59	235.4	5.6
agosto	0.6	31.4	8.6	58	5.4	7.70	238.8	6.3
setiembre	4.8	30.6	12.1	61	5.2	4.42	132.5	5.8
octubre	24.3	32.5	10.9	61	5.1	4.90	152.0	5.8
noviembre	15.3	32.6	13.5	60	5.2	5.27	158.2	6.3

Fuente: SENAMHI

f) Estimación con métodos directos

1. Mediante Lisímetros

a) Evapotranspiración potencial o de referencia (gras).

Con los lisímetros en estudio, se registró por día el volumen de agua aplicado y drenado, cuya diferencia es dividida por el área del lisímetro que expresara la evapotranspiración potencial en mm/día/mes.

b) Evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Desde la siembra hasta la cosecha se obtuvieron datos del día de la cantidad de agua aplicado (AA) y el agua drenado (AD), con los volúmenes de agua percolado se sacaron un promedio de los 6 lisímetros en litros para luego ser dividido por el área del lisímetro (0.5181m²) expresado en mm/día/mes/periodo de desarrollo.

c) Coeficiente de cultivo (K_c).

Se utilizó la ecuación 01, expresado en día, mes, periodo de desarrollo para chía (*Salvia hispánica* L.) el K_c es a dimensional, para determinar el K_c se utilizó la ET_c de chía, la ET_o del gras, las evaluaciones realizadas en el campo experimental y la fecha desde la siembra hasta la cosecha.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_p} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 01}$$

2. Mediante el tanque evaporímetro clase “A”

Para realizar el análisis de la evapotranspiración potencial mediante el tanque evaporímetro clase “A”, se recurrió a los datos brindados por el SENAMHI, cuya fórmula universal que utilizan es: $ET_o \text{ (mm/día)} = E_o \text{ (mm/día)} / K_p$.

g) Estimación con métodos indirectos

Se determinó con los datos meteorológicos que me brindo el SENAMHI, Pillco Marca, Huánuco, para el periodo 2010 – 2020. Los datos meteorológicos me ayudo a poder calcular la ET_o mediante las fórmulas o ecuaciones empíricas utilizadas en esta investigación que son: Thornthwaite, Jensen-Haise, Blaney-Criddle modificado por la FAO, Turc, FAO Radiación, Hargreaves temperatura y Hargreaves radiación. Además, se utilizó el programa Microsoft Office Excel 2019, el Software CROPWAT 8.0 y las constantes reportados en el Anexo B.

h) Conducción de los cultivos en el experimento

1. Cultivo de la chía (*Salvia hispánica L.*)

➤ Acondicionamiento del terreno

Se estructuro el suelo de manera que dentro y fuera del lisímetro tengan la misma característica edáfica, se realizó el acondicionamiento edáfico dos semanas antes de la siembra. Se utilizo las herramientas como el pico para remover la tierra y hacer los surcos, un rastrillo para eliminar terrones para lograr una buena nivelación.

➤ Siembra.

Una vez terminado de acondicionar el suelo se prosiguió a ponerlo en condiciones de capacidad de campo dentro y fuera de los lisímetros, la siembra se realizó el 6 de julio del 2020 y la cosecha el 6 de noviembre del 2020, luego se realizó un diagnóstico de riego en los 6 lisímetros destinados para chía y los 3 lisímetro para el gras. Se sembró al voleo la chía y el gras mediante esquejes, al momento del tapado se verifico que las semillas estén a una profundidad no mayor de 2 cm. Según Jaramillo (2013) manifiesta que en un metro lineal deben distribuirse de 20 a 25 semillas, para una hectárea serían

suficientes 2 kg de semillas. A chorro continuo con un distanciamiento de 0.60 m entre surco y con una profundidad aproximadamente de 2 cm.

➤ Labores culturales.

El cultivo de chíá no presento problemas graves de plagas a excepción de arañas y babosas que fueron controladas con el control biológico (enemigos naturales) y el control cultural, el deshierbo se realizó cada semana para evitar que compitan por nutrientes, los muestreos aleatorios para observar problemas se realizaban cada día. Se utilizo un fertilizante compuesto (NPK) la primera fertilización se realizó con a 15 días después de la emergencia y la segunda fertilización fue a los 45 días.

➤ Capacidad de campo (CC)

Se determinó aplicando el método gravimétrico, para ello se utilizó los suelos a una profundidad de 25 cm destinados para los lisímetros, se pesó los suelos húmedos, se llevó a la estufa a 24; 48; 72 y 96 horas, teniendo 3 muestras por cada tiempo y haciendo un total de 12 muestras, para finalmente utilizar la formula general de la CC, la CC para el suelo dentro y fuera de los lisímetros fueron la misma. 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

➤ Punto de marchitez permanente (PMP)

Se utilizo la fórmula de Briggs, que incorpora en su fórmula los porcentajes de arcilla (Ac), limo (L) y arena (Ar) incluidos en el suelo, cuya formula es:

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

Finalmente se calculó el AFA y ADT con los valores numéricos de CC y PMP.

- Cuantificación de la capacidad de agua consumida por la chíá en m³/ha

Se determino el volumen de agua en base a la evapotranspiración potencial, resuelto por el método del lisímetro y su valor del coeficiente de cultivo para las condiciones del CIFO-UNHEVAL, que fue calculado en el presente trabajo de investigación, considerando la siguiente fórmula:

$$Vol(m3/ha) = \frac{ETo * Kc * 10}{Ea} \dots\dots \text{Ecuación 02}$$

Donde:

Vol. = Volumen de agua (m³/ha)

Kc = Coeficiente de cultivo (a dimensional)

Ea = Eficiencia de aplicación de agua al suelo, depende del sistema de riego (gravitacional 0.65) esto significa que se debe regar con 35 % más de agua.

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

2. Cultivo de referencia (gras)

Se empleo tres lisímetros para el sembrío del cultivo de gras, una vez puesto a capacidad de campo se sembró mediante esquejes, se recortó y se mantuvo a una altura equilibrada constante de 9 a 12 cm, el cultivo del gras no presento problemas fitosanitarios.

i) Aplicación de riego

El sistema de riego que se manejo fue el riego por escorrentía, para medir el caudal se utilizó el método volumétrico (Gómez *et al.* 2010). Se planifico y ejecuto en campo riegos fijos con el objetivo de evitar que la humedad se desequilibre para este caso fue de 3 veces a la semana de acuerdo a la variación en la capacidad de campo y el punto de marchites permanente (0.10 bares) para un suelo de textura gruesa (arenoso).

j) Evapotranspiración potencial por el método FAO Penman Monteith

Para calcular la evapotranspiración potencial por el método de la FAO Penman Monteith. Se utilizo la ecuación actualizada que fue diseñada en el software de la FAO

llamado CROPWAT, el software proporciona de manera inmediata los datos de ETp bajo las condiciones climáticas generales, se trabajó con todas las variables climatológicas necesarias para la aplicación de la ecuación de Penman Monteih de la Estación Agroclimática Automática del SENAMHI, Pillco Marca, Huánuco; que se ubicada a unos 20 m aproximadamente del área experimental.

k) Evaluaciones del desarrollo para chía (*Salvia hispánica L.*)

Se evaluaron 5 plantas de cada lisímetro utilizando una wincha, se midieron la altura de plantas (cm) y se contabilizaron el número de hoja por planta (unidades).

l) Determinación de etapas fenológicas para chía (*Salvia hispánica L.*)

Para el diagnóstico de las etapas fenológicas de la chía (*Salvia hispánica L.*) se determinó y se visualizó en base a las evaluaciones semanales de desarrollo fisiológico del cultivo y la variación de la evapotranspiración diaria del cultivo, se consideró que se encuentra en la etapa fenológica cuando el 50% de las plantas presentan las características para cada fase.

Cuadro 06. Etapas fenológicas y sus características para chía.

Etapas fenológicas del cultivo de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>)		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 encuentren abiertas
IV	madurez fisiológica	cuando el grano formado es presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración
V	madures de cosecha	amarillamiento de la planta

Fuente: Roncalla (2018)

m) Cálculo del error relativo (%) y desviación estándar

Según Tarazona (2017) el error relativo se calcula con los datos conseguidos de la ETo del gras-lisímetro y la ETo de las ecuaciones empíricas. El error relativo es el cociente entre la ETo lisimétrica y la ETp ecuaciones con el objetivo de conseguir la sobreestimación y subestimación respecto a la evapotranspiración de referencia calculado directamente con el lisímetro, el error relativo puede ser multiplicado por 100 para llevarlo a porcentaje. El error relativo se expresa en la ecuación 04.

$$ERROR RELATIVO(\%) = \frac{ETo Lisimetro - ETp Ecuaciones}{ETo Lisimetro} \dots Ecuación 04$$

Las ecuaciones estudiadas fueron utilizadas para poder comparar la evapotranspiración de referencia y observar la que más se ajusta a las condiciones del CIFO-UNHEVAL, la que menor error relativo tenga será la que más se ajuste a la ETo del lisímetro-gras

IV. RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

4.1.1. Capacidad de campo "CC".

Cuadro 07: Resultado del muestreo de suelo para determinar el % CC.

día de muestreo	hora	código de muestra	Psh (gr)	Pss (gr)	% Humedad	Promedio
1	24 Hrs.	A-1	217.00	188.00	15.43	15.95
		A-2	218.01	188.03	15.94	
		A-3	219.03	188.02	16.49	
2	48 Hrs.	A-1	213.00	189.02	12.69	14.98
		A-2	220.01	189.00	16.41	
		A-3	219.02	189.04	15.86	
3	72 Hrs.	A-1	215.02	189.00	13.77	14.93
		A-2	218.03	187.00	16.59	
		A-3	214.02	187.04	14.42	
4	96 Hrs.	A-1	217.00	190.00	14.21	14.91
		A-2	218.00	190.00	14.74	
		A-3	220.00	190.00	15.79	
Fuente: Elaboración propia					% Capacidad de Campo	15

En el cuadro 07, se muestran los porcentajes de humedad para el suelo franco arenoso de 40 cm de profundidad el valor que se mantiene constante es 14.93 % y 14.91 %. La CC para el suelo analizado es de 15 %. El rango normal del %CC en un suelo franco arenoso es de 10 % – 18 % (Israelsen 1985).

Figura 09. Comportamiento del % CC en suelo para lisímetros.



Fuente: Elaboración propia.

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:

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

$$CC = 0.48(18) + 0.162(19) + 0.023(63) + 2.62$$

$$CC = 15.7 \%$$

4.1.2. Punto de marchitez permanente "PMP"

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

$$Pm = 0.302(18) + 0.102(19) + 0.0147(63)$$

$$Pm = 8.30 \%$$

a) Agua Disponible Total (ADT)

$$ADT = 1000 * (CC - PMP) * Z$$

$$ADT = 1000 * (0.15 - 0.08) * 0.20$$

$$ADT = 1000 * 0.07 * 0.20$$

$$ADT = 14 \text{ mm}$$

b) Agua fácilmente aprovechable (AFA)

$$AFA = f * ADT$$

$$AFA = 0.50 * 14$$

$$AFA = 7 \text{ mm}$$

4.2. DESARROLLO DE LOS CULTIVOS.

4.2.1. Altura de planta de la chía (*Salvia hispánica L.*)

Se obtuvo un promedio final 25.49 cm de altura durante las 18 semanas en los 6 lisímetros destinado para chía, el promedio y los demás datos están en el Anexo A.

Cuando el resultado del ANVA es significativo se procede a realizar la Prueba de LSD Fischer con una corrección de los p-valores por el método de Bonferroni para controlar el error Tipo I, donde las medias que registren una letra común son iguales estadísticamente. En la figura 11, se observa que en el bloque I está la mínima altura y la máxima en el bloque II en base a su promedio general total. Los resultados del análisis de varianza para altura de planta, indicados en el cuadro 08, muestran que el Fc es menor que la Ft para ambos bloques y tratamientos tanto al 5% y 1% esto indica que no existen diferencias, son significativos.

Cuadro 08. Análisis de varianza para altura de planta.

Fuente de Variabilidad	gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	22.14	11.7	4.44	19.0	99.0
Tratamientos	1	0.00	0.00	0.00	18.5	98.5
Error Exp	2	4.99	2.50			
Total	5	27.13				

CV = 6.20 %

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de varianza del cuadro 09, indica que no son significativamente diferentes los tratamientos, presentan similitud en cuanto al promedio de altura de planta; el coeficiente de variación es de 6.20% que dan fiabilidad a los resultados, la figura 11 muestra que el bloque II tuvo mayor promedio de altura que los bloques I y III.

Cuadro 09. Prueba de Duncan para altura de planta.

Var.	Tratamientos	Promedio	Nivel de significación	
			5%	1%
1	chía Var. blanca	25.47	A	A
2	chía Var. negra	25.47	A	A

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Evapotranspiración para los tratamientos en estudio

Realizando la prueba de Duncan para la evapotranspiración de los tratamientos T0, T1 y T2 nos muestra que, en los tratamientos existe diferencia estadística significativa en el origen de las variaciones que está en análisis, el tratamiento T0 tiene diferencia significativa a los tratamientos T1 y T2. Por otro lado, no existe diferencia significativa entre los bloques y la única fuente de variabilidad proviene de los tratamientos. El coeficiente de variación es 0.33 que dan fiabilidad a los resultados.

Cuadro 10. Análisis de varianza para Evapotranspiración

Fuente de Variabilidad	gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Bloques	2	0.000460	0.000230	1.51	4.45	8.64
Tratamientos	2	0.000690	0.00035	10.15	4.45	8.64
Error	4	0.000910	0.00046			
Total	8					

Fuente: Elaboración propia.

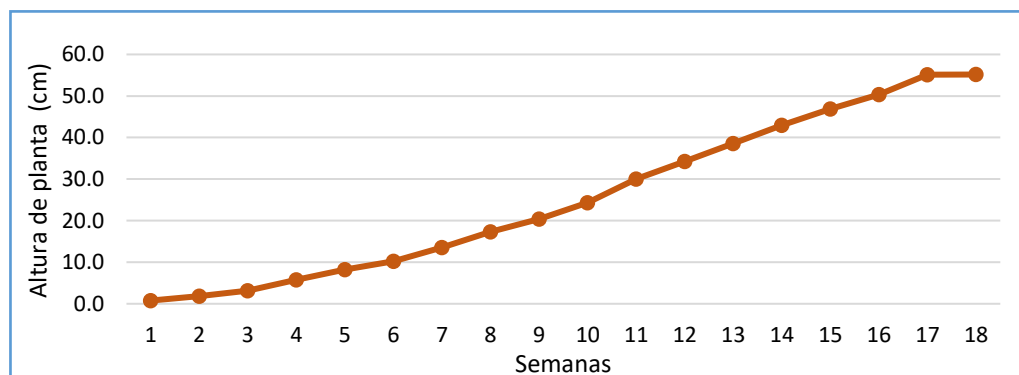
El análisis de varianza del cuadro 09, indica que al 5% existe diferencia significativa en cuanto al tratamiento T0 y los tratamientos T1 y T2 por otro lado no existe diferencias significativas al 1% entre los tratamientos.

Cuadro 11. Prueba de Duncan para Evapotranspiración

Tratamientos	Promedio	Nivel de significacion	
		5%	1%
T1	4.55	B	A
T2	4.57	B	A
T0	4.51	A	A

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Comportamiento de la altura de planta para chíá.

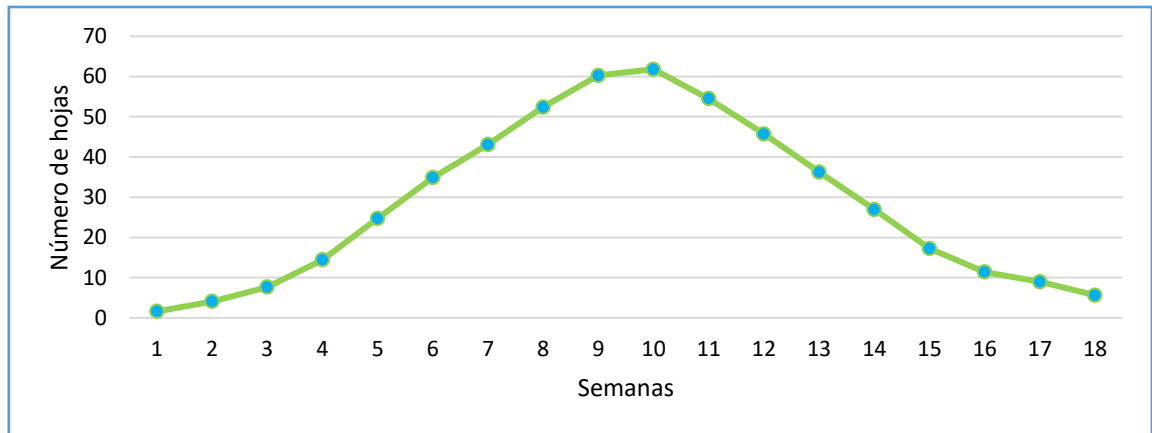


Fuente: Elaboración propia.

La figura 12, muestra en base a los promedios que en la semana 1 el promedio de altura fue de 0.8 cm hasta llegar a la semana 18 con un promedio de 55.2 cm.

4.2.3. Numero de hojas en chía (*Salvia hispánica L.*)

Figura 11. Comportamiento del número de hojas para chía.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede visualizar en la figura 13, que las semanas 9 y 10 se concentran la mayor cantidad de hojas luego disminuye debido a los cambios fisiológico propios de la planta, en la semana 17 y 18 es donde se da la senescencia de las hojas, los datos mostrados son el promedio semanal de cada lisímetro estudiado.

4.2.4. Cultivo de gras.

El cultivo de referencia (gras) creció y se desarrolló en óptimas condiciones ya que los problemas fitosanitarios no se presentaron durante el tiempo del trabajo de investigación la humedad para todos estuvo constante y recortes igualitarios de 9 a 12 cm, siendo las fechas de corte 20 de julio, 3; 17 y 31 de agosto, 14 y 28 de setiembre, 12 y 26 de octubre; haciendo un total de 8 cortes durante toda la campaña de investigación; 1 corte en julio, 3 cortes en agosto, 2 cortes en setiembre, 2 cortes en octubre.

4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO DETERMINADO CON LISÍMETRO.

Cuadro 12. Resultado de la evapotranspiración de cultivo (ETc) calculado con los lisímetros para chía (*Salvia hispánica L.*) durante su periodo de desarrollo.

S	dia	T1 - I (LISÍMETRO 2)				T2 - I (LISÍMETRO 3)			
		Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. util	ETc mm/día	Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. util	ETc mm/día
1	6-Jul	2.06	0.090	1.970	3.80	2.06	0.090	1.970	3.80
	8-Jul	2.06	0.110	1.949	3.76	2.06	0.100	1.959	3.78
	10-Jul	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.175	1.884	3.64
2	13-Jul	2.19	0.080	2.108	4.07	2.19	0.100	2.088	4.03
	15-Jul	2.19	0.060	2.128	4.11	2.19	0.090	2.098	4.05
	17-Jul	2.19	0.090	2.098	4.05	2.19	0.120	2.068	3.99
3	20-Jul	2.00	0.095	1.905	3.68	2.00	0.110	1.890	3.65
	22-Jul	2.00	0.055	1.945	3.75	2.00	0.100	1.900	3.67
	24-Jul	2.00	0.090	1.910	3.69	2.00	0.080	1.920	3.71
4	27-Jul	2.06	0.040	2.019	3.90	2.06	0.080	1.979	3.82
	29-Jul	2.06	0.050	2.009	3.88	2.06	0.080	1.979	3.82
	31-Jul	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.090	1.969	3.80
5	3-Ago	2.07	0.090	1.981	3.82	2.07	0.070	2.001	3.86
	5-Ago	2.07	0.090	1.981	3.82	2.07	0.070	2.001	3.86
	7-Ago	2.07	0.050	2.021	3.90	2.07	0.060	2.011	3.88
6	10-Ago	2.23	0.040	2.189	4.23	2.23	0.050	2.179	4.21
	12-Ago	2.23	0.060	2.169	4.19	2.23	0.030	2.199	4.24
	14-Ago	2.23	0.070	2.159	4.17	2.23	0.040	2.189	4.23
7	17-Ago	2.00	0.060	1.940	3.74	2.00	0.040	1.960	3.78
	19-Ago	2.00	0.050	1.950	3.76	2.00	0.030	1.970	3.80
	21-Ago	2.00	0.050	1.950	3.76	2.00	0.030	1.970	3.80
8	24-Ago	1.89	0.060	1.832	3.54	1.89	0.020	1.872	3.61
	26-Ago	1.89	0.030	1.862	3.59	1.89	0.010	1.882	3.63
	28-Ago	1.89	0.015	1.877	3.62	1.89	0.010	1.882	3.63
9	31-Ago	1.94	0.050	1.894	3.66	1.94	0.010	1.934	3.73
	2-Set	1.94	0.015	1.929	3.72	1.94	0.005	1.939	3.74
	4-Set	1.94	0.015	1.929	3.72	1.94	0.005	1.939	3.74
10	7-Set	2.06	0.040	2.019	3.90	2.06	0.020	2.039	3.94
	9-Set	2.06	0.060	1.999	3.86	2.06	0.015	2.044	3.94
	11-Set	2.06	0.050	2.009	3.88	2.06	0.030	2.029	3.92
11	14-Set	2.19	0.050	2.138	4.13	2.19	0.020	2.168	4.18
	16-Set	2.19	0.070	2.118	4.09	2.19	0.030	2.158	4.16
	18-Set	2.19	0.060	2.128	4.11	2.19	0.020	2.168	4.18
12	21-Set	2.69	0.020	2.672	5.16	2.69	0.020	2.672	5.16
	23-Set	2.69	0.040	2.652	5.12	2.69	0.040	2.652	5.12
	25-Set	2.69	0.040	2.652	5.12	2.69	0.050	2.642	5.10
13	28-Set	2.80	0.050	2.750	5.31	2.80	0.080	2.720	5.25
	30-Set	2.80	0.090	2.710	5.23	2.80	0.060	2.740	5.29
	2-Oct	2.80	0.040	2.760	5.33	2.80	0.030	2.770	5.35
14	5-Oct	3.33	0.090	3.243	6.26	3.33	0.050	3.283	6.34
	7-Oct	3.33	0.100	3.233	6.24	3.33	0.080	3.253	6.28
	9-Oct	3.33	0.080	3.253	6.28	3.33	0.090	3.243	6.26
15	12-Oct	3.15	0.120	3.033	5.85	3.15	0.090	3.063	5.91
	14-Oct	3.15	0.060	3.093	5.97	3.15	0.090	3.063	5.91
	16-Oct	3.15	0.110	3.043	5.87	3.15	0.060	3.093	5.97
16	19-Oct	2.82	0.120	2.703	5.22	2.82	0.070	2.753	5.31
	21-Oct	2.82	0.060	2.763	5.33	2.82	0.090	2.733	5.27
	23-Oct	2.82	0.120	2.703	5.22	2.82	0.090	2.733	5.27
17	26-Oct	3.18	0.125	3.057	5.90	3.18	0.050	3.132	6.04
	28-Oct	3.18	0.110	3.072	5.93	3.18	0.120	3.062	5.91
	30-Oct	3.18	0.090	3.092	5.97	3.18	0.110	3.072	5.93
18	2-Nov	2.92	0.110	2.807	5.42	2.92	0.110	2.807	5.42
	4-Nov	2.92	0.120	2.797	5.40	2.92	0.055	2.862	5.52
	6-Nov	2.92	0.100	2.817	5.44	2.92	0.070	2.847	5.49
PROMEDIO					4.54	4.55			

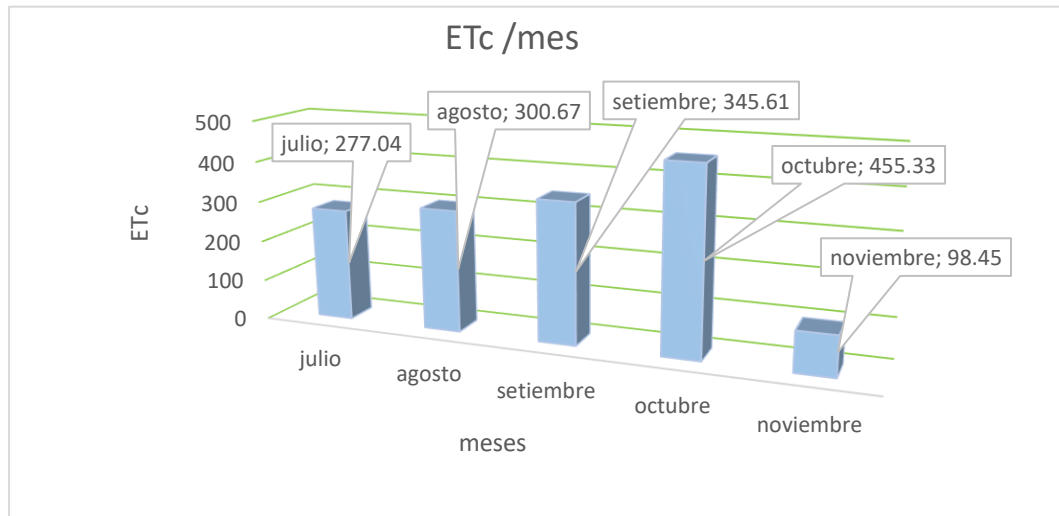
Fuente: Elaboración propia.

T1 - II (LISÍMETRO 4)				T2 - II (LISÍMETRO 6)			
Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. util	ETc mm/día	Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. util	ETc mm/día
2.06	0.090	1.970	3.80	2.06	0.080	1.98	3.82
2.06	0.070	1.989	3.84	2.06	0.060	2.00	3.86
2.06	0.040	2.019	3.90	2.06	0.040	2.02	3.90
2.19	0.050	2.138	4.13	2.19	0.100	2.09	4.03
2.19	0.090	2.098	4.05	2.19	0.120	2.07	3.99
2.19	0.070	2.118	4.09	2.19	0.080	2.11	4.07
2.00	0.100	1.900	3.67	2.00	0.070	1.93	3.73
2.00	0.120	1.880	3.63	2.00	0.080	1.92	3.71
2.00	0.060	1.940	3.74	2.00	0.060	1.94	3.74
2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.090	1.97	3.80
2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.080	1.98	3.82
2.06	0.070	1.989	3.84	2.06	0.060	2.00	3.86
2.07	0.080	1.991	3.84	2.07	0.060	2.01	3.88
2.07	0.060	2.011	3.88	2.07	0.060	2.01	3.88
2.07	0.070	2.001	3.86	2.07	0.080	1.99	3.84
2.23	0.070	2.159	4.17	2.23	0.070	2.16	4.17
2.23	0.080	2.149	4.15	2.23	0.080	2.15	4.15
2.23	0.070	2.159	4.17	2.23	0.080	2.15	4.15
2.00	0.020	1.980	3.82	2.00	0.070	1.93	3.73
2.00	0.040	1.960	3.78	2.00	0.040	1.96	3.78
2.00	0.020	1.980	3.82	2.00	0.050	1.95	3.76
1.89	0.030	1.862	3.59	1.89	0.015	1.88	3.62
1.89	0.035	1.857	3.58	1.89	0.010	1.88	3.63
1.89	0.020	1.872	3.61	1.89	0.020	1.87	3.61
1.94	0.015	1.929	3.72	1.94	0.010	1.93	3.73
1.94	0.010	1.934	3.73	1.94	0.005	1.94	3.74
1.94	0.005	1.939	3.74	1.94	0.005	1.94	3.74
2.06	0.010	2.049	3.95	2.06	0.005	2.05	3.96
2.06	0.020	2.039	3.94	2.06	0.020	2.04	3.94
2.06	0.040	2.019	3.90	2.06	0.010	2.05	3.95
2.19	0.050	2.138	4.13	2.19	0.030	2.16	4.16
2.19	0.015	2.173	4.19	2.19	0.030	2.16	4.16
2.19	0.060	2.128	4.11	2.19	0.040	2.15	4.14
2.69	0.050	2.642	5.10	2.69	0.080	2.61	5.04
2.69	0.030	2.662	5.14	2.69	0.050	2.64	5.10
2.69	0.040	2.652	5.12	2.69	0.040	2.65	5.12
2.80	0.050	2.750	5.31	2.80	0.080	2.72	5.25
2.80	0.050	2.750	5.31	2.80	0.040	2.76	5.33
2.80	0.050	2.750	5.31	2.80	0.040	2.76	5.33
3.33	0.080	3.253	6.28	3.33	0.070	3.26	6.30
3.33	0.090	3.243	6.26	3.33	0.070	3.26	6.30
3.33	0.090	3.243	6.26	3.33	0.080	3.25	6.28
3.15	0.090	3.063	5.91	3.15	0.050	3.10	5.99
3.15	0.080	3.073	5.93	3.15	0.090	3.06	5.91
3.15	0.060	3.093	5.97	3.15	0.050	3.10	5.99
2.82	0.050	2.773	5.35	2.82	0.080	2.74	5.29
2.82	0.075	2.748	5.30	2.82	0.050	2.77	5.35
2.82	0.070	2.753	5.31	2.82	0.050	2.77	5.35
3.18	0.090	3.092	5.97	3.18	0.030	3.15	6.08
3.18	0.060	3.122	6.03	3.18	0.050	3.13	6.04
3.18	0.060	3.122	6.03	3.18	0.080	3.10	5.99
2.92	0.060	2.857	5.51	2.92	0.080	2.84	5.48
2.92	0.090	2.827	5.46	2.92	0.090	2.83	5.46
2.92	0.090	2.827	5.46	2.92	0.080	2.84	5.48
			4.56				4.57

Fuente: Elaboración propia.

T1- III (LISÍMETRO 7)				T2 - III (LISÍMETRO 8)				ETC promedio (mm/día)	ETC (mm/día) para el mes	ETC (mm/mes)	ETC (mm) por semana
Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. util	ETC mm/día	Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. util	ETC mm/día				
2.06	0.090	1.97	3.80	2.06	0.100	1.96	3.78	3.80	3.85	277.04	68.50
2.06	0.100	1.96	3.78	2.06	0.080	1.98	3.82	3.81			
2.06	0.080	1.98	3.82	2.06	0.100	1.96	3.78	3.81			
2.19	0.100	2.09	4.03	2.19	0.110	2.08	4.01	4.05			
2.19	0.100	2.09	4.03	2.19	0.070	2.12	4.09	4.05			
2.19	0.090	2.10	4.05	2.19	0.080	2.11	4.07	4.05			
2.00	0.080	1.92	3.71	2.00	0.050	1.95	3.76	3.70			
2.00	0.090	1.91	3.69	2.00	0.040	1.96	3.78	3.70			
2.00	0.090	1.91	3.69	2.00	0.090	1.91	3.69	3.71			
2.06	0.070	1.99	3.84	2.06	0.090	1.97	3.80	3.83			
2.06	0.070	1.99	3.84	2.06	0.090	1.97	3.80	3.83			
2.06	0.090	1.97	3.80	2.06	0.030	2.03	3.92	3.84			
2.07	0.040	2.03	3.92	2.07	0.050	2.02	3.90	3.87			
2.07	0.050	2.02	3.90	2.07	0.010	2.06	3.98	3.89			
2.07	0.065	2.01	3.87	2.07	0.030	2.04	3.94	3.88			
2.23	0.080	2.15	4.15	2.23	0.030	2.20	4.24	4.19			
2.23	0.050	2.18	4.21	2.23	0.050	2.18	4.21	4.19			
2.23	0.040	2.19	4.23	2.23	0.015	2.21	4.27	4.20			
2.00	0.030	1.97	3.80	2.00	0.020	1.98	3.82	3.78			
2.00	0.040	1.96	3.78	2.00	0.030	1.97	3.80	3.79			
2.00	0.040	1.96	3.78	2.00	0.030	1.97	3.80	3.79			
1.89	0.010	1.88	3.63	1.89	0.040	1.85	3.57	3.60			
1.89	0.035	1.86	3.58	1.89	0.040	1.85	3.57	3.60			
1.89	0.030	1.86	3.59	1.89	0.040	1.85	3.57	3.61			
1.94	0.005	1.94	3.74	1.94	0.010	1.93	3.73	3.72			
1.94	0.005	1.94	3.74	1.94	0.010	1.93	3.73	3.74			
1.94	0.010	1.93	3.73	1.94	0.015	1.93	3.72	3.74			
2.06	0.010	2.05	3.95	2.06	0.015	2.04	3.94	3.94			
2.06	0.015	2.04	3.94	2.06	0.030	2.03	3.92	3.92			
2.06	0.015	2.04	3.94	2.06	0.030	2.03	3.92	3.92			
2.19	0.040	2.15	4.14	2.19	0.060	2.13	4.11	4.14			
2.19	0.040	2.15	4.14	2.19	0.050	2.14	4.13	4.15			
2.19	0.050	2.14	4.13	2.19	0.060	2.13	4.11	4.13			
2.69	0.040	2.65	5.12	2.69	0.050	2.64	5.10	5.11			
2.69	0.080	2.61	5.04	2.69	0.030	2.66	5.14	5.11			
2.69	0.060	2.63	5.08	2.69	0.005	2.69	5.19	5.12			
2.80	0.050	2.75	5.31	2.80	0.020	2.78	5.37	5.30			
2.80	0.080	2.72	5.25	2.80	0.040	2.76	5.33	5.29			
2.80	0.120	2.68	5.17	2.80	0.070	2.73	5.27	5.29			
3.33	0.090	3.24	6.26	3.33	0.080	3.25	6.28	6.29			
3.33	0.080	3.25	6.28	3.33	0.050	3.28	6.34	6.28			
3.33	0.060	3.27	6.32	3.33	0.060	3.27	6.32	6.29			
3.15	0.050	3.10	5.99	3.15	0.040	3.11	6.01	5.94			
3.15	0.080	3.07	5.93	3.15	0.050	3.10	5.99	5.94			
3.15	0.120	3.03	5.85	3.15	0.050	3.10	5.99	5.94			
2.82	0.050	2.77	5.35	2.82	0.040	2.78	5.37	5.32			
2.82	0.060	2.76	5.33	2.82	0.070	2.75	5.31	5.32			
2.82	0.030	2.79	5.39	2.82	0.040	2.78	5.37	5.32			
3.18	0.090	3.09	5.97	3.18	0.070	3.11	6.01	5.99			
3.18	0.050	3.13	6.04	3.18	0.090	3.09	5.97	5.99			
3.18	0.080	3.10	5.99	3.18	0.080	3.10	5.99	5.98			
2.92	0.070	2.85	5.49	2.92	0.060	2.86	5.51	5.47			
2.92	0.090	2.83	5.46	2.92	0.050	2.87	5.53	5.47			
2.92	0.080	2.84	5.48	2.92	0.090	2.83	5.46	5.47			
			4.56				4.58				
								ETC promedio total del periodo (mm/día)	4.56		
								ETC Máximo (mm/día)	6.29		
								ETC Mínimo (mm/día)	3.60		
								ETC promedio de los 5 meses	4.74		
								ETC Total de la campaña (mm)	1477.10		
								ETC promedio total por semanas (mm)	82.06		

Fuente: Elaboración propia.

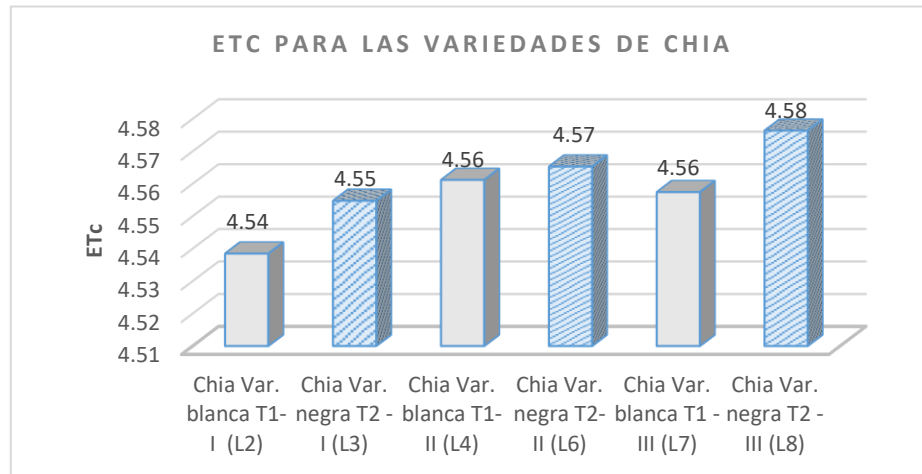
Figura 12. Diagrama de barras para la ETC / mes.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13. ETC /semanas y ETC para el periodo de desarrollo para chía.

semana	Periodo de desarrollo para chía	Evapotranspiración del cultivo (mm)		
		ETC (semana)	ETC (fase)	días
1	FASE I	68.50	277.04	26
2		72.91		
3		66.67		
4		68.96		
5	FASE II	69.86	278.34	30
6		75.51		
7		68.15		
8		64.82		
9	FASE III	67.16	399.68	32
10		70.69		
11		74.50		
12		92.06		
13	95.27	315.8	24	
14	113.12			
15	106.96			
16	95.72	206.22	12	
17	107.77			
18	FASE V	98.45		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Diagrama de barras de la ETc para las variedades de chíá

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 14. ETc para los meses desde julio – noviembre.

meses	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre
ETc mm/día	3.85	3.85	4.43	5.84	5.47
ETc mm/mes	277.04	300.67	345.61	455.33	98.45

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 14 se muestra la ETc (mm/mes) siendo en octubre la mayor evapotranspiración de toda la campaña agrícola esto debido a las condiciones climáticas del mes de octubre y el periodo de desarrollo de la chíá. En la figura 14 se muestra el diagrama de barras de la ETc (mm/mes) siendo la mínima en noviembre esto debido a que el cultivo ya se encuentra en sus etapas finales de desarrollo y las condiciones climáticas de noviembre.

La variabilidad de la evapotranspiración del cultivo para chíá tiene una mínima de 3.85 mm y una máxima de 5.84 mm paralelamente a su periodo de desarrollo. Se puede visualizar en el cuadro 12, que se obtuvo 1477.10 mm de lámina de agua (147 710.0 m³/ha). Los resultados obtenidos de ETc para chíá por el método directo utilizando lisímetros bajo las condiciones del CIFO se consideran confiables porque están

realizadas “in situ”, un factor climático importante es la temperatura media porque indica mayor evapotranspiración de un cultivo.

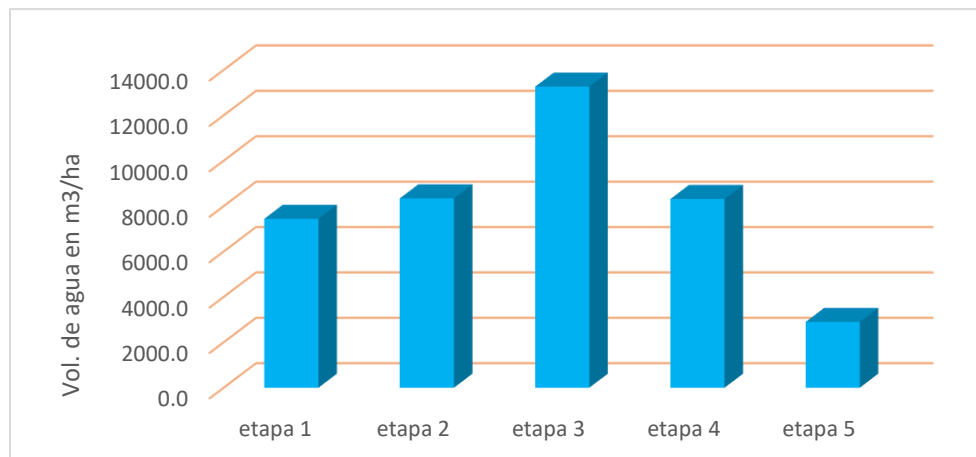
Los resultados del cuadro 13, se contrasta con lo indicado por Olalla-Valero (1993) que indica la transpiración aumenta a medida que crece la planta y se desarrolla la cubierta vegetal de tal manera de que cuando la cubierta es total, la transpiración es la fuente principal de la perdida de agua pudiendo estar entre los 90 a 95% de la evapotranspiración (ET).

Cuadro 15. Volumen de agua en m³/ha durante el periodo de desarrollo para chíá.

día	etapas	Kc - chíá	ETo - gras	Vol. de agua (m ³ /ha)
26	etapa 1	10.42	46.41	7443.50
30	etapa 2	11.93	45.46	8341.63
32	etapa 3	14.36	60.07	13265.66
24	etapa 4	9.37	57.69	8316.71
12	etapa 5	5.49	34.35	2898.68

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Volumen de agua consumida en m³/ha para chíá.



Fuente: Elaboración propia.

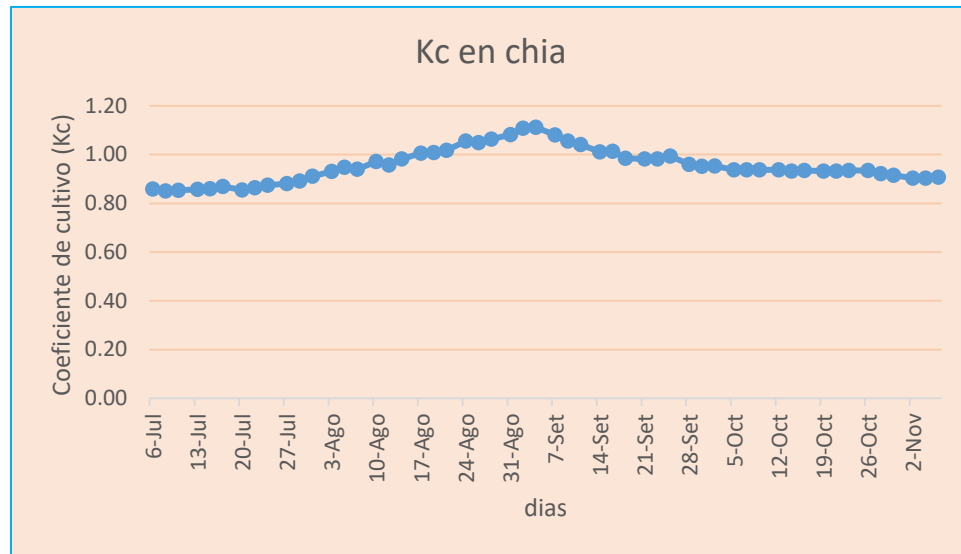
4.4. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHIA.

El coeficiente de cultivo para chía se resolvió por el método directo con lisímetros, se utilizó la ETc del cultivo de chía y la ETo del gras. En el cuadro 16, se observa que el promedio general de Kc para toda la investigación fue de 0.95, un máximo de 1.11 y un mínimo de 0.85 y una suma total de 51.56.

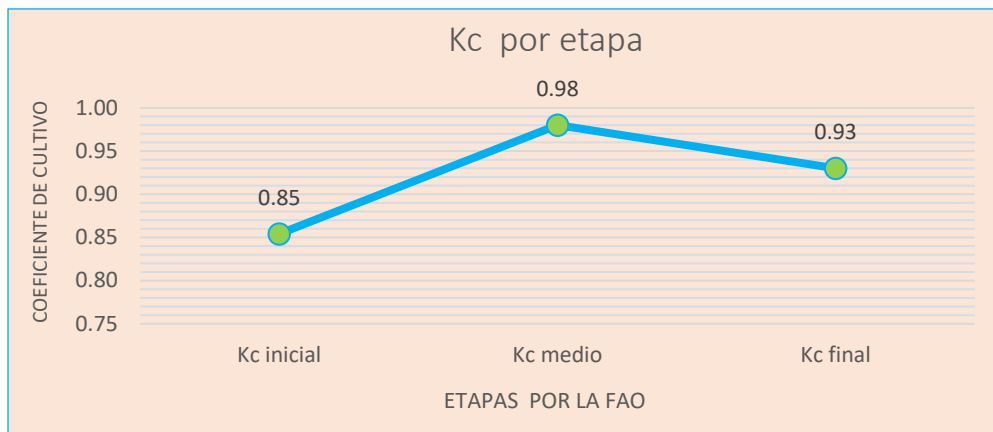
Cuadro 16. Resultado del coeficiente de cultivo (Kc) calculado de manera directa con lisímetros.

Coeficiente de cultivo (Kc) para chía ; metodo directo - Lisimetro												
S	dia	ETc	ETo	Kc	Kc /mes	Kc /Fase	Kc /semana	Kc/ Etapa				
1	6-Jul	2.93	3.42	0.86	0.87	0.85	0.85	0.85				
	8-Jul	2.97	3.49	0.85								
	10-Jul	2.98	3.49	0.85								
2	13-Jul	3.18	3.71	0.86		0.87	0.89	0.86	0.98			
	15-Jul	3.20	3.72	0.86								
	17-Jul	3.20	3.68	0.87								
3	20-Jul	2.89	3.38	0.85				0.86				
	22-Jul	2.92	3.39	0.86								
	24-Jul	2.95	3.38	0.87								
4	27-Jul	3.09	3.50	0.88			0.89					
	29-Jul	3.11	3.48	0.89								
	31-Jul	3.16	3.47	0.91								
5	3-Ago	3.24	3.49	0.93			1.00	0.94		0.94	0.98	
	5-Ago	3.34	3.52	0.95								
	7-Ago	3.31	3.52	0.94								
6	10-Ago	3.65	3.75	0.97				0.97				
	12-Ago	3.63	3.79	0.96								
	14-Ago	3.69	3.76	0.98								
7	17-Ago	3.40	3.38	1.01	1.03			1.01		1.01		0.98
	19-Ago	3.42	3.39	1.01								
	21-Ago	3.44	3.38	1.02								
8	24-Ago	3.31	3.14	1.06	1.06	1.06		1.06	0.98			
	26-Ago	3.34	3.19	1.05								
	28-Ago	3.39	3.19	1.06								
9	31-Ago	3.56	3.29	1.08	1.10	1.10		1.10	0.98			
	2-Set	3.66	3.30	1.11								
	4-Set	3.65	3.28	1.11								
10	7-Set	3.78	3.50	1.08	1.06	1.06		1.06	0.98			
	9-Set	3.66	3.47	1.06								
	11-Set	3.64	3.49	1.04								
11	14-Set	3.74	3.70	1.01	1.02	1.01	1.00	0.98				
	16-Set	3.77	3.72	1.01								
	18-Set	3.66	3.72	0.98								
12	21-Set	4.69	4.78	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98				
	23-Set	4.68	4.76	0.98								
	25-Set	4.74	4.77	0.99								
13	28-Set	4.77	4.97	0.96	0.95	0.95	0.95	0.98				
	30-Set	4.71	4.95	0.95								
	2-Oct	4.73	4.96	0.95								
14	5-Oct	5.55	5.91	0.94	0.93	0.93	0.94	0.93				
	7-Oct	5.53	5.89	0.94								
	9-Oct	5.55	5.91	0.94								
15	12-Oct	5.24	5.58	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93				
	14-Oct	5.22	5.59	0.93								
	16-Oct	5.22	5.58	0.93								
16	19-Oct	4.66	4.99	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93				
	21-Oct	4.67	5.00	0.93								
	23-Oct	4.68	5.00	0.93								
17	26-Oct	5.26	5.63	0.93	0.92	0.92	0.92	0.93				
	28-Oct	5.21	5.66	0.92								
	30-Oct	5.18	5.66	0.91								
18	2-Nov	4.68	5.19	0.90	0.90	0.90	0.90	0.93				
	4-Nov	4.67	5.18	0.90								
	6-Nov	4.65	5.12	0.91								
PROMEDIO				0.95	0.95	0.94	0.95					
SUMA				51.56	4.73	4.71	17.19					
MAXIMO				1.11	1.02	1.03	1.10					
MINIMO				0.85	0.87	0.85	0.85					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Comportamiento del Kc por día.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Comportamiento del Kc en chíá por etapa que menciona la FAO.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17. ETc, ETo y Kc para las fases de desarrollo.

Fases de crecimiento	FASE I	FASE II	FASE III	FASE IV	FASE V
N° días	5	28	25	29	37
ETc	2.96	3.13	3.50	4.12	5.04
ETp	3.47	3.52	3.41	4.09	5.43
Kc	0.85	0.89	1.03	1.01	0.93

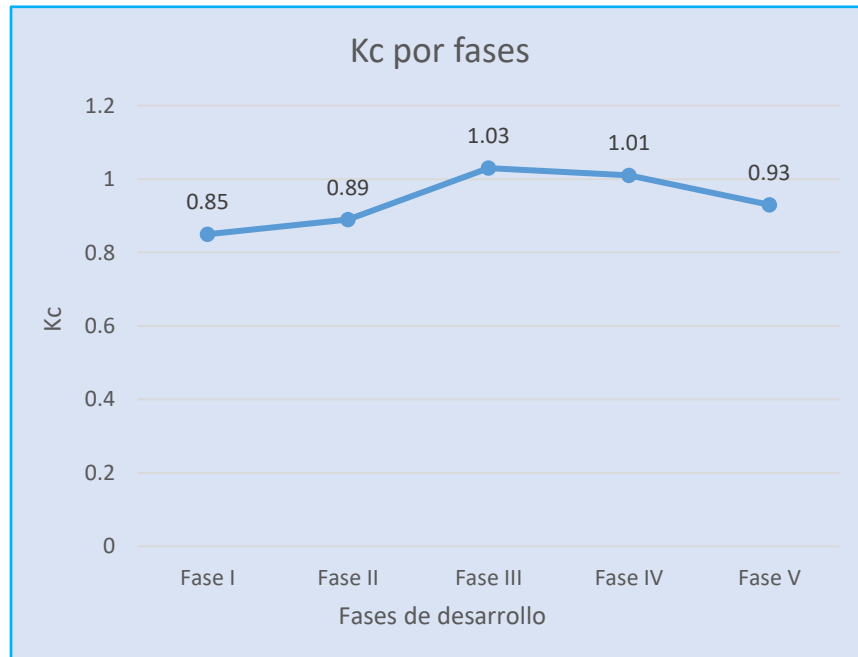
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Comportamiento del Kc para chíá durante los meses de julio a noviembre.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Comportamiento del Kc para el periodo de desarrollo para chíá.



Fuente: Elaboración propia.

4.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA DEL TANQUE CLASE “A”

Se utilizaron los datos del tanque evaporímetro clase “A”, el cuadro 18 muestra la ETo máxima de 6.3 mm/día y una mínima de 5.6 mm/día, los meses de agosto y noviembre presentan la misma ETo mientras que en setiembre y octubre también presentan ETo iguales esto debido a condiciones climática no variables.

Cuadro 18. Evapotranspiración potencial (mm/día) para el tanque clase “A”.

meses	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre
ETo mm/día	5.6	6.3	5.8	5.8	6.3

Fuente: SENAMHI

4.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA DETERMINADO CON LISIMETRO.

La evapotranspiración de referencia se resolvió con el cultivo de gras mediante el método lisimetrico el resultado total se muestra en el cuadro 18. En el cuadro 19 se muestra la mínima ETo de 3.77 mm/día en agosto y la máxima de 5.82 mm/día en octubre esto debido a cambios climáticos ligeros de un mes a otro, la ETo total promedio de campaña fue de 4.51 mm/día; durante todo el periodo de estudio del gras se obtuvo la ETo(mm/día) máxima 6.26 y mínima 3.48; la ETo total por campaña fue de 730.98 mm. La ETo(mm/mes) fue de 138.29; 147.17; 169.41; 226.85; 49.26 para el mes de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre respectivamente; en la figura 21 se observa el comportamiento de la ETo calculado por el método del lisímetro-gras.

Cuadro 19. Evapotranspiración de referencia por el método lisimetrico

meses	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre
ETo mm/día	3.84	3.77	4.34	5.82	5.47

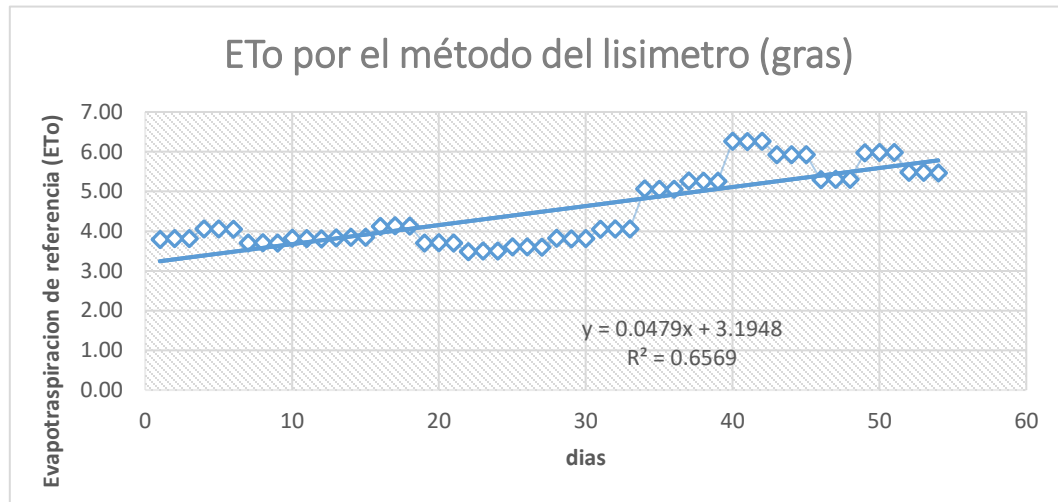
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Resultado de la evapotranspiración potencial (ETo) en mm/día, calculado con el cultivo de referencia (gras) en lisímetros.

S	dia	T0 - I (LISÍMETRO 1)				T0 - II (LISÍMETRO 5)				T0 - III (LISÍMETRO 9)				ETo promedio mm/día	ETo promedio del mes	ETo (mm/mes)
		Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. consumido	ETo mm/día	Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. consumido	ETo mm/día	Vol. (L) aplicado	Vol. (L) drenado	Vol. consumido	ETo mm/día			
1	6-Jul	2.06	0.100	1.960	3.78	2.06	0.090	1.970	3.80	2.06	0.100	1.960	3.78	3.79	3.84	138.29
	8-Jul	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.090	1.969	3.80	3.81		
	10-Jul	2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.080	1.979	3.82	3.81		
2	13-Jul	2.19	0.125	2.063	3.98	2.19	0.050	2.138	4.13	2.19	0.090	2.098	4.05	4.05		
	15-Jul	2.19	0.090	2.098	4.05	2.19	0.100	2.088	4.03	2.19	0.070	2.118	4.09	4.05		
	17-Jul	2.19	0.090	2.098	4.05	2.19	0.090	2.098	4.05	2.19	0.100	2.088	4.03	4.04		
3	20-Jul	2.00	0.070	1.930	3.73	2.00	0.100	1.900	3.67	2.00	0.080	1.920	3.71	3.70		
	22-Jul	2.00	0.070	1.930	3.73	2.00	0.125	1.875	3.62	2.00	0.050	1.950	3.76	3.70		
	24-Jul	2.00	0.090	1.910	3.69	2.00	0.090	1.910	3.69	2.00	0.070	1.930	3.73	3.70		
4	27-Jul	2.06	0.075	1.984	3.83	2.06	0.125	1.934	3.73	2.06	0.045	2.014	3.89	3.82		
	29-Jul	2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.120	1.939	3.74	2.06	0.045	2.014	3.89	3.81		
	31-Jul	2.06	0.100	1.959	3.78	2.06	0.110	1.949	3.76	2.06	0.050	2.009	3.88	3.81		
5	3-Ago	2.07	0.090	1.981	3.82	2.07	0.090	1.981	3.82	2.07	0.085	1.986	3.83	3.83		
	5-Ago	2.07	0.095	1.976	3.81	2.07	0.080	1.991	3.84	2.07	0.070	2.001	3.86	3.84		
	7-Ago	2.07	0.090	1.981	3.82	2.07	0.100	1.971	3.80	2.07	0.055	2.016	3.89	3.84		
6	10-Ago	2.23	0.080	2.149	4.15	2.23	0.125	2.104	4.06	2.23	0.080	2.149	4.15	4.12		
	12-Ago	2.23	0.070	2.159	4.17	2.23	0.125	2.104	4.06	2.23	0.070	2.159	4.17	4.13		
	14-Ago	2.23	0.070	2.159	4.17	2.23	0.110	2.119	4.09	2.23	0.100	2.129	4.11	4.12		
7	17-Ago	2.00	0.090	1.910	3.69	2.00	0.100	1.900	3.67	2.00	0.060	1.940	3.74	3.70		
	19-Ago	2.00	0.080	1.920	3.71	2.00	0.075	1.925	3.72	2.00	0.090	1.910	3.69	3.70		
	21-Ago	2.00	0.100	1.900	3.67	2.00	0.100	1.900	3.67	2.00	0.050	1.950	3.76	3.70		
8	24-Ago	1.89	0.125	1.767	3.41	1.89	0.090	1.802	3.48	1.89	0.050	1.842	3.56	3.48		
	26-Ago	1.89	0.090	1.802	3.48	1.89	0.080	1.812	3.50	1.89	0.070	1.822	3.52	3.50		
	28-Ago	1.89	0.090	1.802	3.48	1.89	0.080	1.812	3.50	1.89	0.070	1.822	3.52	3.50		
9	31-Ago	1.94	0.070	1.874	3.62	1.94	0.090	1.854	3.58	1.94	0.080	1.864	3.60	3.60		
	2-Set	1.94	0.090	1.854	3.58	1.94	0.070	1.874	3.62	1.94	0.075	1.869	3.61	3.60		
	4-Set	1.94	0.090	1.854	3.58	1.94	0.080	1.864	3.60	1.94	0.075	1.869	3.61	3.60		
10	7-Set	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.075	1.984	3.83	3.82		
	9-Set	2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.080	1.979	3.82	3.81		
	11-Set	2.06	0.080	1.979	3.82	2.06	0.090	1.969	3.80	2.06	0.080	1.979	3.82	3.81		
11	14-Set	2.19	0.080	2.108	4.07	2.19	0.100	2.088	4.03	2.19	0.090	2.098	4.05	4.05		
	16-Set	2.19	0.070	2.118	4.09	2.19	0.100	2.088	4.03	2.19	0.090	2.098	4.05	4.05		
	18-Set	2.19	0.065	2.123	4.10	2.19	0.125	2.063	3.98	2.19	0.070	2.118	4.09	4.05		
12	21-Set	2.69	0.055	2.637	5.09	2.69	0.090	2.602	5.02	2.69	0.070	2.622	5.06	5.06		
	23-Set	2.69	0.065	2.627	5.07	2.69	0.090	2.602	5.02	2.69	0.070	2.622	5.06	5.05		
	25-Set	2.69	0.045	2.647	5.11	2.69	0.080	2.612	5.04	2.69	0.095	2.597	5.01	5.05		
13	28-Set	2.80	0.065	2.735	5.28	2.80	0.070	2.730	5.27	2.80	0.090	2.710	5.23	5.26		
	30-Set	2.80	0.040	2.760	5.33	2.80	0.125	2.675	5.16	2.80	0.070	2.730	5.27	5.25		
	2-Oct	2.80	0.050	2.750	5.31	2.80	0.120	2.680	5.17	2.80	0.060	2.740	5.29	5.26		
14	5-Oct	3.33	0.080	3.253	6.28	3.33	0.100	3.233	6.24	3.33	0.090	3.243	6.26	6.26		
	7-Oct	3.33	0.090	3.243	6.26	3.33	0.120	3.213	6.20	3.33	0.070	3.263	6.30	6.25		
	9-Oct	3.33	0.080	3.253	6.28	3.33	0.100	3.233	6.24	3.33	0.090	3.243	6.26	6.26		
15	12-Oct	3.15	0.070	3.083	5.95	3.15	0.100	3.053	5.89	3.15	0.090	3.063	5.91	5.92		
	14-Oct	3.15	0.050	3.103	5.99	3.15	0.125	3.028	5.84	3.15	0.080	3.073	5.93	5.92		
	16-Oct	3.15	0.070	3.083	5.95	3.15	0.150	3.003	5.80	3.15	0.040	3.113	6.01	5.92		
16	19-Oct	2.82	0.090	2.733	5.27	2.82	0.100	2.723	5.25	2.82	0.045	2.778	5.36	5.30		
	21-Oct	2.82	0.070	2.753	5.31	2.82	0.090	2.733	5.27	2.82	0.070	2.753	5.31	5.30		
	23-Oct	2.82	0.090	2.733	5.27	2.82	0.070	2.753	5.31	2.82	0.070	2.753	5.31	5.30		
17	26-Oct	3.18	0.070	3.112	6.01	3.18	0.125	3.057	5.90	3.18	0.070	3.112	6.01	5.97		
	28-Oct	3.18	0.080	3.102	5.99	3.18	0.100	3.082	5.95	3.18	0.070	3.112	6.01	5.98		
	30-Oct	3.18	0.070	3.112	6.01	3.18	0.100	3.082	5.95	3.18	0.080	3.102	5.99	5.98		
18	2-Nov	2.92	0.090	2.827	5.46	2.92	0.080	2.837	5.48	2.92	0.060	2.857	5.51	5.48		
	4-Nov	2.92	0.095	2.822	5.45	2.92	0.070	2.847	5.49	2.92	0.070	2.847	5.49	5.48		
	6-Nov	2.92	0.095	2.822	5.45	2.92	0.080	2.837	5.48	2.92	0.090	2.827	5.46	5.46		
PROMEDIO					4.52			4.49				4.53				
													ETo promedio total del periodo(mm/día)	4.51		
													ETo Maximo (mm/día)	6.26		
													ETo Mínimo (mm/día)	3.48		
													ETo Total por campaña (mm)	730.98		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Comportamiento de la ETo calculado por el método de lisímetro-gras.



Fuente: Elaboración propia.

4.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA DETERMINADO CON ECUACIONES EMPÍRICAS.

Se emplearon 08 ecuaciones empíricas los resultados se muestran en el cuadro 21 y 22 también en las figuras 22 y 23. Los resultados del lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y la ecuación FAO Penman Monteith se muestran en el cuadro 23; en las figuras 26 y 27 resalta que existe una similitud entre los 3 métodos mencionados. Finalmente, los resultados de lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y el promedio general de 8 ecuaciones se muestran en el cuadro 22 como en las figuras 24 y 25.

4.7.1. Para el período de 11 años (2010 – 2020)

Se utilizó datos meteorológicos del cuadro 04, los resultados se visualizan en el cuadro 21, resultando tener el mayor valor la ecuación FAO Radiación con 5.8 mm/día, Hargreaves radiación, 5.5 mm/día; FAO Penman Monteith, 5.1 mm/día; Turc, 3.4 mm/día; Blaney-Criddle, 3.1 mm/día; Jensen-Haise, 2.8 mm/día; Thornthwaite, 2.6 mm/día y Hargreaves temperatura, 1.5 mm/día.

En el cuadro 22 con el promedio de las 8 ecuaciones empíricas para el periodo 2010-2020 se obtuvo que la ETo para julio fue de 3.6 mm/día; agosto, 3.8 mm/día; setiembre, 3.9 mm/día; octubre, 3.9 mm/día y noviembre, 4.0 mm/día. En la figura 23, se observa el comportamiento de todas las ETo determinados con las 8 ecuaciones empíricas utilizadas.

Cuadro 21. Resultado de la evapotranspiración potencial (mm/día) calculado empleando ecuaciones para el período de once años (2010 – 2020).

Ecuaciones		meses												PROMEDIO
		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	
ETo PM.	FAO Penman Monteith	4.9	4.6	4.6	4.7	4.9	5.0	5.2	5.7	5.8	5.4	5.4	4.8	5.1
ETo THO	Thornthwaite	2.8	2.8	2.8	2.6	2.5	2.2	2.1	2.2	2.5	2.8	2.9	2.7	2.6
ETo JH.	Jensen y Haise	3.2	3.2	3.0	2.7	2.5	2.2	2.2	2.5	2.8	3.1	3.2	3.1	2.8
ETo T.	Turc	2.7	2.8	3.0	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	3.8	3.2	3.1	2.4	3.4
ETo R.	FAO Radiación	5.8	5.6	5.5	5.7	5.5	5.2	5.6	6.1	6.2	6.2	6.3	5.8	5.8
ETo BC.	Blaney-Criddle	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	3.0	3.6	3.5	3.1	3.0	2.9	2.7	3.1
ETo HT.	Hargreaves temperatura	1.7	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	1.7	1.5
ETo HR.	Hargreaves radiación	6.0	5.8	5.6	5.4	4.9	4.6	4.8	5.3	5.7	6.0	6.1	5.8	5.5
Promedio /mes		3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.4	3.6	3.8	3.9	3.9	4.0	3.6	

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Para el periodo de estudio (julio 2020 - noviembre 2020).

Se muestra en el cuadro 20, la máxima ETo para la ecuación FAO Penman Monteith con 6.1 mm/día; FAO Radiación, 5.9 mm/día; Hargreaves radiación, 5.9 mm/día; Blaney-Criddle, 4.3 mm/día; Turc, 3.5 mm/día; Jansen-Haise, 2.9 mm/día; Thornthwaite, 2.7 mm/día y Hargreaves temperatura, 1.6 mm/día. En el cuadro 21 se observa que en base al promedio de las 8 ecuaciones empíricas la mayor ETo se presentó en noviembre con

4.5 mm/día; la mínima en julio, 3.7 mm/día; las intermedias en octubre, 4.3 mm/día; agosto, 4.1 mm/día; setiembre, 4.0 mm/día. En el cuadro 21 los valores de ETo para el período de once años son similares y ascendentes como en el período de estudio julio 2020 – noviembre 2020. En el cuadro 21 y 22 muestra que la ecuación Hargreaves temperatura es la más baja tanto para el periodo de once años como para el periodo de estudio.

El cuadro 05 se encuentra los datos climatológicos utilizados para determinar la ETo con las 8 ecuaciones empíricas. En la figura 22 se observa el comportamiento de la ETo del gras y la ETo de las 8 ecuaciones empíricas, analizando la figura 22 la ecuación FAO Penman Monteith es la que sobrepasa la ETo del gras y la ecuación de Hargreaves temperatura subestima estos valores.

Cuadro 22. Resultado de la evapotranspiración potencial en mm/día, calculado para el período en estudio (julio 2020 – noviembre 2020).

Ecuaciones \ meses		meses					PROMEDIO
		julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	
ETo PM.	FAO Penman Monteith	5.4	6.4	5.7	6.3	6.5	6.1
ETo THO	Thornthwaite	2.4	2.4	2.8	2.9	3.3	2.7
ETo JH.	Jensen y Haise	2.3	2.5	3.0	3.2	3.5	2.9
ETo T.	Turc	4.0	4.1	3.2	3.2	3.3	3.5
ETo R.	FAO Radiación	5.5	6.2	5.2	6.1	6.6	5.9
ETo BC.	Blaney–Criddle	4.3	4.2	4.4	4.3	4.2	4.3
ETo HT.	Hargreaves temperatura	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0	1.6
ETo HR.	Hargreaves radiacion	4.8	5.6	5.7	6.7	6.6	5.9
8 Ecuaciones /mes		3.7	4.1	4.0	4.3	4.5	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 22, las variaciones entre una y otra ecuación son originadas por las variables climáticas que utilizan cada ecuación, se observa que las ecuaciones ETo HR, ETo PM, ETo R y la ETo gras en el mes de setiembre y octubre tienden a subir debido a que utilizan un factor climático en común la radiación solar o las horas sol. En el cuadro 23 se observa el promedio de las 8 ecuaciones donde la ETo para julio fue de 3.7 mm/día, agosto 4.1 mm/día, setiembre 4.0 mm/día, octubre 4.3 mm/día y noviembre 4.5 mm/día.

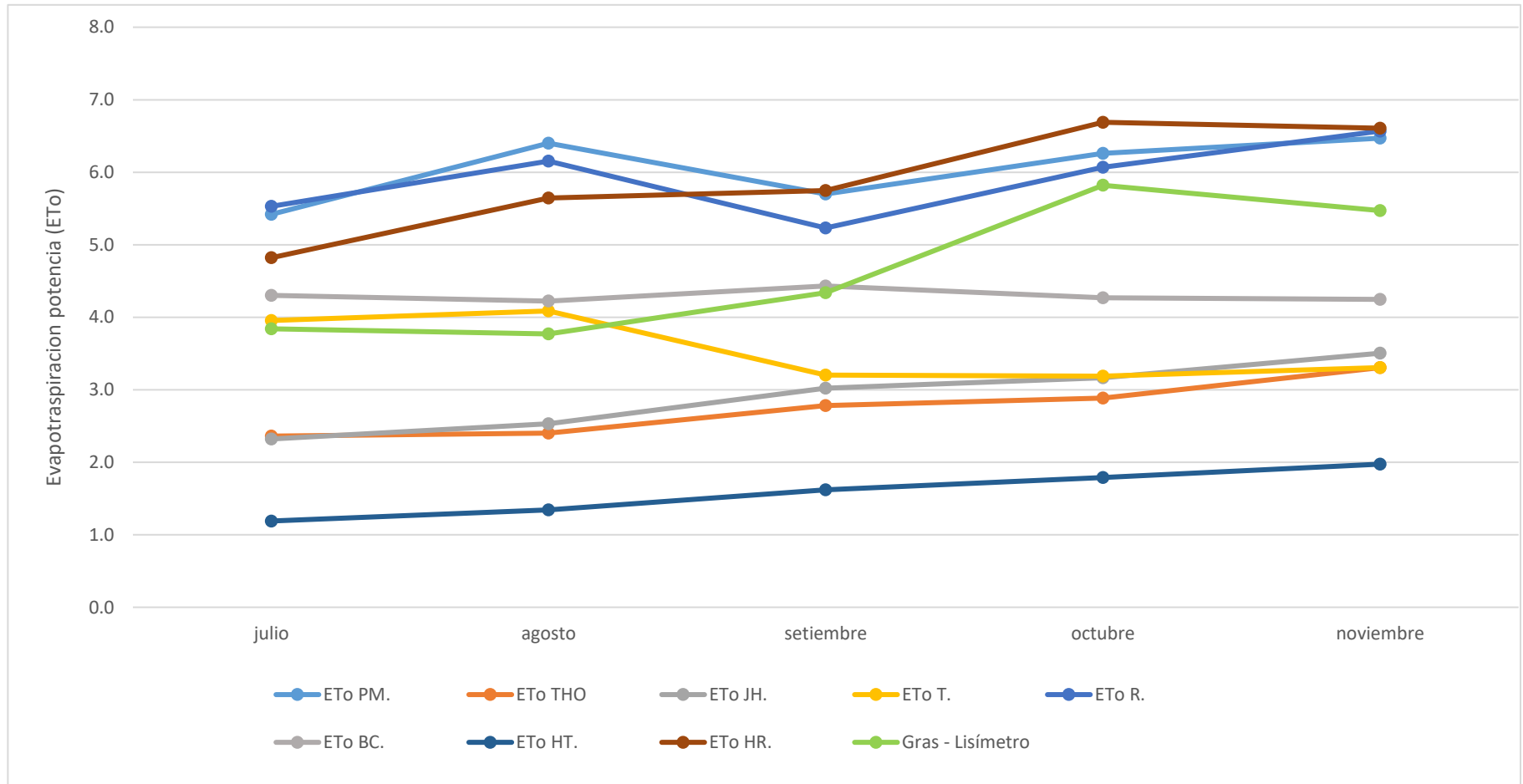
La mayor ETo se dio en noviembre y la menor ETo en julio esto debido a las parametros climaticos in situ donde se realizo la invetigacion y de acuerdo al periodo de estudio julio 2020 - noviembre 2020. Finalmente la ecuacion que mas se acomoda para calcular de manera empirica es la ecuacion FAO Penman Monteith. Sin embargo, los valores más reales de ETo para condiciones in situ se realizan con el método lisímetro-gras.

Cuadro 23. Evapotranspiración potencial (mm/día) calculado con las 8 ecuaciones para el periodo en estudio (julio 2020 – noviembre 2020) y el periodo (2010 – 2020).

promedios	meses				
	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre
Promedio de las 8 ecuaciones empiricas para el periodo de estudio (julio 2020 - noviembre 2020)	3.7	4.1	4.0	4.3	4.5
Promedio de las 8 ecuaciones empiricas para el periodo (2010 - 2020)	3.6	3.8	3.9	3.9	4.0

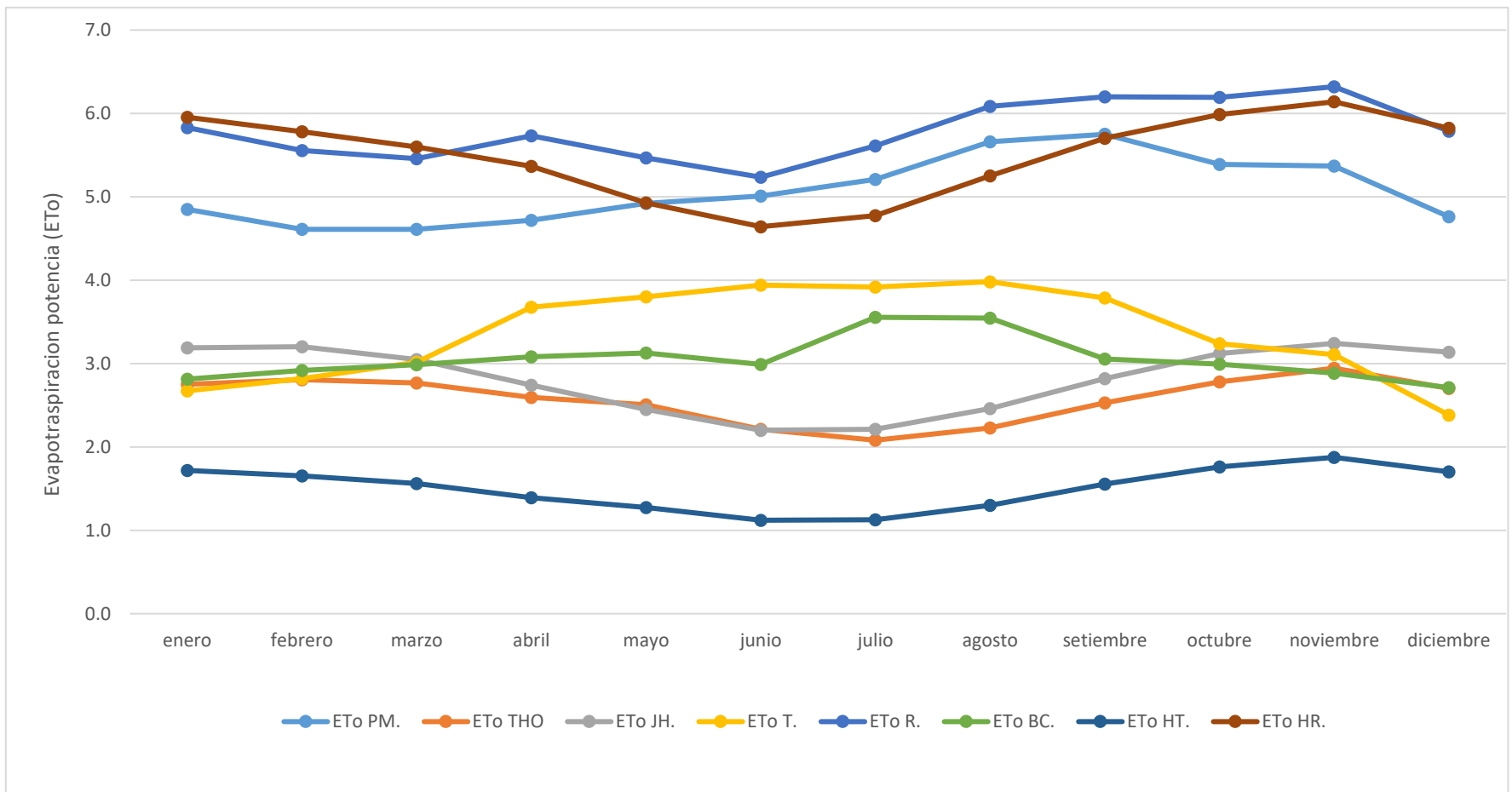
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. ETo lisimétrica y ETp ecuaciones para el período julio 2020 – noviembre 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Evapotranspiración potencial (mm/día) resuelto con ecuaciones para el periodo 2010 – 2020.



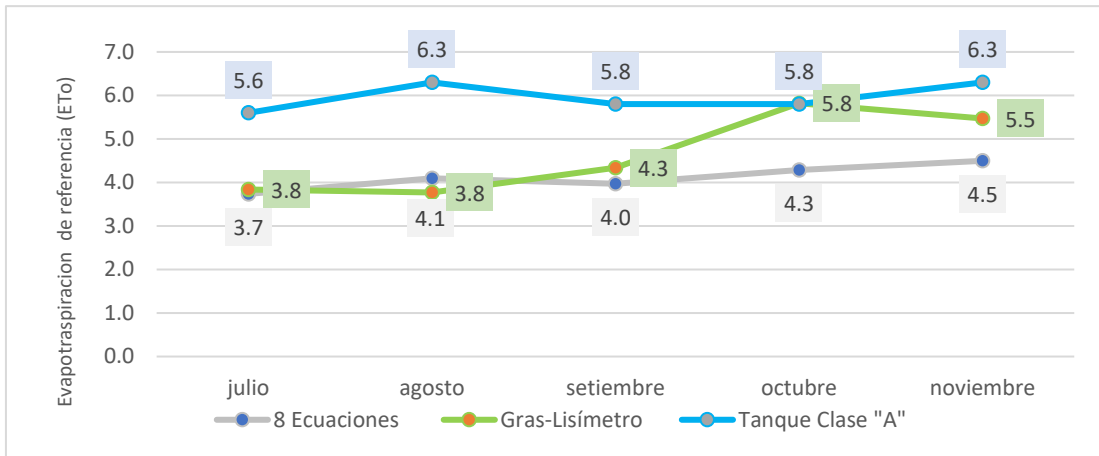
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24. Evapotranspiración potencial (mm/día) calculado empleando las 8 ecuaciones, gras-lisímetro y tanque clase "A".

métodos \ meses	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	PROMEDIO
8 Ecuaciones	3.7	4.1	4.0	4.3	4.5	4.12
Gras-Lisímetro	3.8	3.8	4.3	5.8	5.5	4.65
Tanque Clase "A"	5.6	6.3	5.8	5.8	6.3	5.96

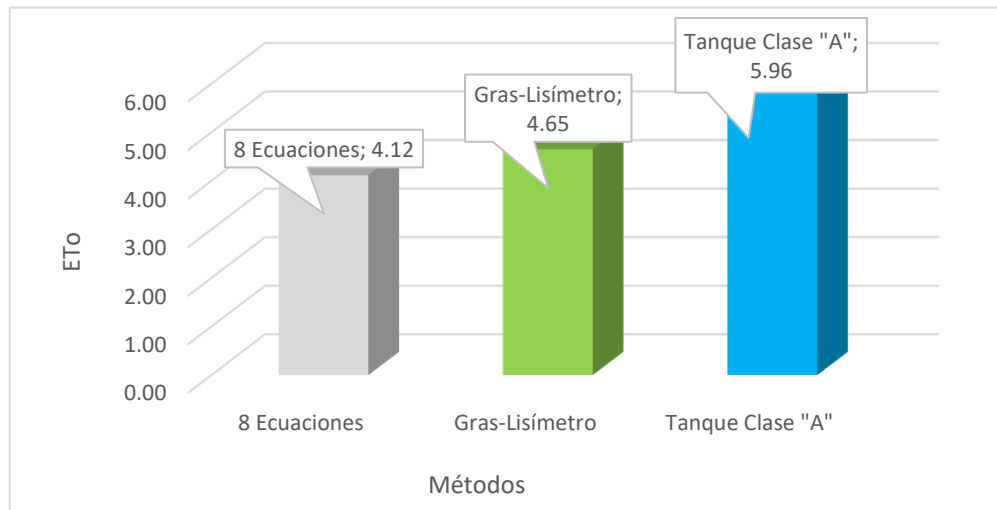
Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Gráfica comparativa de la ETo (mm/día) calculada por los 3 métodos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Diagrama de barras que comparan la ETo (mm/día) calculada por las 8 ecuaciones, gras-lisímetro y tanque clase "A".



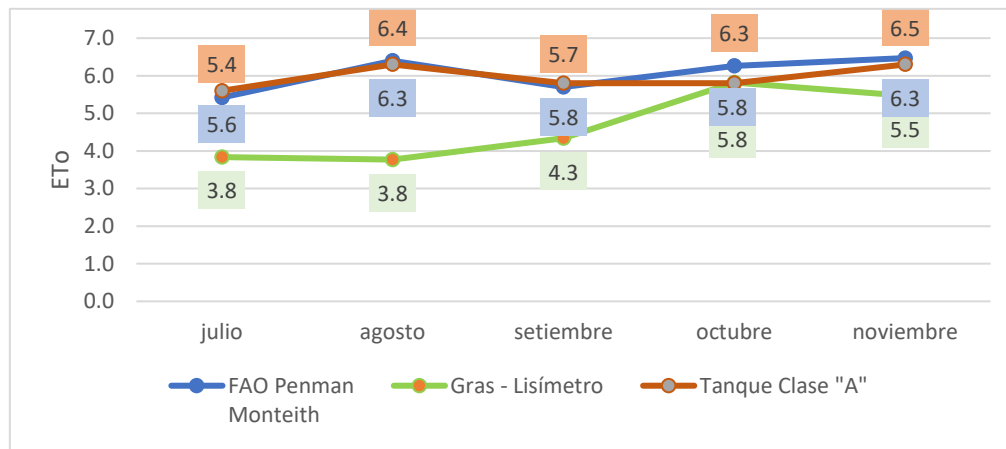
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25. Evapotranspiración potencial (mm/día) calculado empleando la ecuación Penman Monteith; gras-lisímetro y el tanque clase "A".

métodos \ meses	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	PROMEDIO
FAO Penman Monteith	5.4	6.4	5.7	6.3	6.5	6.05
Gras - Lisímetro	3.8	3.8	4.3	5.8	5.5	4.65
Tanque Clase "A"	5.6	6.3	5.8	5.8	6.3	5.96

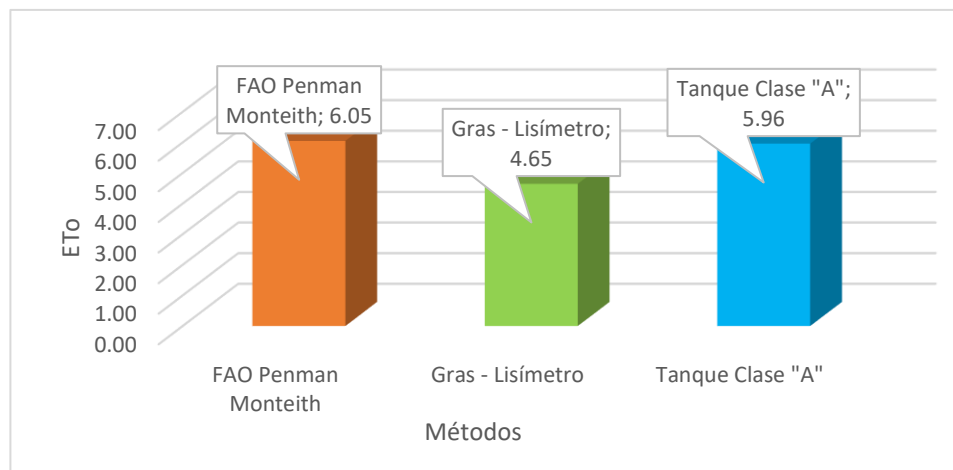
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Gráfica comparativa de la ETo (mm/día) calculado con la ecuación FAO Penman Monteith, gras-lisímetro y tanque clase "A"; para el periodo de estudio julio 2020 – noviembre 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Diagrama de barras que compara la ETo (mm/día) calculado por la ecuación FAO Penman Monteith, gras-lisímetro y tanque clase "A".



Fuente: Elaboración propia.

4.8. ANÁLISIS DE LAS FASES FENOLÓGICAS EN VARIEDADES DE CHÍA.

Se identifico las siguientes fases en variedades de chía en días después de la siembra.

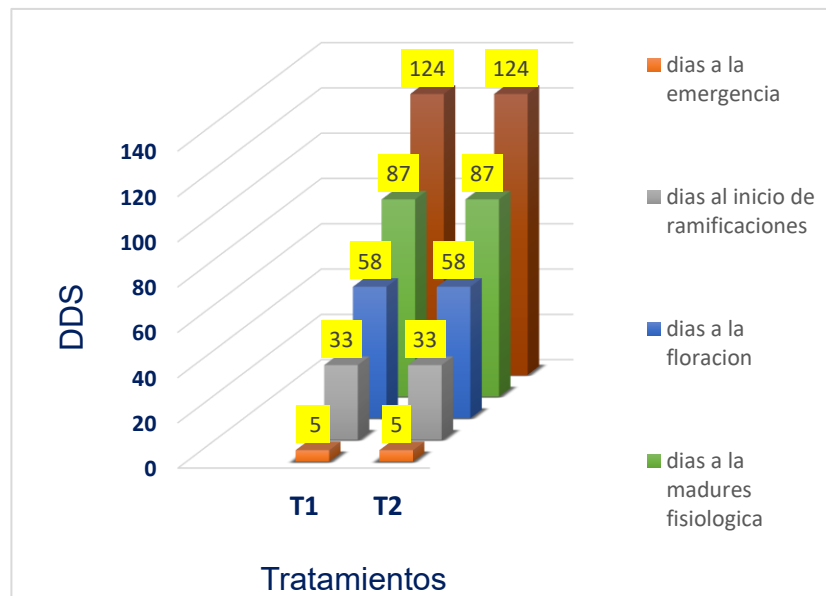
Cuadro 26. Identificación de las fases fenológicas en los tratamientos

TRATAMIENTOS	IDENTIFICACIÓN FENOLÓGICA					Σ T	Promedio T
	días a la emergencia	días al inicio de ramificaciones	días a la floración	días a la madures fisiológica	días a la madurez de la cosecha		
T1	5	33	58	87	124	307	61.40
T2	5	33	58	87	124	307	61.40
Σ R	10	66	116	174	248	614	
Promedio R	5	33	58	87	124		61.4

Fuente: Elaboración propia.

En ambos tratamientos no mostraron diferencias, observándose que la emergencia ocurrió 5 días después de la siembra, el inicio de ramificaciones a 33 dds, la floración a 58 dds, la madures fisiológicas a 87 dds y la cosecha a 124 dds, se muestra la representación gráfica respectiva en la figura 28.

Figura 26. Días después de la siembra del cultivo de chía en los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

4.9. IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS.

En el cuadro 27, se observa 5 etapas fenológicas del cultivo de chía (*Salvia hispánica* L.) registrados, los días después de siembra, fechas y los coeficientes de cultivo.

Cuadro 27. Fases fenológicas y sus coeficientes de cultivo para chía.

ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CHIA (<i>Salvia hispánica</i> L.)		dds	Fecha	Kc
FASE I	Emergencia de planta	5	6 julio - 10 julio	0.85
FASE II	Inicio de ramificaciones	33	7 de agosto	0.89
FASE III	Floración	58	1 de setiembre	1.03
FASE IV	Madurez fisiológica	87	30 de setiembre	1.01
FASE V	Madurez de cosecha	124	06 de noviembre	0.93

Fuente: Elaboración propia.

Emergencia de la plántula: Se observa cuando la planta surge del suelo y abre sus primeras hojas pequeñas de 2 cm aproximadamente, crecen en grupo, presencia de sensibilidad al riego y calor, evento fisiológico a 5 dds.

Inicio de ramificación: Se presenta cuando aparecieron 8 primeras hojas de la plántula algunas hojas se debilitan y caen al suelo dejando heridas secas en el tallo, ramas delgadas, tallo basal grueso, ramas largas y cortas, evento fisiológico a 33 dds.

Floración: Se presenta cuando el 50% de las flores se encontraron abiertas con coloración morada y aromáticas, también se observa una mínima cantidad de hojas basales que comienzan caer, presencia de agentes polinizadores, evento fisiológico a 58 dds.

Madurez fisiológica: Cuando las flores están siendo polinizadas, algunas flores cayendo sus pétalos, grano color verde y resistente al tacto, entre la etapa de floración y etapa de madurez fisiológica se presenta llenado de granos la planta empieza una coloración amarillenta y defoliación en gran cantidad, evento fisiológico a 87 dds.

Madurez de cosecha: Se presentó cuando la planta se encontraba completamente amarillenta, con pocas o casi nada de hojas basales y hojas apicales, granos marrones duros, etapa lista para trillar, evento fisiológico a 124 dds.

Cuadro 28. Observaciones durante el desarrollo para chía (*Salvia hispánica* L.)

Fases fenológicas	Observaciones del periodo vegetativo para chía	fechas	días
FASE I: Emergencia de plántula	Plántula emerge del suelo	6/07/2020	5
	2 hojas verdaderas	8/07/2020	
	crecimiento lento	13/07/2020	
FASE II: Inicio de ramificaciones	10 a 20 % de cobertura vegetal	15/07/2020	28
	crecimiento más uniforme	17/07/2020	
	8 -12 hojas verdaderas	24/07/2020	
	ramificaciones basales de 2 a 3	3/08/2020	
	altura promedio 8 cm	7/08/2020	
FASE III: Floración	crecimiento de botones florales	10/08/2020	25
	coloración de flores moradas y aromáticas	14/08/2020	
	abundante área foliar	19/08/2020	
	flores en un 50 %	24/08/2020	
	floración completa dentro y fuera de los lisímetros	31/08/2020	
FASE IV: Madures fisiológica	polinización de flores	2/09/2020	29
	Inicio de caída de flores basales	14/09/2020	
	frutos verdes y frágiles al tacto	21/09/2020	
	inicio hojas amarillentas	25/09/2020	
	Inicio de caída de hojas basales	30/09/2020	
FASE V: Madures de cosecha	final de llenado de granos	2/10/2020	37
	deshidratación de plantas dentro y fuera de los lisímetros	30/10/2020	
	hojas caídas a un 90%, granos marrones y duros	2/11/2020	
	cosecha de chía y desinstalación de lisímetros	6/11/2020	

Fuente: Elaboración propia.

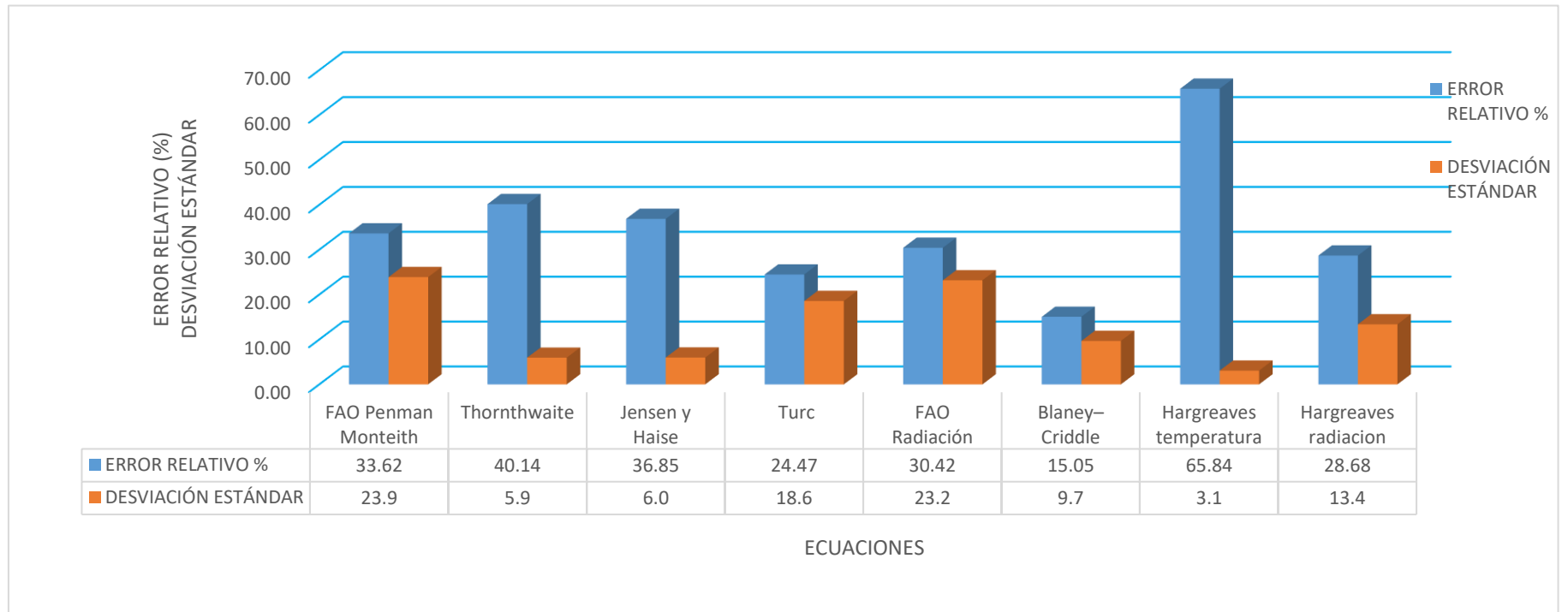
4.10. ERROR RELATIVO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA LAS ECUACIONES EMPÍRICAS EN ESTUDIO.

Cuadro 29. Resultado del error relativo (%) y desviación estándar de la evapotranspiración potencial calculada con ecuaciones proporcionalmente a la ETo del gras-lisímetro.

meses	ETo gras lisímetro	ETo FAO Penman Monteith	ERROR RELATIVO (%)	ETo Thornthwaite	ERROR RELATIVO (%)	ETo Jensen Haise	ERROR RELATIVO (%)	ETo Turc	ERROR RELATIVO (%)	ETo FAO Radiacion	ERROR RELATIVO (%)	ETo Blaney - Criddle	ERROR RELATIVO (%)	ETo Hargreaves temperatura	ERROR RELATIVO (%)	ETo Hargreaves radiacion	ERROR RELATIVO (%)
julio	3.84	5.4	41.1	2.4	38.5	2.3	39.6	4.0	3.0	5.5	44.0	4.3	12.1	1.2	69.0	4.8	25.5
agosto	3.77	6.4	69.8	2.4	36.3	2.5	32.8	4.1	8.4	6.2	63.2	4.2	12.0	1.3	64.4	5.6	49.7
setiembre	4.34	5.7	31.3	2.8	35.9	3.0	30.3	3.2	26.2	5.2	20.5	4.4	2.1	1.6	62.7	5.7	32.5
octubre	5.82	6.3	7.6	2.9	50.4	3.2	45.6	3.2	45.2	6.1	4.3	4.3	26.7	1.8	69.2	6.7	14.9
noviembre	5.47	6.5	18.3	3.3	39.6	3.5	35.9	3.3	39.5	6.6	20.1	4.2	22.4	2.0	63.9	6.6	20.8
PROMEDIO	4.65	6.05	33.62	2.75	40.14	2.91	36.85	3.55	24.47	5.91	30.42	4.29	15.05	1.58	65.84	5.90	28.68
DESVIACIÓN ESTÁNDAR			23.9		5.9		6.0		18.6		23.2		9.7		3.1		13.4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Gráfica comparativa del error relativo (%) y desviación estándar para las ecuaciones en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 29 y la figura 29 nos muestran el resultado de la prueba del error relativo (%) para los distintas maneras de ecuaciones en comparación con la del lisímetro-gras teniendo como resultado que las ecuaciones de Hargreaves temperatura y Thornthwaite presentan en promedio los resultados más altos del error relativo con 65.84 % y 40.14 % respectivamente, mientras que Blaney-Criddle y Turc presentan en promedio los resultados más bajos con 15.05 % y 24.47 % respectivamente, dejando a Hargreaves radiación, FAO Radiación, FAO Penman Monteith y Jensen-Haise con los resultados intermedios de 28.68%; 30.42%; 33.62 %; 36.85 % respectivamente, esto permite saber la precisión de la medida realizada.

Se observa en la figura 29 que las ecuaciones de FAO Penman Monteith y FAO Radiación tienen la desviación estándar más alta de 23.9 y 23.2 respectivamente, las ecuaciones de Hargreaves temperatura, Thornthwaite y Jensen-Haise tiene la desviación estándar más bajas con 3.1; 5.9 y 6.0 respectivamente, las ecuaciones de Turc, Blaney-Criddle y Hargreaves radiación con desviación estándar intermedias de 18.6; 9.7 y 13.4 respectivamente. La desviación estándar mide la variabilidad de los datos de una muestra, es la medida comúnmente utilizada para indicar el grado de dispersión de los datos respecto una media innata propio de su población internamente cuanto mayor sea la desviación estándar mayor será la dispersión de los datos (Tarazona 2017).

Observamos en el cuadro 29 que la ecuación de Hargreaves temperatura y Thornthwaite tienden a subestimar la desviación estándar a las ecuaciones restantes. Finalmente, las ecuaciones de relevancia y similitud a la evapotranspiración de referencia obtenidos por el método del lisímetro para la zona de estudio son; las ecuaciones de Blaney-Criddle (15.05 %), Turc (24.47 %) y Hargreaves radiación (28.68 %) porque son las presentan un menor error relativo en comparación de las demás ecuaciones.

V. DISCUSIÓN

- La Capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) del suelo destinado para los lisímetros en la investigación fue de 15% y 8 % respectivamente, con un suelo de textura franco arenoso y pH 7.92. La CC y el PMP son mucho mayores que los reportados por Roncalla (2018) con una CC de 5% y el PMP de 3.3.6% con una textura franco arenoso y pH 7.80, sin embargo, hay una similitud en cuanto a la textura y el pH.
- Los resultados de la evapotranspiración potencial (ET_o) por el método tanque evaporímetro clase “A” indica una ET_o máxima de 6.3 mm/día y una mínima de 5.6 mm/día con un promedio de 5.95 mm/día, estos resultados son superiores e igual solo en la ET_o máxima a lo reportado por Roncalla (2018) quien indica que por el método del tanque evaporímetro clase “A” obtuvo una ET_o máxima de 6.34 mm/día y una mínima de 2.12 mm/día con un promedio de 4.23 mm/día. Los resultados de la evapotranspiración potencial (ET_o) por el método FAO Penman Monteith indican que la ET_o máxima fue de 6.5 mm/día y la mínima de 5.4 mm/día con un promedio de 5.95 mm/día. Estos resultados son superiores a lo reportado por Roncalla (2018) quien tiene como resultado una ET_o máxima de 6.4 mm/día y mínima de 2.5 mm/día con un promedio 4.45 mm/día.
- Los resultados indican que el K_c para la fase I, fase II, fase III, fase IV y fase V fue de fue de 0.85; 0.89; 1.03; 1.01 y 0.93 similar resultado lo obtuvo Roncalla (2018) que halló un K_c de 0.68; 0.85; 0.97; 1.20 y 0.83 respectivamente, teniendo un K_c mayor en la fase IV para ambos resultados y un K_c menor en la fase I. Los estados fenológicos como la emergencia de planta fue a 5 dds, inicio de ramificaciones 33 dds, floración 58 dds, madurez fisiológica 87 dds y madurez de cosecha 124 dds similar resultado lo obtuvo Roncalla (2018) con 6 dds, 36 dds, 45 dds, 90 dds y 136 dds respectivamente.
- La ET_o calculado con el lisímetro-gras fue para el mes de julio 3.8 mm/día, agosto 3.8 mm/día, setiembre 4.3 mm/día y octubre 5.8 mm/día, mientras que los reportados por Tarazona (2017) en su investigación halló para julio 6.9 mm/día, agosto 6.1 mm/día,

septiembre 5.9 mm/día, octubre 8.9 mm/día; lo cual demuestra que los datos mayores para ambas investigaciones se reportan en el mes de octubre.

- Los resultados indican que para un periodo de 11 años (2010-2020) el mayor valor fue FAO Radiación con 5.8 mm/día y con menor valor Hargreaves temperatura con 1.5 mm/día, no se demuestra una similitud en las ecuaciones, pero si en los valores, a los resultados de Tarazona (2017) que para el período de 10 años (2007- 2016) la de mayor valor fue la ecuación Turc con 5.8 mm/día y la que menor ETo tuvo fue Blaney-Criddle con 2.1 mm/día. Para el periodo de estudio (julio 2020 – noviembre 2020) la ecuación FAO Radiación con 5.9 mm/día es la del valor alto y Hargreaves temperatura con 1.5 mm/día es la del valor bajo similar resultado lo obtuvo Tarazona (2017) para el período de estudio (mayo 2016 – octubre 2016) teniendo como el valor alto a la ecuación Thornthwaite con 5.8 mm/día mientras que el valor bajo la ecuación Blaney-Criddle con 2.1 mm/día, lo cual no demuestra una similitud en las ecuaciones pero si en los valores reportados para ambas investigaciones.
- Los resultados indican que las ecuaciones que mejor se ajustan a la evapotranspiración de referencia obtenidos por el método del lisímetro son las ecuaciones de Blaney-Criddle (15.05 %), Turc (24.47 %) y Hargreaves radiación (28.68 %) porque presentan menor error relativo, no tienen una diferencia muy marcada con los resultados de Tarazona (2017) que son las ecuaciones de Hargreaves temperatura (22.7%), Thornthwaite (21.4%) y Turc (19.6%). Esto demuestra que para ambos casos la que mejor se adapta a la ETo por el método del lisímetro es la ecuación de Turc. La ecuación FAO Radiación presento una precisión buena mientras que la Hargreaves temperatura proporciono un índice inferencial bajo, los datos obtenidos son iguales que los reportados por Ortiz R y Chile M (2020) en su investigación donde también muestra que el método FAO Radiación presentó una precisión buena y el método Hargreaves proporciono un índice inferencial bajo.
- Los resultados indican que la ETc fue de 138.29 mm para la fase inicial, 136.37 mm para inicio de ramificaciones, 180.20 mm para la floración, 173.06 mm para la madures fisiológica y 103.05 mm para la madurez de cosecha, estos valores no son muy

diferentes a los reportados por Jaime (2014) que indica que la ETc para la fase inicial fue 133.74 mm, 155.59 mm para el desarrollo, 164.87 mm para la fructificación y 152.88 mm para la madurez. Por lo tanto, la ETo tiende a subir en ambos resultados teniendo una fase inicial casi similares en ambos casos y una máxima que se reporta en la etapa intermedia del cultivo.

- Los resultados nos muestran que el Kc fue para la fase inicial 0.85, fase de inicio de ramificaciones 0.89, fase de floración 1.03, madures fisiológica 1.01 y madurez de la cosecha 0.93 estos datos difieren y son menores a los reportados por Jaime (2014) donde los Kc son 0.36; 0.73; 0.84 y 0.44 respectivamente. Por lo tanto, se demuestra que siguen el mismo esquema de todos los cultivos (fase inicial Kc bajos y durante su periodo de desarrollo se incrementa el Kc para luego disminuir debido al estado final del cultivo) se demuestra que bajo condiciones de Acobamba - Huancavelica tienen menores Kc que para las condiciones del CIFO-UNHEVAL, Huánuco.

VI. CONCLUSIONES

Concluido el trabajo de investigación “Evapotranspiración y coeficiente de cultivo para chíá (*Salvia hispánica L.*) durante su periodo de desarrollo en el CIFO-UNHEVAL” se determinaron las siguientes conclusiones:

La evapotranspiración de cultivo (ET_c) durante el periodo de desarrollo para chíá (*Salvia hispánica L.*) fue de 277.04 mm, 278.34 mm, 399.68 mm, 315.68 mm y 206.22 mm para la fase I, fase II, fase III, fase IV y fase V respectivamente, con una duración en días de 26; 30; 32; 24 y 12 respectivamente, una máxima de 6.29 mm/día el 24 de agosto y una mínima de 3.60 mm/día el 5 de octubre. La ET_c (mm /mes) para julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre fue de: 277.04; 300.67; 345.61; 455.33 y 98.45 respectivamente. La ET_c para chíá fue de 1477.09 mm de lámina de agua transpirada (14 770.9 m³/ha/campaña) para el periodo vegetativo de 124 días.

Se determino la evapotranspiración de referencia (ET_o) con el gras-lisímetro, los valores son: 3.84 mm/día, 3.77 mm/día, 4.34 mm/día, 5.82 mm/día y 5.47 mm/día para el mes de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre respectivamente. La ET_o máxima fue 6.26 mm/día y la mínima de 3.48 mm/día. La ET_o total de campaña fue de 730.98 mm para el gras. La ET_o proporcionado por el tanque evaporímetro clase “A” para los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre fueron de 5.6 mm/día, 6.3 mm/día, 5.8 mm/día, 5.8 mm/día y 6.3 mm/día respectivamente.

El K_c para chíá (*Salvia hispánica L.*) fue en la etapa inicial 0.85; etapa media 0.98 y etapa final 0.93; se obtuvo un K_c máximo de 1.11 y un mínimo de 0.85 atribuible a las condiciones reales del lisímetro en la relación agua, suelo y planta. Durante su periodo de desarrollo para chíá (*Salvia hispánica L.*) se determinó un K_c de 0.85 para la emergencia de planta; un K_c de 0.89 para inicio de ramificaciones; un K_c de 1.03 para floración; un K_c de 1.01 para la madurez fisiológica y un k_c de 0.93 para la madures de cosecha. El coeficiente de cultivo para los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre fue de 0.87; 1.00; 1.02; 0.93 y 0.90 respectivamente.

La ETo calculado con las ecuaciones de FAO Penman Monteith, Thornthwaite, Jensen y Haise, Turc, FAO Radiación, Blaney-Criddle, Hargreaves temperatura, Hargreaves radiación fueron 6.5 mm/día, 2.7 mm/día, 2.9 mm/día, 3.5 mm/día, 5.9 mm/día, 4.3 mm/día, 1.6 mm/día y 5.9 mm/día respectivamente. Se determino que para la naturaleza propia del lugar los datos de evapotranspiración a partir de las ecuaciones que mejor se ajustan a la evapotranspiración de referencia obtenidos por el método del lisímetro son: las ecuaciones de Blaney-Criddle (15.05 %), Turc (24.47 %) y Hargreaves radiación (28.68 %) porque son las que menor error relativo presentan. La ETo calculado con el promedio total de las 8 ecuaciones para los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre fue de 3.7 mm/día, 4.1 mm/día, 4.0 mm/día, 4.3 mm/día y 4.5 mm/día respectivamente.

Se concluye que hay una similitud de datos de ETo obtenidos por el método gras-lisímetro y las ecuaciones empíricas utilizadas en este estudio, el tanque evaporímetro clase "A" en el mes de octubre tiene igual ETo que el gras-lisímetro. Los promedios generales que se obtuvieron para todo en periodo de estudio fue el tanque evaporímetro con 5.96 mm, el gras-lisímetro con 4.65 mm y las 8 ecuaciones con 4.12 mm. Por otro lado, en la comparación del método FAO Penman Monteith, gras-lisímetro y el tanque clase "A" nos muestran que el método FAO Penman Monteith y el tanque clase "A" tienen ETo muy similares con casi una misma línea de tendencia, mientras que si se compara con el gras-lisímetro tiene valores más altos. Los promedios generales muestran que el gras-lisímetro tiene 4.65 mm, FAO Penman Monteith tiene 6.05 mm y el tanque clase "A" tiene 5.96 mm.

El tiempo de duración para las fases fenológicas fueron: 5 dds (emergencia de planta), 33 dds (inicio de ramificaciones), 58 dds (floración), 87 dds (madurez fisiológica) y 124 dds (madurez de cosecha). La ETc (mm/día) durante todo el periodo de desarrollo para chíca en los tratamientos fueron: T1I, 4.54; T2I, 4.55; T1II, 4.56; T2II, 4.57; T1III, 4.56 y T2III, 4.58. Para el bloque I fue 9.9; bloque II, 9.13 y bloque III, 9.14; las variedades estudiadas tienen la misma evapotranspiración.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones similares al presente trabajo para diferentes cultivos y períodos de siembra con el fin de determinar el comportamiento de la evapotranspiración de cultivo, el coeficiente de cultivo y la evapotranspiración de referencia dentro de CIFO – UNHEVAL, Huánuco. Utilizar los datos de ET_c , ET_o y K_c para trabajos que relacionen el cuidado y sostenibilidad del agua de riego para el cultivo de chía.

Plantear la aplicación de los datos obtenidos del coeficiente de cultivo para chía (*Salvia hispánica L.*) en la temporada de campaña (julio - noviembre) con la agrometeorología de la región Huánuco. Utilización del lisímetro de drenaje para poder efectuar este tipo de trabajo, lisímetros de forma circular para el cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*)

Perfeccionar los datos obtenidos de K_c y ET_c sobre la base de futuros trabajos de investigación y la práctica productiva, esto hará más sólido los valores obtenidos de evapotranspiración y coeficiente de cultivo en este trabajo de investigación.

Utilizar el cultivo de gras para la determinación de la ET_o de manera directa porque presenta valores más confiables, para calcular la ET_o de manera empírica se recomienda utilizar las ecuaciones de FAO Penman Monteith y para las condiciones del CIFO-UNHEVAL las ecuaciones de Turc, Hargreaves radiación y Blaney-Cridle.

VIII. LITERATURA CITADA

Allen, GR; Pereira, I; Raes, D; Smith, M. 2006. Estudio FAO riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie cuadernos técnicos. Roma, Italia. 298 p.

Bhabagrahi, S; Imtisenla, W; Bidyut, D; Bhagwati, B. 2012. Standardization of Reference Evapotranspiration Models for a Subhumid Valley Rangeland in the Eastern Himalayas. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. USA. 880-895 p.

Bochetti, M. 2010. Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de Chillan. Tesis Ing. Civil. Concepción, Chile, Universidad Católica de la Santísima Concepción. 32 p.

Callañaupa, GSM. 2016. Caracterización de la evapotranspiración en los cultivos alrededores del observatorio de Huancayo usando la técnica de Eddy covariancia. Tesis Ing. Geógrafo. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Castañeda, C. 2013. Estimación de la evapotranspiración mediante un balance de energía utilizando sensores remotos. Masters tesis. Montecillo, México, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.

Castañón, G. 2002. Ingeniería del riego: Utilización racional del agua. Madrid, España, editorial Thomson Paraninfo. 198 p.

Coates, W; Ayerza, R. 2006. Chía redescubriendo un olvidado alimento de los Aztecas, 4 ed. Buenos Aires, Argentina, editorial del nuevo extremo.

Di Sapio, OA; Bueno, M; Busilacchi, H; Quiroga, M; Severin, C. 2012. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo; fruto y semilla de *Salvia hispánica* L. (Lamiaceae). Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas, 249-268 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2006. Riego y drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Manual 65. Roma, Italia.

Fuentes, J. 2003. Técnicas de riego. 4° edición. Madrid, España, edit. mundi-prensa
Gómez, FR; *et al.* 2010. Manual de riegos para agricultores: riego por superficie, módulo 2. Instituto de investigación y formación agraria y pesquera, Sevilla, España.

Guevara, JM. 2003. Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Publicaciones de la Universidad Central de Venezuela. Caracas. 128 p.

Gutiérrez, JR; Khosla, S; Searcy, G; González, E; Aranda, AD; Rivera, M. 2005. La sostenibilidad de los recursos para la producción de nuez de pecana mediante el uso de nuevas tecnologías. Rev. Transferencia ITESM 18 p.

Hernández, J; *et al.* 2008. Caracterización morfológica de chíá (*Salvia hispánica* L.): Revista fitotecnia mexicana. 105-113 p.

Israelsen, H. 1985. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. Barcelona, España, Editorial reverté S.A; traducido por el Agrónomo García Palacios. 397 p.

Jaime Marmolejo, ARJ. 2014. Estudio de la evapotranspiración potencial ETp del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) con tres niveles de capa freática en la provincia y distrito de Acobamba, Huancavelica. Tesis Ing. Agrónomo. Perú, Universidad Nacional de Huancavelica.

Jaramillo Garcés, Y. 2013. La chíá (*Salvia hispanica* L.), una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos saludables. Tesis Lic. Caldas, México. 43 p.

Landon, R. 2004. An evaluation of reference evapotranspiration models in Louisiana. United States: Louisiana State University.

Lazo Perez, CJ. 2006. Tecnología para el riego. Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica CONCYTEC. Lima, Perú. 235 p.

Miranda F. 2012. Guía técnica para el manejo del cultivo de Chía (*Salvia hispánica L.*), CECOOPSEMEIN RL, Sebaco, Nicaragua.

Olalla-Valero, J. 1993. Agronomía del riego. Madrid, España, edit. mundi - prensa

Pérez, FA. 2005. Manual de riego por goteo. AUTODEMA, Arequipa, Perú.

Puppo, L; García-Petillo, M. 2010. Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República.

Randon Ortiz, C y Maritza Chile, A. 2020. Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco. Tesis Ing. Agrónomo. Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador.

Requena, A; Nordenström, G; Castillo, E. 2010. Coeficientes de cultivo de manzano en período de formación, obtenidos en lisímetros de drenaje. EEA INTA Alto Valle, Argentina. 1-5 p.

Rodríguez, E. 2012. Uso de lisímetros de drenaje artesanales para determinar el Kc de los principales estados fenológicos de la uva de mesa cv. Thompson Seedless en el valle de Aconcagua. Tesis Ing. Agrónomo, Universidad de Aconcagua, Chile. Corporación. 26-27 p.

Roncalla Chacón, TA. 2018. Determinación de coeficientes de cultivo (kc) para el cultivo de chía (*salvia hispánica L.*) por el método de lisímetros de drenaje libre en la irrigación majes. Tesis Ing. Agrónomo. Arequipa, Perú, Universidad Católica de Santa María.

Samani, Z. 2000. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data . Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 126, N° 4, 265-267 p.

Silva, H. 2012. Comunicación personal, programa FONDECYT, proyecto chía, Universidad de Chile, Santiago.

Tarazona Santos, YN. 2017. Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa willd*), mediante el método del lisímetro. Tesis Ing. Agrónomo. Huaraz, Perú. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Vásquez, VA; Vásquez, RI; Vílchez, OG. s.f. Principios básicos del riego. Breña, Perú. Impreso en los talleres gráficos de FIMART S.A.C. 263 p.

Wherley, B; Dukes, MD; Cathey, S; Miller, G; Sinclair, T. 2015. Consumptive water use and crop coefficients for warm-season turfgrass species in the Southeastern United States. Agricultural Water Management. 10-18 p.

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.

Yzarra Tito, WJ; López Ríos, FM. 2011. Manual de observaciones fenológicas. Dirección central de agrometeorología. Perú. 99 p.

ANEXO

ANEXO A

Datos para el cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*)

Cuadro 01. Altura de planta (cm)

ALTURA DE PLANTA (cm)																																					
T1 - I (LISÍMETRO 2)							T2 - I (LISÍMETRO 3)					T1 - II (LISÍMETRO 4)					T2 - II (LISÍMETRO 6)					T1 - III (LISÍMETRO 7)					T2 - III (LISÍMETRO 8)					PROMEDIO GENERAL					
S	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO	
1	1	1	1	0	1	0.8	0	0	1	3	1	1.0	1	1	0	1	1	0.8	0	1	0	1	1	0.6	1	0	1	0	1	0.6	1	1	0	1	1	0.8	0.8
2	2	1	2	2	2	1.8	1	1	2	2	2	1.6	3	2	2	2	2	2.2	1	2	2	2	2	1.8	2	1	2	1	3	1.8	2	2	2	2	2	2.0	1.9
3	4	3	3	3	4	3.4	1	2	1	7	3	2.8	4	3	4	3	4	3.6	2	3	3	4	4	3.2	2	2	3	2	2	2.2	3	4	4	4	4	3.8	3.2
4	5	5	7	4	5	5.2	5	6	7	10	5	6.6	7	5	4	4	7	5.4	5	6	5	5	7	5.6	5	6	5	7	7	6.0	6	7	7	5	5	6.0	5.8
5	9	10	8	7	5	7.8	10	6	8	12	7	8.6	10	8	7	7	8	8.0	8	9	9	7	9	8.4	9	10	9	8	10	9.2	7	9	8	5	7	7.2	8.2
6	11	15	8	8	8	10.0	15	7	10	12	9	10.6	12	10	8	10	8	9.6	10	12	15	8	12	11.4	11	14	10	11	12	11.6	8	9	8	8	7	8.0	10.2
7	17	13	13	10	11	12.8	20	8	14	16	12	14.0	15	14	11	12	10	12.4	14	15	20	15	17	16.2	14	15	14	18	12	14.6	14	15	9	9	9	11.2	13.5
8	22	17	18	15	17	17.8	22	9	17	18	15	16.2	18	19	14	15	15	16.2	18	16	25	25	25	21.8	14	15	15	25	16	17.0	17	21	12	11	14	15.0	17.3
9	24	20	22	17	19	20.4	27	15	19	19	17	19.4	20	22	17	22	18	19.8	19	19	30	30	27	25.0	15	17	17	28	18	19.0	22	26	14	15	16	18.6	20.4
10	30	22	28	19	22	24.2	32	18	25	20	19	22.8	25	27	25	25	20	24.4	25	25	35	35	35	31.0	20	20	17	30	19	21.2	25	29	16	19	22	22.2	24.3
11	32	25	33	28	25	28.6	35	20	25	22	22	24.8	30	39	34	28	25	31.2	28	37	40	45	39	37.8	40	25	24	35	20	28.8	32	33	22	22	35	28.8	30.0
12	32	28	36	33	28	31.4	40	25	29	27	25	29.2	35	44	39	33	33	36.8	29	40	47	44	37	39.4	43	37	27	39	25	34.2	37	35	28	27	45	34.4	34.2
13	40	32	44	35	30	36.2	45	29	30	30	29	32.6	40	49	45	44	39	43.4	30	40	50	44	43	41.4	45	40	35	40	35	39.0	40	39	33	33	48	38.6	38.5
14	45	32	48	39	35	39.8	50	30	35	35	33	36.6	45	52	49	47	44	47.4	35	45	59	48	50	47.4	50	45	39	45	40	43.8	45	40	40	37	52	42.8	43.0
15	49	39	50	44	39	44.2	55	35	37	35	37	39.8	55	55	54	50	44	51.6	38	50	68	50	55	52.2	52	49	39	45	45	46.0	49	44	45	44	55	47.4	46.9
16	55	42	52	49	44	48.4	57	35	40	39	39	42.0	55	59	59	55	47	55.0	40	50	70	55	59	54.8	55	50	40	55	45	49.0	50	45	55	49	65	52.8	50.3
17	60	48	59	55	54	55.2	57	40	49	39	40	45.0	60	59	70	60	50	59.8	45	71	72	59	60	61.4	59	40	45	58	50	50.4	55	50	65	55	70	59.0	55.1
18	60	48	59	55	54	55.2	57	40	49	39	40	45.0	60	59	70	60	50	59.8	45	71	72	60	60	61.6	59	40	45	58	50	50.4	55	50	65	55	70	59.0	55.2
PROMEDIO TOTAL						24.6						22.1						27.1						28.9						24.7						25.4	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 03. Datos para el análisis de varianza de altura de planta (cm)

ALTURA DE PLANTA (cm)						
Var.	TRATAMIENTOS	BLOQUES			TOTAL	PROMEDIO TRAT.
		I	II	III	Σ	X
1	blanca	24.6	27.1	24.7	76.4	25.5
2	negra	22.1	28.9	25.4	76.4	25.5
TOTAL		46.7	56.0	50.1		
PROMEDIO DE BLOQ.		23.35	28	25.05		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 04. Datos de ETc para las variedades de chíá blanca y chíá negra.

dia	Chia Var. blanca	Chia Var. negra	Chia Var. blanca	Chia Var. negra	Chia Var. blanca	Chia Var. negra
	T1- I (L2)	T2- I (L3)	T1- II (L4)	T2- II (L6)	T1- III (L7)	T2- III (L8)
6-Jul	3.80	3.80	3.80	3.82	3.80	3.78
8-Jul	3.76	3.78	3.84	3.86	3.78	3.82
10-Jul	3.82	3.64	3.90	3.90	3.82	3.78
13-Jul	4.07	4.03	4.13	4.03	4.03	4.01
15-Jul	4.11	4.05	4.05	3.99	4.03	4.09
17-Jul	4.05	3.99	4.09	4.07	4.05	4.07
20-Jul	3.68	3.65	3.67	3.73	3.71	3.76
22-Jul	3.75	3.67	3.63	3.71	3.69	3.78
24-Jul	3.69	3.71	3.74	3.74	3.69	3.69
27-Jul	3.90	3.82	3.80	3.80	3.84	3.80
29-Jul	3.88	3.82	3.82	3.82	3.84	3.80
31-Jul	3.82	3.80	3.84	3.86	3.80	3.92
3-Ago	3.82	3.86	3.84	3.88	3.92	3.90
5-Ago	3.82	3.86	3.88	3.88	3.90	3.98
7-Ago	3.90	3.88	3.86	3.84	3.87	3.94
10-Ago	4.23	4.21	4.17	4.17	4.15	4.24
12-Ago	4.19	4.24	4.15	4.15	4.21	4.21
14-Ago	4.17	4.23	4.17	4.15	4.23	4.27
17-Ago	3.74	3.78	3.82	3.73	3.80	3.82
19-Ago	3.76	3.80	3.78	3.78	3.78	3.80
21-Ago	3.76	3.80	3.82	3.76	3.78	3.80
24-Ago	3.54	3.61	3.59	3.62	3.63	3.57
26-Ago	3.59	3.63	3.58	3.63	3.58	3.57
28-Ago	3.62	3.63	3.61	3.61	3.59	3.57
31-Ago	3.66	3.73	3.72	3.73	3.74	3.73
2-Set	3.72	3.74	3.73	3.74	3.74	3.73
4-Set	3.72	3.74	3.74	3.74	3.73	3.72
7-Set	3.90	3.94	3.95	3.96	3.95	3.94
9-Set	3.86	3.94	3.94	3.94	3.94	3.92
11-Set	3.88	3.92	3.90	3.95	3.94	3.92
14-Set	4.13	4.18	4.13	4.16	4.14	4.11
16-Set	4.09	4.16	4.19	4.16	4.14	4.13
18-Set	4.11	4.18	4.11	4.14	4.13	4.11
21-Set	5.16	5.16	5.10	5.04	5.12	5.10
23-Set	5.12	5.12	5.14	5.10	5.04	5.14
25-Set	5.12	5.10	5.12	5.12	5.08	5.19
28-Set	5.31	5.25	5.31	5.25	5.31	5.37
30-Set	5.23	5.29	5.31	5.33	5.25	5.33
2-Oct	5.33	5.35	5.31	5.33	5.17	5.27
5-Oct	6.26	6.34	6.28	6.30	6.26	6.28
7-Oct	6.24	6.28	6.26	6.30	6.28	6.34
9-Oct	6.28	6.26	6.26	6.28	6.32	6.32
12-Oct	5.85	5.91	5.91	5.99	5.99	6.01
14-Oct	5.97	5.91	5.93	5.91	5.93	5.99
16-Oct	5.87	5.97	5.97	5.99	5.85	5.99
19-Oct	5.22	5.31	5.35	5.29	5.35	5.37
21-Oct	5.33	5.27	5.30	5.35	5.33	5.31
23-Oct	5.22	5.27	5.31	5.35	5.39	5.37
26-Oct	5.90	6.04	5.97	6.08	5.97	6.01
28-Oct	5.93	5.91	6.03	6.04	6.04	5.97
30-Oct	5.97	5.93	6.03	5.99	5.99	5.99
2-Nov	5.42	5.42	5.51	5.48	5.49	5.51
4-Nov	5.40	5.52	5.46	5.46	5.46	5.53
6-Nov	5.44	5.49	5.46	5.48	5.48	5.46
Promedio	4.54	4.55	4.56	4.57	4.56	4.58
Suma/Var.	Variedad blanca : 13.66			Variedad negra : 13.70		

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B

Constantes universales que fueron utilizadas en algunas ecuaciones para determinar la ETo método indirecto o empírica.

Cuadro 01. Factores a y b propios de la ETp con las características de hr, n/n y velocidad de viento en distintos meses.

n/N: 0.3 – 0.6

Humedad Relativa HR (%)	VELOCIDAD DE VIENTO DIURNO (m/seg)					
	0 a 2		2 a 5		> 5	
	A	B	A	B	A	B
< 20	-1.900	1.266	-1.800	1.433	-1.850	1.616
20 - 50	-1.700	1.100	-1.600	1.200	-1.750	1.350
> 50	-1.700	0.900	-1.530	0.933	-1.866	1.066

n/N: 0.6 – 0.8

Humedad Relativa HR (%)	VELOCIDAD DE VIENTO DIURNO (m/seg)					
	0 a 2		2 a 5		> 5	
	A	B	A	B	A	B
< 20	-2.000	1.433	-1.900	1.633	-1.800	1.866
20 - 50	-2.200	1.333	-2.000	1.433	-1.900	1.566
> 50	-1.733	1.033	-1.700	1.100	-1.566	1.166

n/N: > 0.8

Humedad Relativa HR (%)	VELOCIDAD DE VIENTO DIURNO (m/seg)					
	0 a 2		2 a 5		> 5	
	A	B	A	B	A	B
< 20	-2.350	1.650	-2.150	1.850	-1.950	2.05
20 - 50	-2.050	1.450	-1.925	1.575	-1.875	1.725
> 50	-1.600	1.100	-1.900	1.275	-1.800	1.350

Fuente: FAO (2006)

Cuadro 02. Expresión de la radiación extraterrestre (Ra) con similitud a la evaporación (mm/día)

LAT.	HEMISFERIO SUR											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.6	11.7	14.6	17.0	18.2
34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
14	15.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: FAO (2006)

Cuadro 03. Factores de ponderación (w) provenientes de la radiación sobre ETp con distintas altitudes y temperaturas.

ALTITUD (m)	TEMPERATURA (°C)																			
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.8	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.8	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
3000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89
4000	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.76	0.78	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88	0.89	0.9	0.90

Fuente: FAO (2006)

Cuadro 04. Constantes de la ETp de acuerdo a la Mf en mm/día.

LATITUD SUR	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.788	2.117	2.354	2.197	2.137	1.990	2.091	2.216	2.256	2.358	2.234	2.265
2	2.371	2.136	2.357	2.182	2.108	1.956	2.05	2.194	2.251	2.372	2.263	2.301
3	2.353	2.154	2.360	1.167	2.079	1.922	2.026	2.172	2.246	2.386	2.29	2.337
4	2.305	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888	1.995	2.15	2.240	2.398	2.318	2.372
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854	1.96	2.126	2.234	2.411	2.345	2.407
6	2.447	2.05	2.363	2.117	1.980	1.820	1.975	2.103	2.226	2.422	2.371	2.442
7	2.478	2.221	2.363	2.099	1.959	1.785	1.893	2.078	2.218	2.233	2.397	2.476
8	2.508	2.237	2.362	2.081	1.927	1.750	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.51
9	2.538	2.251	2.360	2.062	1.896	1.715	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	2.567	2.266	2.357	2.043	1.864	1.679	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	2.596	2.279	2.354	2.023	1.832	1.644	1.754	1.976	2.180	2.47	2.497	2.61
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.608	1.719	1.950	2.169	2.477	2.52	2.643
13	2.652	2.905	2.345	1.981	1.767	1.572	1.684	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	2.680	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536	1.648	1.895	2.144	2.490	2.566	2.706
15	2.707	2.326	2.334	2.937	1700	1.5	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.738
16	2.734	2.339	2.317	1.914	1.666	1.464	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.632	1.427	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.769
18	2.785	2.359	2.311	1.867	2.588	1.391	1.504	1.78	2.068	2.508	2.651	2.830
19	2.811	2.360	2.302	1.843	1.564	1.354	1.467	1.75	2.072	2.51	2.671	2.859

Fuente: FAO (2006)

Cuadro 05. Constantes del porcentaje medio diario (p) en horas anuales a latitudes del norte y sur.

LATITUD NORTE	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
LATITUD SUR	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
60	0.15	0.20	0.26	0.32	0.38	0.41	0.41	0.34	0.28	0.22	0.17	0.13
58	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.40	0.40	0.34	0.28	0.23	0.18	0.15
56	0.17	0.21	0.26	0.32	0.36	0.39	0.39	0.33	0.28	0.23	0.18	0.16
54	0.18	0.22	0.26	0.31	0.36	0.38	0.38	0.33	0.28	0.23	0.19	0.17
52	0.19	0.22	0.27	0.31	0.35	0.37	0.37	0.33	0.28	0.24	0.20	0.17
50	0.19	0.23	0.27	0.31	0.34	0.36	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.18
48	0.20	0.23	0.27	0.31	0.34	0.36	0.36	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19
46	0.20	0.23	0.27	0.30	0.34	0.35	0.35	0.32	0.28	0.24	0.21	0.20
44	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.35	0.35	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20
42	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.34	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21
40	0.22	0.24	0.27	0.30	0.32	0.34	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21
35	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.22
30	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
25	0.24	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
20	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
15	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
10	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26
5	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

Fuente: FAO (2006)

ANEXO C

Datos meteorológicos proporcionados por el SENAMHI – Huánuco para el periodo 2010 - 2020

Cuadro 01. Precipitación total mensual (mm)



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"

ESTACIÓN: CP HUÁNUCO

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Pillico Marca
Periodo: 2010 - 2020.

PARAMETRO: Precipitación Total Mensual (mm).

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	21.8	85.9	91.6	19.0	3.4	2.6	4.9	7.2	13.6	26.7	55.1	81.9
2 2011	74.3	64.0	141.6	43.9	21.1	5.7	1.9	3.7	22.6	67.7	56.6	114.2
3 2012	78.6	55.7	30.1	75.9	13.7	3.8	7.8	3.4	4.9	75.0	94.5	154.7
4 2013	36.2	90.0	92.0	33.6	5.7	10.7	12.5	22.1	6.6	37.8	71.3	76.1
5 2014	72.0	92.0	76.3	43.1	29.2	6.6	2.9	0.7	28.9	49.7	32.1	84.9
6 2015	75.6	48.9	62.3	59.0	37.8	2.8	3.9	2.3	3.1	22.7	71.4	35.3
7 2016	34.7	47.3	67.8	11.6	0.2	0.8	0.2	1.1	1.7	34.3	37.5	70.2
8 2017	72.1	70.9	74	24.6	12.3	4.0	4.8	5.1	15.9	32.3	49.4	132.1
9 2018	88.5	87.9	85.3	61.4	10.6	11.3	2.4	9.8	18.1	96.1	47.6	52.3
10 2019	116.5	56.3	130.9	20.2	9.1	12	1.1	4.4	13.4	58.5	18.5	125.2
11 2020	42.4	61.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.9	0.6	4.8	15.3	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N.º 23660 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N.º 20200006606.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág. 1 de 7

INFORMACION PREPARADA PARA: TESISISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANI BERROSPI

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHA (Salvia Nepéncia L.) DURANTE SU PERIÓDO DE DESARROLLO EN EL CIPO – UNHEVAL".



Firmado digitalmente por VERA
AREVALO Héctor Alberto FAU
20/12/2020 12:52:13
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.12.2020 12:52:13 -05:00

Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo.
Director Zonal 10
SENAMHI



Prolog. Abdo Mas A. 126 4 - Huánuco, Huánuco.
Tel: 027 - 512075 1014 405259144 RFC 95259931
Link: <http://huancaco.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe

Fuente: SENAMHI

Cuadro 02. Temperatura máxima mensual (C°)



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"



ESTACIÓN: CP HUÁNUCO

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Pillico Marca
Período: 2010 - 2020.

PARAMETRO: Temperatura Máxima Mensual (°C).

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	29.2	29.2	30.5	31.5	30.2	29.3	28.8	30.5	30.8	30.3	30.9	28.7
2 2011	29.3	27.9	27.7	29.1	29.9	29.7	28.1	29.1	29.1	30.0	32.3	29.3
3 2012	28.5	28.4	29.0	28.5	29.2	28.4	31.5	29.7	29.1	30.4	29.5	27.3
4 2013	29.1	28.6	27.9	28.9	29.3	28.5	27.7	29.2	30.3	29.5	30.0	30.0
5 2014	28.3	28.4	28.9	29.2	30.0	30.0	28.3	28.6	29.7	28.6	29.5	28.6
6 2015	30.3	28.9	29.3	28.5	29.5	28.9	28.5	29.7	30.5	30	30.3	29.8
7 2016	31.5	30.3	31.7	31.3	30.3	29	29.3	29.2	30.3	31.0	31.5	30.2
8 2017	28.8	30.3	29.7	29.7	30.2	29.5	28.7	29.9	30.0	30.5	30.5	30.1
9 2018	30.6	30.3	28.4	29.6	28.5	29.3	28.6	29.0	29.3	29.3	29.5	29.9
10 2019	29.0	29.0	29.5	30.5	30.7	29.8	29.9	28.9	30.2	29.6	30.3	28.8
11 2020	30.8	30.6	30.5	S/D	S/D	S/D	29.7	31.4	30.6	32.5	32.6	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N.° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

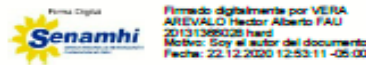
OD. REG. N° 20200006606.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág 2 de 7

INFORMACION PREPARADA PARA: TESISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANI BERROSPI.

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHIA (*Salvia hispanica* L.) DURANTE SU PERÍODO DE DESARROLLO EN EL CIFO - UNHEVAL".



Ing. Héctor Alberto Vera Arévalo.
Director Zonal 10
SENAMHI

Profg. Alvaro Moya A. Lina E. - Huánuco, Huánuco.
Tel.: 022 - 512070 RPN #955859144 RPN 92585931
Url: <http://huajuco.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe



Fuente: SENAMHI

Cuadro 03. Temperatura mínima mensual (C°)



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"

ESTACIÓN: **CP HUÁNUCO**

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Píllco Marca
Período: 2010 - 2020.

PARÁMETRO: Temperatura Mínima Mensual (°C).

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	12.7	13.6	14.5	10.0	11.2	10.6	7.4	8.3	10.2	11.2	12.0	13.4
2 2011	13.9	11.6	12.9	10.1	8.6	9.3	9.4	9.5	10.0	12.4	12.7	11.0
3 2012	13.1	13.5	12.2	12.1	10.4	8.0	7.1	8.5	9.8	12.6	12.8	13.3
4 2013	13.2	14.4	10.9	10.2	11.3	10.8	9.3	10.4	10.6	13.6	12.5	14.2
5 2014	12.7	13.1	12.6	12.4	11.2	8.3	9.0	9.1	10.3	11.3	13.0	14.9
6 2015	13.5	13.2	13.4	13.5	12.3	9.8	9.7	9.6	12.4	13.5	14.1	12.7
7 2016	13.6	14.5	14.3	12.4	10.5	9.4	9.1	9.5	11.7	13.4	12.9	13.2
8 2017	12.5	13.6	13.4	13.1	13.6	10.0	6.0	10.2	13.6	13.0	14.5	12.9
9 2018	11.2	13.8	13.5	11.0	11.2	8.0	8.7	9.7	9.4	13.5	15.3	10.5
10 2019	12.2	13.9	13.5	12.3	9.6	8.9	8.0	6.9	10.3	12.5	11.5	12.8
11 2020	13.5	14.5	14.3	S/D	S/D	S/D	10	8.6	12.1	10.9	13.5	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N.º 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N.º 20200006606.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág 3 de 7



INFORMACIÓN PREPARADA PARA: **TESISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANÍ BERROSPÍ.**

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHIA (*Salvia hispánica* L.) DURANTE SU PERÍODO DE DESARROLLO EN EL CIFO - UNHEVAL".



Firmado digitalmente por VERA ARREVALO/Hector Alberto FALU 20131369026 hard Motivo: Soy el autor del documento

Ing. Héctor Alberto Vera Arrevalo
Director Zonal 10
SENAMHI

Políg. Abtao Mza A Lta 4 - Huánuco, Huánuco
Tel: 062 - 512510 R/FM #05080144 R/PC #05080001
Link: <http://huancu.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe

Fuente: SENAMHI

Cuadro 04. Humedad relativa media mensual (%)



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"

ESTACIÓN: **CP HUÁNUCO**

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Pillico Marca
Período: 2010 - 2020.

PARÁMETRO: Humedad Relativa Media Mensual (%).

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	66	69	68	64	61	61	59	57	58	61	65	70
2 2011	72	75	75	70	64	62	61	59	60	65	64	69
3 2012	67	69	66	70	64	62	59	58	60	62	67	71
4 2013	65	71	71	65	65	64	61	61	57	63	67	66
5 2014	68	68	69	64	64	61	61	58	60	63	63	66
6 2015	65	70	67	69	68	63	61	58	57	61	64	66
7 2016	63	69	66	63	62	60	58	59	60	60	58	66
8 2017	71	67	69	68	65	60	60	59	61	62	65	67
9 2018	69	68	67	70	64	63	63	62	59	70	69	67
10 2019	70	69	71	69	65	63	63	59	60	63	66	75
11 2020	71	69	65	S/D	S/D	S/D	61	58	61	61	60	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23960 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 20200005806.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág. 4 de 7



INFORMACION PREPARADA PARA: **TESISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANI BERROSPÍ.**

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHIA (Salvia hispánica L.) DURANTE SU PERÍODO DE DESARROLLO EN EL CIFO - UNNEVAL".



Firma Digital
Firmado digitalmente por VERA
ARREVALO Hector Alberto FALU
20131366228 hard
Motivo: Soy el autor del documento

Ing. Héctor Alberto Vera Arrevalo
Director Zonal 10
SENAMHI
Fulg. Abtes Mza A Lta 4 - Huánuco, Huánuco.
Tel: 062 - 512510 131M #05886144 131C 502589601
Link: <http://huancu.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe

Fuente: SENAMHI

Cuadro 05. Velocidad de viento media mensual (m/s)



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"

ESTACIÓN: CP HUÁNUCO

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Pillico Marca
Periodo: 2010 - 2020.

PARÁMETRO: Velocidad de Viento Media Mensual (m/s).

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	4.0	3.7	3.4	3.6	3.8	4.4	4.6	4.3	4.3	3.8	3.4	3.2
2 2011	3.3	2.4	2.1	2.7	3.3	4.0	4.2	4.5	4.0	3.4	4.1	2.8
3 2012	3.5	3.8	3.6	3.1	3.5	4.1	4.0	4.5	4.0	3.0	3.2	3.4
4 2013	3.7	3.1	2.7	3.6	3.4	3.4	3.6	3.8	3.9	3.9	3.5	3.6
5 2014	3.4	4.1	3.8	3.6	3.8	4.0	4.6	4.3	4.4	2.9	3.4	3.5
6 2015	4.0	3.4	3.6	3.0	3.8	4.5	4.7	4.8	4.8	4.4	4.3	4.4
7 2016	4.8	4.5	3.7	4.0	3.9	3.9	4.4	4.5	4.6	4.6	4.5	3.1
8 2017	3.2	3.3	3.3	3.6	4.4	5.2	5.0	4.7	4.8	4.9	4.0	3.7
9 2018	4.3	4.7	4.9	2.5	4.2	4.4	4.8	4.5	5.0	4.1	4.1	4.9
10 2019	3.7	4.8	4.1	4.3	4.7	4.9	5.1	5.2	4.3	5.2	4.7	4.2
11 2020	5.0	4.3	4.4	S/D	S/D	S/D	4.9	5.4	5.2	5.1	5.2	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N.º 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N.º 20200005606.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág 5 de 7

INFORMACION PREPARADA PARA: TESISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANI BERROSPÍ.

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHA (Salvia Hispanica L.) DURANTE SU PERÍODO DE DESARROLLO EN EL CIFO - UNHEVAL"



Firmado digitalmente por VERA
AREVALO Héctor Alberto FAU

Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo,
Director Zonal 10
SENAMHI

Prolg. Abtes Miza A. Lla 4 - Huánuco, Huánuco.
Tel.: 062 - 510210 RPN #055889144 RPPC 952569621
Link: <http://huancuco.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe



Fuente: SENAMHI

Cuadro 06. Horas de sol total mensual



2018 al 2027 al "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"

ESTACIÓN: **CP HUÁNUCO**

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Pillico Marca
Período: 2010 - 2020.

PARÁMETRO: Horas de Sol Total Mensual.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	142.6	122	153.1	178.7	222.2	239.9	266.9	244.2	185.8	164.8	142.7	108.8
2 2011	93.8	75.8	96.8	164.3	219.7	231.3	242.4	251	166.5	134	155.6	110.1
3 2012	142.5	102	134.7	S/D	219.8	221.4	263.9	243.9	159.9	165.9	130.6	127.5
4 2013	158.3	88.6	100.4	205.7	193.9	165.6	218.7	214.6	315.6	164.7	133.7	130.5
5 2014	108.9	94.9	130.1	S/D	199.6	251.9	220.9	215.7	183.7	137.2	159.1	130.9
6 2015	129.7	88.6	116.8	124.5	158.9	226.9	256.7	254.5	216.1	169.4	143.3	137.4
7 2016	177.2	125.9	142.5	203.8	232.1	232.7	259.8	231.8	172.9	168.7	190.4	144.5
8 2017	85.1	99.9	132.5	S/D	195.6	212.6	264.3	230.5	157.5	199.2	120.2	140.9
9 2018	115.4	127.9	146.3	151.7	231	187.7	201.1	204.7	210	118.9	129.5	133
10 2019	95.6	126	137.8	168.7	229.5	236.8	225.9	247.9	165	170	145	107.9
11 2020	137.7	114.9	S/D	S/D	S/D	S/D	235.4	238.8	132.5	152	158.2	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N.º 23580 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N.º 20200006806.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág. 0 de 7



INFORMACION PREPARADA PARA: **TESISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANI BERROSPI.**

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHIA (Salvia hispánica L.) DURANTE SU PERÍODO DE DESARROLLO EN EL CIFO - UNNEVAL".



Firmado digitalmente por VERA
ARIEVALDO Hector Alberto FALU
201313060228 hard
Motivo: Soy el autor del documento

Ing. Héctor Alberto Vera Arévalo.
Director Zonal 10
SENAMHI

Prolog. Abtao Mza A Lta 4 - Huánuco, Huánuco.
Tel: 062 - 512510 RPPM #655889144 RPPC #5258931
Link: <http://datos.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe

Fuente: SENAMHI

Cuadro 07. Evaporación media mensual (mm/día)



2018 al 2027 al "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".
"Año de la Universalización de la Salud"

ESTACIÓN: **CP HUÁNUCO**

LATITUD: 09° 57' 07.24" S
LONGITUD: 76° 14' 44.80" W
ALTITUD: 1947 msnm

DPTO.: Huánuco
PROV.: Huánuco
DIST.: Pillico Marca
Período: 2010 - 2020.

PARÁMETRO: Evaporación Media Mensual.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2010	5.8	5.3	5.9	6.0	6.1	6.2	6.6	6.8	5.8	5.6	4.7	3.9
2 2011	3.4	3.2	3.2	3.8	4.7	4.9	5.1	3.4	3.3	2.7	2.9	2.0
3 2012	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
4 2013	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
5 2014	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
6 2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
7 2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
8 2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.9	5.6	6.7	4.5	4.9
9 2018	4.5	5.0	4.7	4.0	5.3	4.5	5.1	5.5	6.3	4.7	5.3	5.4
10 2019	4.6	5.3	4.7	4.9	5.2	5.2	5.3	6.2	5.6	5.5	5.7	4.8
11 2020	5.4	5.0	S/D	S/D	S/D	S/D	5.6	6.3	5.8	5.8	6.3	-

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N.º 23580 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N.º 20200006606.

HUÁNUCO, 22 DE DICIEMBRE DEL 2020.

Pág. 7 de 7

INFORMACION PREPARADA PARA: **TESISTA: NEY FRANKLIN, HUAMANI BERROSPÍ.**

OBRA: "EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO PARA CHA (Salvia hispanica L.) DURANTE SU PERÍODO DE DESARROLLO EN EL CIFO - UNHEVAL".

Firma Digital

Firmado digitalmente por VERA AREVALO Hector Alberto FAU
20131346628 hand
Motivo: Soy el autor del documento

Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo.
Director Zonal 10
SENAMHI
Proy. Aldea Niza A Un 4 - Huánuco, Huánuco.
Tel.: 062 - 5 12075 R/FM 8055826 144 R/PC 802589231
Link: <https://huancu.senamhi.gob.pe/>
www.senamhi.gob.pe

Fuente: SENAMHI

ANEXO D**Panel fotográfico de la investigación realizada.**

Figura 01. Preparación de terreno.



Figura 02. Delimitación y excavación para los lisímetros.



Figura 03. Llenado de grava, arena y tierra.



Figura 04. Calibración de los lisímetros.



Figura 05. Prueba de percolación.



Figura 06. Ubicación de los lisímetros.



Figura 07. Semillas de chía (*Salvia hispánica L.*) var. negra y var. blanca.



Figura 08. Primer riego para la siembra.



Figura 09. Siembra de la chía variedad blanca



Figura 10. Germinación.



Figura 11. Estación meteorológica del SENAMHI, Pillco Marca, Huánuco, Perú.



Figura 12. Planta en etapa inicial.



Figura 13. Etapa de crecimiento medio.



Figura 14. Agua aplicada al lisímetro.



Figura 15. Riego.

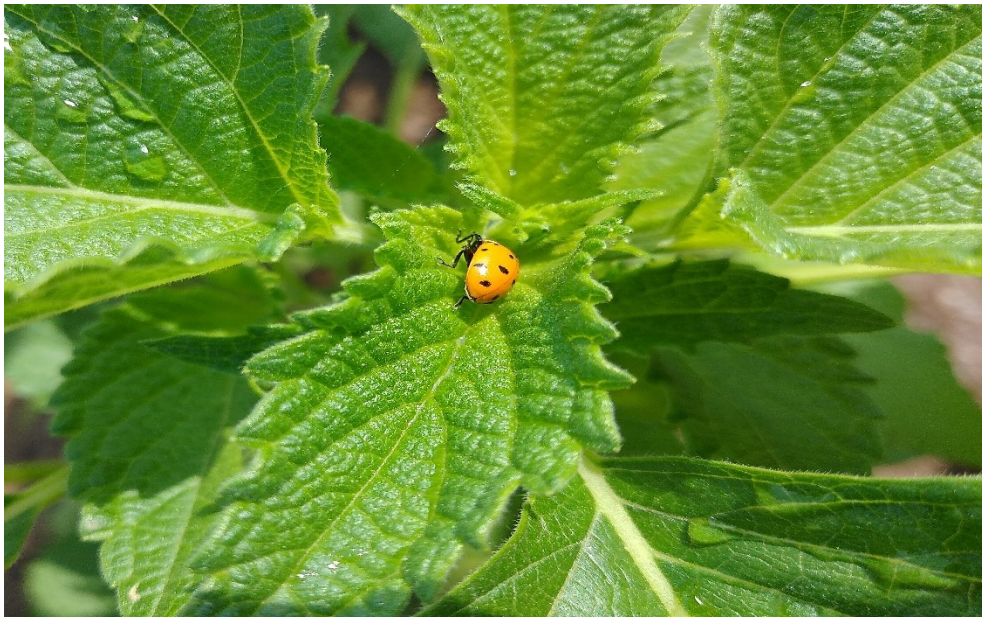


Figura 16. Control biológico.



Figura 17. Etapa de floración en los lisímetros: T2II; T1I y T2III



Figura 18. Cultivo de referencia (gras) en el T0II



Figura 19. Etapa de floración en el lisímetro T1II.



Figura 20. Crecimiento del gras.



Figura 21. Fertilización NPK.



Figura 22. Altura de planta.



Figura 23. Polinización.



Figura 24. Baner de la investigación.



Figura 25. Corte del gras.



Figura 26. Toma de datos.



Figura 27. Crecimiento del gras.



Figura 28. Caída de hojas, etapa final.



Figura 29. Cosecha y desinstalación de los lisímetros.

ANEXO E

Análisis de suelo

Cuadro 01. Análisis de suelo

Determinación	Resultados	Unidades
Arena	63	%
Limo	19	%
Arcilla	18	%
Textura	Franco Arenoso	FrAr
Ph	7.92	Unidades de Ph
Materia orgánica (MO)	2.37	%
Nitrógeno(N)	0.11	%
Potasio(K)	88.96	ppm
Fosforo(P)	8.23	ppm
Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	15.30	meq/100g
Calcio (Ca)	12.86	Cmol/Kg
Magnesio (Mg)	2.08	Cmol/Kg
Potasio(K)	0.13	Cmol/Kg
Sodio (Na)	0.23	Cmol/Kg

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) con código de laboratorio N° 12 - S4534

ANEXO F

Planos del área donde se realizó la investigación.

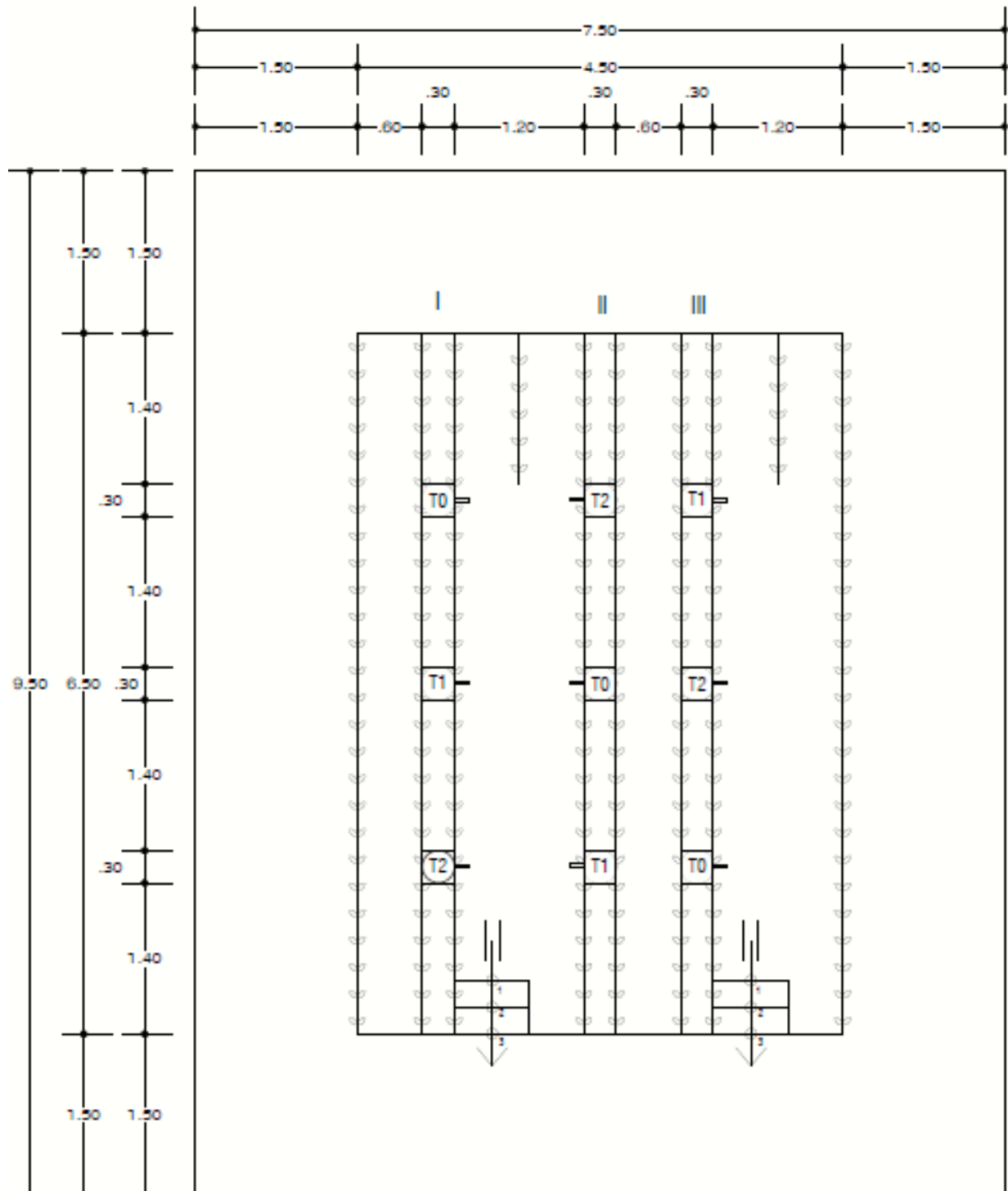
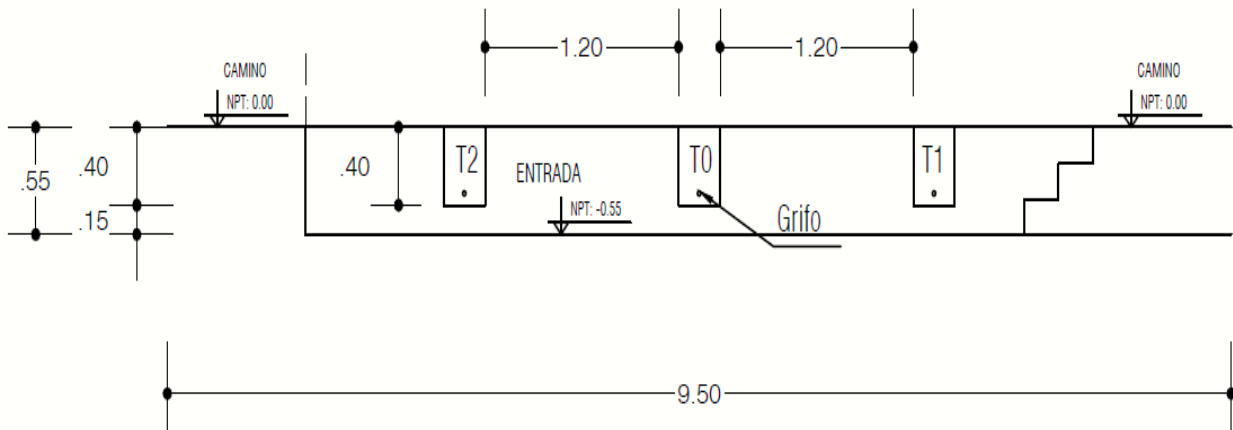
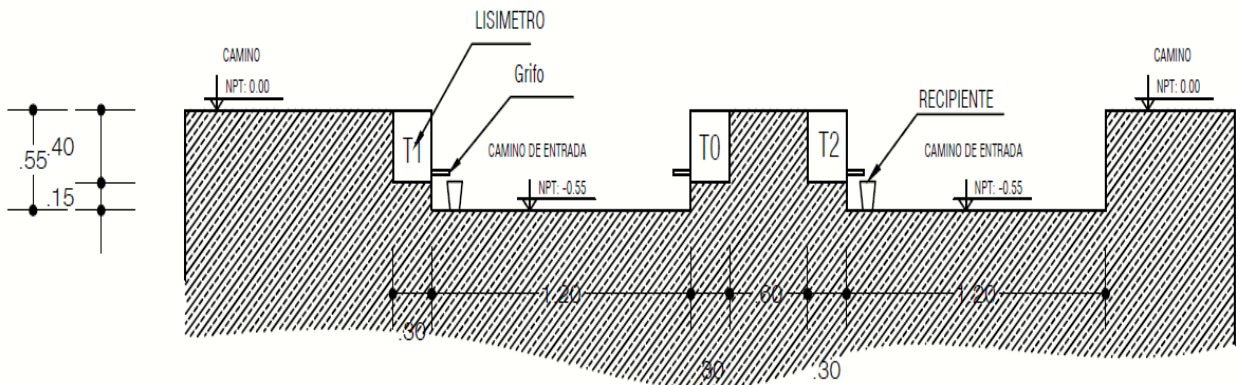


Figura 01. Plano del campo experimental.
Fuente: Elaboración propia.



CORTE A - A
ESC: 1/50

Figura 02. Plano corte A – A.
Fuente: Elaboración propia.



CORTE B - B
ESC: 1/50

Figura 03. Plano corte B – B.
Fuente: Elaboración propia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Nombre del investigador: **Huamani Berrospi, Ney Franklin**

Título de la investigación: **Evapotranspiración y coeficiente de cultivo para chía (*Salvia hispánica L.*) durante su periodo de desarrollo en el CIFO-UNHEVAL.**

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál será la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) durante su periodo de desarrollo en el CIFO-UNHEVAL?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) durante su periodo de desarrollo en el CIFO – UNHEVAL.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Se podrá determinar la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo para chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) durante su periodo de desarrollo en el CIFO-UNHEVAL.</p>	<p>Variable I Velocidad de viento Horas de sol Precipitación Temperatura Radiación solar Humedad relativa</p> <p>Variable II -Evapotranspiración de cultivo (ET_c) - Coeficiente de cultivo (K_c) - Chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) variedad blanca y variedad negra -Evapotranspiración de referencia (ET_o)</p> <p>Variable III Condiciones agroclimáticas</p>	<p>m/s horas mm C° MJ/m² %</p> <p>mm/día</p> <p>adimensional</p> <p>fase inicial fase desarrollo fase fructificación fase maduración</p> <p>gras y ecuaciones empíricas</p> <p>suelo y agua</p>

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	SUB VARIABLES	SUB INDICADORES
¿Se podrá obtener la evapotranspiración de referencia del gras con la herramienta lisimétrica?	Obtener la evapotranspiración de referencia del gras con la herramienta lisimétrica.	Es probable obtener la evapotranspiración de referencia del gras con la herramienta lisimétrica.	Lisimetro-gras	mm/día
¿Se conseguirá determinar la evapotranspiración potencial a partir de diferentes ecuaciones empíricas con el uso de parámetros climáticos para la naturaleza propia del lugar?	Determinar la evapotranspiración potencial a partir de diferentes ecuaciones empíricas con el uso de parámetros climáticos para la naturaleza propia del lugar.	Es probable determinar la evapotranspiración potencial a partir de diferentes ecuaciones empíricas con el uso de parámetros climáticos para la naturaleza propia del lugar.	Datos meteorológicos para un periodo de once años (2010-2020)	FAO Penman Monteith Thorntwaite Jensen-Haise Turc FAO Radiación Blaney–Criddle Hargreaves temperatura Hargreaves radiación
¿Se logrará comparar los datos de la evapotranspiración de referencia calculados con el lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y ecuaciones empíricas?	Comparar los datos de la evapotranspiración de referencia calculados con el lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y ecuaciones empíricas.	Es probable comparar los datos de la evapotranspiración de referencia utilizando el lisímetro-gras, tanque evaporímetro clase “A” y ecuaciones empíricas.	Lisimetro-gras Tanque de evaporación clase “A” Ecuaciones empíricas	mm/día mm/día mm/día

TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
<p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicada, porque se aplicará las teorías científicas sobre la evapotranspiración y coeficiente de cultivo, las fórmulas directas e indirectas, los datos agroclimáticos del SENAMHI, Pillco Marca, Huánuco y el cultivo de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>).</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Experimental, porque se manipulará las variables independientes (precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa, insolación, velocidad de viento) y se evaluó el efecto en la variable dependiente la evapotranspiración de cultivo (ETc), coeficiente de cultivo (Kc), cultivo de chía (<i>Salvia hispánica L.</i>) y el gras.</p>	<p>Población</p> <p>El presente trabajo de investigación tendrá como población a todas las plantas de cultivo de chía y el cultivo de referencia (gras), sembradas en las condiciones agroclimáticas del CIFO.</p> <p>Muestra</p> <p>Será constituido por 9 unidades experimentales con instalaciones de lisímetros, 6 para el cultivo de chía y 3 para el cultivo de referencia (gras) distribuidos en 30 y 45 plantas por tratamiento respectivamente, cada área neta experimental (lisímetro) con 10 plantas de chía ó 15 plantas de gras.</p> <p>Tipo de muestreo</p> <p>Se utilizará el probabilístico en su forma de Muestreo Aleatorio Simple (MAS) porque cada planta de chía tuvo la misma probabilidad de formar parte de los lisímetros.</p>	<p>Tipo de diseño</p> <p>Será experimental en su forma Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones, tres tratamientos y nueve unidades experimentales.</p> <p>Técnicas estadísticas</p> <p>Se utilizará la técnica estadística de Análisis de Varianza (ANDEVA) o prueba de Fisher (F) para determinar la significación entre bloques y tratamientos a un margen de error del 0.01 y 0.05, mientras que para la comparación de los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan un margen de error del 0.01 y 0.05.</p>	<p>Técnicas bibliográficas</p> <p>- observación</p> <p>- fichaje</p> <p>Técnica de campo</p> <p>- análisis de contenido</p>	<p>Instrumentos</p> <p>- fichas de registro o localización (bibliográficas y hemerográficas)</p> <p>- fichas de documentación e investigación (textuales, resumen, comentario.)</p> <p>Instrumento</p> <p>- libreta de campo</p>