



**Determinación del coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado**

Tabango Cacoango, Ana Gabriela

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Aguirre, María Soledad, Mgtr.

27 de enero de 2023



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Certificación:**

Certifico que el trabajo de titulación: **Determinación del coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado**, fue realizado por la señorita: **Tabango Cacoango, Ana Gabriela**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de enero 2023



Firmado electrónicamente por:  
**MARIA SOLEDAD AGUIRRE**

**Ing. Aguirre, María Soledad, Mgtr.**

C. C:1103460018

## Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos

28/1/23, 16:10

Revisión plagio Tesis Srta. Ana Gabriela Tabango Cacoango enero 2023

### Informe de originalidad

---

#### NOMBRE DEL CURSO

Revisión plagio tesis

#### NOMBRE DEL ALUMNO

ANA GABRIELA TABANGO CACOANGO

#### NOMBRE DEL ARCHIVO

ANA GABRIELA TABANGO CACOANGO - Revisión plagio Tesis Srta. Ana Gabriela Tabango Cacoango enero 2023.

#### CREACIÓN DEL INFORME

27 ene 2023

---

#### Resumen

Pasajes marcados	1	0.1 %
Pasajes citados/entrecomillados	1	0.2 %

#### Coincidencias en la Web

uajms.edu.bo	1	0.2 %
espe.edu.ec	1	0.1 %

---



MARIA SOLEDAD  
AGUIRRE

**Ing. Aguirre, María Soledad, Mgtr.**

C.C:1103460018



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**  
**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Tabango Cacoango, Ana Gabriela**, con cédula de ciudadanía No. 1723531826, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo titulación: **Determinación del coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de enero de 2023

.....  
**Tabango Cacoango, Ana Gabriela**  
C.C.: 1723531826



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**  
**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Autorización de Publicación**

Yo, **Tabango Cacoango, Ana Gabriela**, con cédula de ciudadanía No. 1723531826 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Determinación del coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de enero de 2023

.....  
**Tabango Cacoango, Ana Gabriela**  
C.C.: 1723531826

## **Dedicatoria**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, a la Virgen de Quinche y a mi bello Ángel del cielo Angelita Quilo, por ser mi guía espiritual, mi fe más grande de mi vida cotidiana y de mi carrera profesional, por permitirme superar mis momentos difíciles y levantarme con fuerza para culminar con éxito esta gran etapa.

A mis padres, Santos Tabango y Dolores Cacoango, gracias infinitas por ser mi mejor inspiración, fuerza y amor incondicional en mi vida, saben que sin ustedes ninguno de mis sueños se hubiera hecho realidad, son mi fortaleza y mis ganas de superarme cada día, gracias por nunca dejarme sola y luchar conmigo para cumplir mis objetivos.

A mi esposo, Bryan Uyana por ser mi gran apoyo desde el primer día que nos conocimos en la Universidad, nunca me dejaste caer, eres mi gran ejemplo y cómplice de vida; A mi hijo, Elián Uyana por ser el motor de mi vida desde que supe que venias en camino, los amo con todo mi corazón.

A mi hermana, Diana Cacuango por ser la inspiración más grande en mi vida profesional, porque siempre fuiste ese pilar de verte y saber que todo con esfuerzo y perseverancia se puede lograr. A mis hermanos, Deivy y Leidy Cacuango quiero que se sientan orgullosos de mí, recuerden que mientras exista el apoyo de nuestros padres, lo que tengamos en mente siempre se podrá cumplir y, a mi primo Gem Cadena por ayudarme a que se culmine con éxito gran parte de mi proyecto de tesis.

## **Agradecimientos**

Primero quiero agradecer infinitamente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, por haberme permitido formar parte de ella y abrirme las puertas de sus increíbles aulas para poder prepararme profesionalmente en mi carrera, así como a mis docentes quienes me brindaron de sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante y hoy poder cumplir con mi objetivo.

Agradezco a mi tutora de tesis a la Ing. Aguirre, María Soledad, Mgtr., por darme la oportunidad de brindarme todo su conocimiento y capacidad, así como también el haberme tenido toda la paciencia del mundo para poder culminar con éxito el desarrollo de mi trabajo de titulación.

Mi agradecimiento al Ing. Arce Carriel, Marcelo Raúl, Mgtr. y al Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal, Mgtr. por su colaboración durante mi proceso de trabajo de titulación.

Para finalizar, quiero agradecerles a mis grandes amistades que hice durante mis años de carrera Universitaria Jennifer Vilatuña, Flor Guaña, Lesly Lugmaña, Bryan Oviedo y Marlon Quinapanta gracias por su amistad y apoyo moral que aportaron en mí las ganas de seguir adelante y no rendirme.

## Índice de contenidos

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Certificado .....</b>	<b>2</b>
<b>Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos...</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de contenidos .....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>14</b>
<b>Índice de ecuaciones .....</b>	<b>15</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>16</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>18</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>20</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>22</b>
<i>Objetivo general.....</i>	<i>22</i>
<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>22</i>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>23</b>



<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>24</b>
<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>24</b>
Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	24
Métodos para estimar la ET <sub>o</sub> .....	24
Método Indirecto.....	25
<i>Método Penman-Monteith FAO56 (PM-FAO56)</i> .....	25
Método directo.....	26
<i>Tanque Evaporímetro Clase A (T<sub>evap. Clase A</sub>)</i> .....	26
<i>Coeficiente del tanque evaporímetro clase A (Coeficiente K<sub>p</sub>)</i> .....	27
Métodos indirectos para determinar el coeficiente K <sub>p</sub> del T <sub>evap. Clase A</sub> .....	29
<i>Método de Allen-Pruitt (AP)</i> .....	29
<i>Método de Cuenca (C)</i> .....	29
<i>Método de Snyder (S)</i> .....	29
<i>Método de Pereira (P)</i> .....	29
<i>Método FAO56 (FAO56)</i> .....	30
<i>Método de coeficiente K<sub>p</sub> medido (K<sub>pm</sub>)</i> .....	30
Datos climáticos para estimar el coeficiente K <sub>p</sub> .....	30
<i>Humedad relativa del ambiente (HR)</i> .....	30
<i>Velocidad del viento (U<sub>2</sub>)</i> .....	31
Medición de variables climáticas bajo invernadero .....	31
Cultivo Rye grass .....	32
Rizotrones .....	32
Requerimiento de riego bajo invernadero .....	32

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>35</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>35</b>
Ubicación y características del lugar de investigación .....	35
Métodos para estimar el coeficiente $K_p$ .....	36
<i>Cálculo del coeficiente <math>K_p</math> medido (<math>K_{pm}</math>).....</i>	<i>36</i>
<i>Cálculo del coeficiente <math>K_p</math> estimado (<math>K_{pe}</math>).....</i>	<i>37</i>
Medición de variables climáticas bajo invernadero .....	39
Aplicación de riego bajo invernadero .....	40
Análisis estadístico .....	42
Criterios de evaluación .....	42
<i>Error medio absoluto (MAE).....</i>	<i>43</i>
<i>Coefficiente de determinación (<math>R^2</math>) .....</i>	<i>43</i>
<i>Raíz del error cuadrático medio (RMSE).....</i>	<i>43</i>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>44</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo agosto 2021-enero 2022. ....	44
Coeficiente $K_p$ medido diario y $K_{pm}$ decenal obtenido con base a la información climatológica colectada bajo invernadero, para el periodo agosto 2021-enero 2022. ....	55
Correlaciones entre los valores estimados y medidos del coeficiente $K_p$ diario y $K_p$ decenal bajo invernadero, en el periodo agosto 2021-enero 2022.....	58
Análisis de los criterios de evaluación de coeficientes $K_{pe}$ diarios y $K_{pe}$ decenales Vs. coeficiente $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022. ....	61

Determinación de <i>ETo</i> diaria y <i>ETo</i> decenal bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022.....	64
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
Conclusiones.....	71
Recomendaciones.....	73
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>75</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo agosto 2021 .....	45
<b>Tabla 2</b> Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo septiembre 2021.....	46
<b>Tabla 3</b> Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo de octubre 2021 .....	48
<b>Tabla 4</b> Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo noviembre 2021.....	50
<b>Tabla 5</b> Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo diciembre 2021.....	52
<b>Tabla 6</b> Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo enero 2022 .....	53
<b>Tabla 7</b> Valores promedios, máximos y mínimos del coeficiente $K_{pm}$ diario y $K_{pm}$ decenal colectados bajo invernadero en la Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022 .	56
<b>Tabla 8</b> Valores prom, max y min del coeficiente $K_p$ diario, para la serie meteorológica colectada bajo invernadero en la Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022 ...	57
<b>Tabla 9</b> Valores prom, max y min del coeficiente $K_p$ decenal, para la serie meteorológica colectada bajo invernadero en la Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022 ...	58
<b>Tabla 10</b> Análisis estadístico diario de criterios de evaluación, entre el coeficiente $K_{pe}$ Vs. el coeficiente $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022.....	62
<b>Tabla 11</b> Análisis estadístico decenal de criterios de evaluación, entre el coeficiente $K_{pe}$ Vs. el coeficiente $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022.....	63

**Tabla 12** Datos de la  $ET_o$  diaria medida con el  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero, localidad  
Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022 .....65

**Tabla 13** Datos de la  $ET_o$  decenal medida con el  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero, localidad  
Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022 .....67

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Características del $T_{evap}$ . Clase A.....	27
<b>Figura 2</b> Distancia entre el $T_{evap}$ . Clase A y el cultivo de referencia.....	28
<b>Figura 3</b> Mapa de ubicación del sitio de investigación Hcda. El Prado. ....	35
<b>Figura 4</b> Instalación del $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero .....	37
<b>Figura 5</b> Estación meteorológica inalámbrica Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi OSPREY bajo invernadero.....	40
<b>Figura 6</b> Medición de la lámina de agua evaporada en el $T_{evap}$ . Clase A.....	40
<b>Figura 7</b> Correlación entre los valores estimados y medidos del coeficiente $K_p$ diario bajo invernadero, en el período agosto 2021-enero 2022 .....	59
<b>Figura 8</b> Correlación entre los valores estimados y medidos del coeficiente $K_p$ decenal bajo invernadero, en el período agosto 2021-enero 2022 .....	60
<b>Figura 9</b> Comparación diaria de la $ET_o$ FAO56 con $ET_o$ ( $K_p=0,65$ ) y $ET_o$ ( $K_p=0,73$ ) vs. tiempo, bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022 .....	68
<b>Figura 10</b> Comparación decenal de la $ET_o$ FAO56 con $ET_o$ ( $K_p=0,65$ ) y $ET_o$ ( $K_p=0,73$ ) vs. tiempo, bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022 .....	69

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> Penman-Monteith <i>FAO56</i> .....	26
<b>Ecuación 2</b> Humedad relativa media ( $HR_{media\%}$ ).....	30
<b>Ecuación 3</b> Lámina neta .....	33
<b>Ecuación 4</b> Lámina bruta .....	34
<b>Ecuación 5</b> Frecuencia de riego.....	34
<b>Ecuación 6</b> Tiempo de riego .....	34
<b>Ecuación 7</b> Lámina de riego.....	34
<b>Ecuación 8</b> Método del $K_{pm}$ .....	36
<b>Ecuación 9</b> $K_p$ AP .....	37
<b>Ecuación 10</b> $K_p$ C .....	38
<b>Ecuación 11</b> $K_p$ S .....	38
<b>Ecuación 12</b> $K_p$ P .....	38
<b>Ecuación 13</b> $K_p$ -FAO56 .....	39
<b>Ecuación 14</b> Error medio absoluto ( <i>MAE</i> ) .....	43
<b>Ecuación 15</b> Coeficiente de determinación ( $R^2$ ).....	43
<b>Ecuación 16</b> Raíz del error cuadrático medio ( <i>RMSE</i> ) .....	43
<b>Ecuación 17</b> Evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado. ....	64

## Resumen

El coeficiente del tanque evaporímetro Clase A ( $K_p$ ), permite corregir las disimilitudes entre la lámina de agua evaporada en el tanque evaporímetro Clase A ( $E_v$ ) y la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ). El tanque evaporímetro Clase A ( $T_{evap. Clase A}$ ) es un método directo para la estimación de  $ET_o$ . La presente investigación tuvo como objetivo determinar el coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal, para estimar  $ET_o$  bajo un invernadero de características multitúnel y dimensiones (22.40m x 35.90m), en la localidad Hcda. El Prado (0°23'20'' S, 78°24'54'' O, 2733 m.s.n.m), periodo agosto 2021-enero 2022. En esta investigación se utilizó un  $T_{evap. Clase A}$  de forma circular, color blanco, diámetro 120,7cm, profundidad 25cm, espesor 3mm, material hierro galvanizado; ubicado en el centro del invernadero. Los métodos empíricos usados en la estimación del coeficiente  $K_p$  fueron: *Allen-Pruitt*, *Cuenca*, *Snyder*, *Pereira* y *FAO56*, basados en velocidad del viento ( $U_2$ ,  $m.s^{-1}$ ), humedad relativa media ( $HR_{media}$ , %) y, distancia entre el cultivo y  $T_{evap. Clase A}$  ( $F$ , m). Para estimar el coeficiente  $K_p$  medido del  $T_{evap. Clase A}$  ( $K_{pm}$ ), se calculó la  $ET_o$  mediante la ecuación de *Penman-Monteith FAO56* y, se midió la  $E_v$  del  $T_{evap. Clase A}$  de manera diaria. Se colectaron datos climáticos diarios cada 30 min, a través de estaciones meteorológicas automáticas (WS-2317 Weather Pro Center; Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi), instaladas en el centro del invernadero. Los requerimientos hídricos del cultivo fueron cubiertos por un sistema de riego microaspersión. Se obtuvieron como resultados, un valor promedio del coeficiente  $K_p$  diario=0,74 y  $K_p$  decenal=0,73; se seleccionó los métodos de *Cuenca* y *Allen-Pruitt* para estimar el coeficiente  $K_p$  diario bajo invernadero, con un *MAE* (0,155; 0,156), *RMSE* (0,178; 0,180) y, en relación al estadístico  $R^2$  (0,383; 0,382) no mostraron diferencia significativa; los métodos empíricos seleccionados para estimar  $K_p$  decenal fueron *Snyder* y *Cuenca* con un *MAE* (0,056; 0,060), *RMSE* (0,075; 0,090) y; en relación al estadístico  $R^2$  (0,732; 0,728; 0,727) no mostraron diferencia significativa. El valor promedio diario y decenal de  $ET_o$ , a través del método directo del  $T_{evap. Clase A}$  y con coeficiente  $K_p=0,73$ , fue de un valor 1,02 mm.

**Palabras clave:** Coeficiente  $K_p$ , Evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), Ec. *PM-FAO56*.



## Abstract

The Class A evaporation tank coefficient ( $K_p$ ) is the one that allows correcting the dissimilarities between the evaporated water sheet in the Class A evaporation tank ( $E_v$ ) and the evapotranspiration of the reference crop ( $ET_o$ ). The Class A evaporimeter tank ( $T_{evap. Class A}$ ) is a direct method for  $ET_o$  estimation. The objective of this research was to determine the daily  $K_p$  and decennial  $K_p$  coefficients to estimate  $ET_o$  under a greenhouse with multi-tunnel characteristics and dimensions (22.40m x 35.90m), in the Hcda. El Prado locality (0°23'20" S, 78°24'54" W, 2733 m.s.n.m.), period August 2021-January 2022. A  $T_{evap. Class A}$  of circular shape, white color, diameter 120.7cm, depth 25cm, thickness 3mm, galvanized iron material; located in the center of the greenhouse. The empirical methods used in the estimation of the  $K_p$  coefficient were: *Allen-Pruitt*, *Cuenca*, *Snyder*, *Pereira* and *FAO56*, based on wind speed ( $U_2$ ,  $m.s^{-1}$ ), mean relative humidity ( $HR_{mean}$ , %) and, distance between the crop and the  $T_{evap. Class A}$  ( $F$ ,  $m$ ). To estimate the measured coefficient  $K_p$  of the  $T_{evap. Class A}$  ( $K_{pm}$ ),  $ET_o$  was calculated using the *Penman-Monteith FAO56* equation and, the  $E_v$  of the  $T_{evap. Class A}$  was measured on a daily basis. Daily climatic data were collected every 30 min, through automatic weather stations (WS-2317 Weather Pro Center; Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi), installed in the center of the greenhouse. The water requirements of the crop were covered by a micro-sprinkler irrigation system. As results, an average value of the daily  $K_p$  coefficient=0.74 and decennial  $K_p$ =0.73 were obtained; the *Cuenca* and *Allen-Pruitt* methods were selected to estimate the daily  $K_p$  coefficient under greenhouse with an *MAE* (0.155; 0.156), *RMSE* (0.178; 0.180) and, in relation to the  $R^2$  statistic (0.383; 0.382) showed no significant difference; the empirical methods selected to estimate decadal  $K_p$  were *Snyder* and *Cuenca* with an *MAE* (0.056; 0.060), *RMSE* (0.075; 0.090) and; in relation to the  $R^2$  statistic (0.732; 0.728; 0.727) showed no significant difference. The daily and decadal average value of  $ET_o$ , through the direct method of  $T_{evap. Class A}$  and with coefficient  $K_p$ =0.73, was a value of 1.02 mm.

**Keywords:**  $K_p$  coefficient, Reference evapotranspiration ( $ET_o$ ), Ec. *PM-FAO56*.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

El uso eficiente de los sistemas agrícolas se considera necesarios para poder brindar de manera correcta un requerimiento racional de agua, que se pueda utilizar solo lo necesario para obtener buenas condiciones de eficiencia y productividad sin tener que desperdiciar agua de buena calidad para los cultivos, Custódio *et al.* (2016). Es muy importante saber cómo realizar una buena programación de riego, que permita establecer dosis y fecha de aplicación de riego, que minimice las deficiencias y excesos hídricos que causen efectos adversos a los cultivos y establecer estrategias de mayor control en cuanto a la ejecución de una buena práctica agrícola, Intagri (2015).

La *ET<sub>o</sub>* es una de las variables más importantes para realizar estudios y planificaciones de gestión de riego, Celine (2011). La *ET<sub>o</sub>* se expresa como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia en un cultivo de pasto que tiene características específicas y ocurre sin restricción de agua, Allen *et al.* (2006). La *ET<sub>o</sub>* multiplicada por el coeficiente de cultivo *K<sub>c</sub>*; permite definir la cantidad de agua que transpiran las plantas por unidad de tiempo, esta información es necesaria en el diseño y operación de programas de calendarización de riego para los cultivos, Navejas *et al.* (2011). La *ET<sub>o</sub>* se puede calcular de acuerdo a las diferentes localidades o épocas del año, teniendo en cuenta que los únicos factores que pueden afectar son los parámetros climáticos, estos se dan a partir de datos meteorológicos, Hernandez *et al.* (2008).

La *ET<sub>o</sub>* se puede calcular a campo abierto o bajo invernadero mediante métodos directos (*MD*) como el *T<sub>evap. Clase A</sub>* o por un lisímetro de drenaje, Toledo (2015) y métodos indirectos (*MI*) como la ecuación de *PM-FAO56*, *Thornthwaite modificado*, *Hargreaves*, *Jensen-Haise*, *Makkink*, *Priestley and Taylor*, *Turc*, *FAO radiación*, Ortiz *et al.* (2018). Huapaya (2013) indica que la ecuación de *PM-FAO56* se considera como universal por la utilización de todas

las variables climáticas posibles, seguida del  $T_{evap}$ . Clase A por la exactitud; la ecuación de PM-FAO56 según Hernandez *et al.* (2008), indica que es un método claro que permite representar los factores físicos y fisiológicos durante el proceso de la evapotranspiración; el método del  $T_{evap}$ . Clase A, permite llegar a determinar valores mucho más reales en cuanto a las necesidades hídricas que requiere el cultivo, teniendo como ventaja que es un método rápido, sencillo y de fácil lectura, Allen *et al.* (2006); asimismo, se considera que su instalación y mantenimiento son de bajos costos, favoreciendo su utilización en varios proyectos y programas de riego, Villazón *et al.* (2021). En la tesis elaborada por Sangucho (2018), se probó MD y MI para la determinación de la  $ET_o$  a campo abierto en la Hcda. El Prado, mientras que Muñoz (2021) para la misma localidad, en su trabajo de titulación probó similares métodos para la determinación de  $ET_o$  bajo invernadero, obteniendo en sus investigaciones que la ecuación de PM-FAO56 fue la más aplicable para estimar la  $ET_o$ .

En la determinación de  $ET_o$  a través  $T_{evap}$ . Clase A, se considera como fundamental la evaporación del nivel de agua del tanque que va complementada con un coeficiente  $K_p$ , cuya relación queda representada a través de la siguiente ecuación:  $ET_o = E_v * K_p$ , donde  $E_v$  representa la lámina de agua evaporada en el  $T_{evap}$ . Clase A en mm/día, Odar *et al.* (2014); este coeficiente  $K_p$  puede variar entre 0,40 a 0,85, Huapaya (2013); algunos coeficientes  $K_p$  promedios obtenidos a campo abierto mediante estudios realizados por varios autores y en diferentes localidades fueron de 0,72 en Ecuador, Ortiz *et al.* (2018), 0,71 en Brasil, Sentelhas *et al.* (2003), 0,65 en Cuba, Villazón *et al.* (2021), 0,69 en Venezuela, López *et al.* (2005) y 0,71 en Uruguay, Puppo *et al.* (2009).

El coeficiente  $K_p$  se puede determinar por métodos empíricos, que han sido desarrollados por varios autores con el fin de poder determinar de manera más fácil este coeficiente, entre los cuales se puede citar a Cuenca (1989), Pereira (1995), Snyder (1992), Orang (1998), Doorenbos-Pruitt (1997) y FAO56 Allen (1998) basados por medio de las redes neuronales artificiales con técnicas de algoritmos genéricos, Custódio *et al.* (2016). Para poder

aplicar estas ecuaciones es necesario contar con información climatológica de promedios diarios de la  $HR_{media}$  (%),  $U_2$  ( $m \cdot s^{-1}$ ) medidos a 2 m de altura y  $F$  (m); permitiendo de esta manera calibrar los  $K_p$  que se encuentra en función de la  $ET_o$  determinada a través de un lisímetro o por la ecuación de *PM-FAO56*, Puppo *et al.* (2009).

La importancia que brinda el método  $T_{evap}$  Clase A, es llegar a determinar valores mucho más reales en cuanto a las necesidades hídricas que requiere el cultivo de una manera rápida y sencilla, , Allen *et al.* (2006). La localidad, el color, el tamaño y la posición del  $T_{evap}$  Clase A, hacen que los coeficientes  $K_p$  se conviertan en específicos para cada tipo de  $T_{evap}$  Clase A, Cáceres (2017). Debido a la importancia de calcular el coeficiente  $K_p$  de una manera precisa, en este trabajo de investigación se tiene como objetivo evaluar diferentes métodos empíricos para predecir el valor del coeficiente de  $K_p$  del  $T_{evap}$  Clase A y estimar valores diarios y decenales de  $ET_o$  bajo invernadero, en la Hcda. El Prado.

### **Justificación**

Ortiz *et al.* (2018) y Celine (2011), a través de sus investigaciones han dado a conocer valores del coeficiente  $K_p$  más precisos y exactos, determinados a partir de métodos para estimar la  $ET_o$ , empleando actualizaciones en cuanto a las metodologías para el cálculo del coeficiente  $K_p$  a través de tiempo, Pérez *et al.* (2012).

Sentelhas *et al.* (2003) indica en su investigación que el uso de las ecuaciones para convertir la evaporación del  $T_{evap}$  Clase A en  $ET_o$ , son necesarias, ya que con el tiempo se han implementado estaciones automáticas tecnológicas que permiten obtener con facilidad la información.

Puppo *et al.* (2009) sugieren calibrar localmente el coeficiente  $K_p$  en función de la  $ET_o$  determinada mediante la ecuación *PM-FAO56*, considerando que es recomendada como la única ecuación con mayor precisión para determinar la  $ET_o$ , Allen *et al.* (2006). Cabe recalcar que existen otros métodos como el uso de lisímetros de drenaje o por medio del  $T_{evap}$  Clase A.

Pérez *et al.* (2012) en su artículo indica que la FAO ha considerado que el método del  $T_{evap}$ . Clase A es confiable si se llega a usar de la manera correcta para la obtención de la  $ET_o$ .

En la investigación titulada "Determinación de la evapotranspiración de referencia diaria bajo invernadero con el empleo de métodos directos e indirectos, Hcda. El Prado", presentada por Muñoz (2021), utilizó el valor teórico del coeficiente  $K_p$  igual a 0,65 (FAO56); este valor se obtuvo a través de la tabla (Apéndice 1) y, con base en el conocimiento de información climática promedio del lugar en estudio, corresponde a la  $U_2$  ( $m \cdot s^{-1}$ ),  $HR_{media}$  (%) y  $F$  (m), Peña (2013). Llegar a obtener estimaciones de valores más precisas del coeficiente  $K_p$  es de mucha importancia para conseguir valores de  $ET_o$  más exactos, sobre todo cuando se trata de sistemas de riego por aspersión o por surcos, Delgado (2012). Se debe ser cuidadoso al momento de elegir el método para estimar  $K_p$ , este valor tendrá que ser calibrado y corregido de acuerdo a cada localización ya que son cambiantes en cada región, Celine (2011).

En el repositorio bibliográfico de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria sede Sangolquí, no se ha evidenciado ningún tema de investigación orientado a la estimación del coeficiente  $K_p$ ; por lo tanto, el conocimiento del coeficiente  $K_p$  bajo invernadero para la localidad Hcda. El Prado, permitirá a futuro establecer planificaciones y programas de riego más exactos y específicos. Celine (2011) señala que el coeficiente  $K_p$ , es un valor significativo y sencillo y su determinación permitirá realizar proyecciones para la planificación de recursos hídricos y programación de riegos con mucha más facilidad.

Esta investigación se hace viable, por disponer sembrado dentro del invernadero el cultivo de referencia pasto (rye gras), que es la base para la aplicación de la ecuación PM-FAO56 usada en la determinación de  $ET_o$ . Las necesidades hídricas de este cultivo se satisfacen mediante un sistema de riego por microaspersión fijo; también en el centro del invernadero se tiene instalado un  $T_{evap}$ . Clase A y una estación climática inalámbrica Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi, que colecta información diaria de temperatura ( $T$ ,  $C^\circ$ ),  $HR$  del ambiente (%), la radiación solar ( $R_s$ ,  $w/m^2$ ) y  $U_2$  ( $m \cdot s^{-1}$ ), información necesaria para la

aplicación de los métodos empíricos como los mencionados por Custódio *et al.* (2016) como: *Allen–Pruitt (AP)*, *Cuenca (C)*, *Snyder (S)*, *Pereira (P)*, y los indicados por Celine (2011) como *FAO56 (FAO56)*; en esta investigación estos métodos serán usados para estimar el  $K_p$  bajo invernadero, para su posterior uso en la determinación de la  $ET_o$  de manera diaria y decenal. Cabe recalcar que también se puede estimar valores  $K_p$  de manera mensual y anual. El valor de  $K_p$  que se obtenga de esta investigación podrá ser usado como referencia en los otros invernaderos de la Hcda. El Prado, donde se instale un  $T_{evap. Clase A}$ .

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Evaluar diferentes métodos empíricos para predecir los valores del coeficiente  $K_p$  del  $T_{evap. Clase A}$  y, estimar valores diarios y decenales de  $ET_o$  bajo invernadero, en la Hcda. El Prado.

### **Objetivos específicos**

- Establecer valores medidos del coeficiente  $K_p$  diarios y  $K_p$  decenales, con base en la información de evaporación del tanque Clase A y estimaciones de  $ET_o$  obtenidas con la ecuación. de *Penman-Monteith FAO56*, bajo condiciones de invernadero.
- Calcular el coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal con base a métodos empíricos, para estimar la  $ET_o$  diaria y  $ET_o$  decenal bajo invernadero.
- Correlacionar los datos medidos y estimados, de acuerdo a los métodos empíricos y la ecuación de *Penman-Monteith FAO56*, empleados en el cálculo de  $K_p$ ,  $ET_o$  diaria y  $ET_o$  decenal, utilizando métodos no paramétricos.
- Encontrar la  $ET_o$  diaria y  $ET_o$  decenal, que se genera bajo invernadero en el periodo agosto 2021-enero 2022, en la Hcda. El Prado, de acuerdo con el método  $K_p$  que determinó la mejor bondad de ajuste.

## Hipótesis

**H1:** Al menos un método empleado en el cálculo del coeficiente  $Kp$ , presentó un mejor ajuste para la estimación de la  $ETo$  mediante el uso del  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero, en la Hcda. El Prado.

**H0:** Todos los métodos empleados en el cálculo del coeficiente  $Kp$ , presentaron ajustes similares para la estimación de la  $ETo$  mediante el uso del  $T_{evap}$ . Clase A, bajo invernadero en la Hcda. El Prado.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### Evapotranspiración de referencia (*ET<sub>o</sub>*)

La *ET<sub>o</sub>* es un parámetro que se relaciona con el clima y que puede expresarse como la evaporación del agua que se encuentra en la atmósfera, considerando que los únicos factores que afectan a la *ET<sub>o</sub>* son los parámetros climáticos, Monge (2019). Se considera fundamental para el cálculo del requerimiento de agua para los cultivos, los diseños y planificación de un sistema de riego, redes de canales o reservorios, Ortiz *et al.* (2018); además pueden ser calculados de manera diaria, semanal, decenal, mensual, decadal o anual.

Para poder calcular la *ET<sub>o</sub>* se debe tener una superficie de referencia que en este caso puede ser un cultivo de pasto verde bien regado y con crecimiento uniforme, con una altura entre 0,12 m, una resistencia de superficie fija de 70  $m \cdot s^{-1}$  y tener un albedo de 0,23 que es el reflejo de la luz que llega a un cuerpo directamente, Servià (2015).

A través del conocimiento de la *ET<sub>o</sub>*, se puede llegar a estimar la *ET<sub>c</sub>* que se obtiene en mm por unidad de tiempo, calculando el producto de la evapotranspiración del cultivo *ET<sub>o</sub>* por el coeficiente *K<sub>c</sub>*, Infoagro (2017). Este brinda un buen manejo de aporte de agua, libre de enfermedades y con buena fertilización, obteniendo una máxima producción dependiendo de las condiciones climáticas, Allen *et al.* (2006).

La *ET<sub>o</sub>* se puede utilizar para determinar las necesidades de riego (*NR*), tomando en cuenta el rendimiento de la instalación de riego, la uniformidad y el porte que cubra las necesidades de lavado de sales, para poder realizar un balance hídrico que indique la dosis de riego real, Infoagro (2017).

#### Métodos para estimar la *ET<sub>o</sub>*

Para la estimación de la *ET<sub>o</sub>*, se puede usar métodos directos (*MD*) e indirectos (*MI*). El *MD* se define como valores que pueden ser adheridos a la realidad, permitiendo ajustar los



parámetros a los métodos empíricos, Toledo (2015). Los métodos generalmente utilizados son: el  $T_{evap. Clase A}$  y el lisímetro de drenaje, Muñoz (2021).

Los  $MI$  se define como métodos teóricos, debido a que se considera los parámetros climatológicos descritos por coeficientes adimensionales que llegan a presentar un comportamiento particular de acuerdo a las zonas donde se encuentren, Huapaya (2013), existen algunos métodos utilizados como: *Blanney y Criddle*, *Hargreaves y Samani*, *PM-FAO56* y *Priestley-Taylor*, Muñoz (2021).

## **Método Indirecto**

### **Método Penman-Monteith FAO56 (PM-FAO56)**

La ecuación de *PM-FAO56* se presentó en el año 1989, la cual recibió una aceptación para llegar a estimar la  $ET_o$ , tomando como referencia que debe sembrarse un pasto verde con uniformidad en cuanto a crecimiento, que cubra todo el suelo y que tenga condiciones óptimas de humedad, Guevara (2006).

Este método se puede representar de manera clara y precisa, teniendo en cuenta los factores físicos y fisiológicos del proceso de la evapotranspiración, Allen *et al.* (2006). El método de *PM-FAO56* es considerado como un método de alta precisión en diferentes localidades y climas, sin embargo, tiene poca factibilidad cuando existe escasez o ausencia de datos climatológicos, Navejas *et al.* (2011).

Para el cálculo del método de *PM-FAO56* las variables climáticas que se consideran son: la radiación neta ( $MJ * m^2 * día^{-1}$ ), el flujo de calor ( $MJ * m^2 * día^{-1}$ ), temperatura (%), velocidad del viento ( $m. s^{-1}$ ), la presión de vapor en saturación y actual ( $kPa$ ), la pendiente de la curva y la constante psicrométrica ( $kPa. ° C^{-1}$ ) ver *Ec. 1*.

En las investigaciones realizadas en las instalaciones de la Hcda. El Prado por Sangucho (2018) y Muñoz (2021) se probó que el mejor método para realizar el cálculo de la  $ET_o$  a campo abierto y bajo invernadero respectivamente fue mediante la ecuación de *PM-*

FAO56, por su exactitud para obtener los valores de la  $ET_o$  mediante las diferentes variables climáticas.

A continuación, en la *Ec.1* se muestra la fórmula *Penman-Monteith FAO56* para la estimación de  $ET_o$  a campo abierto y bajo invernadero, Allen *et al.* (2006).

### Ecuación 1

*Penman-Monteith FAO56*

$$ET_o P - M = \frac{0,408\Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34U_2)}$$

Donde:

$Rn$ : radiación neta de la superficie del cultivo ( $MJ. m^2. día^{-1}$ );

$G$ : flujo del calor en el suelo ( $MJ. m^2. día^{-1}$ );

$T$ : temperatura media del aire a 2 m de altura ( $°C$ );

$U_2$ : velocidad del viento 2 m de altura ( $m. s^{-1}$ );

$(e_s - e_a)$ : déficit de presión de vapor de aire ( $kPa$ );

$\Delta$ : pendiente de la curva de presión de vapor de saturación ( $kPa. °C^{-1}$ );

$\gamma$ : Constante psicrométrica ( $kPa. °C^{-1}$ ).

### Método directo

#### **Tanque Evaporímetro Clase A ( $T_{evap. Clase A}$ )**

El  $T_{evap. Clase A}$  fue desarrollado por el Servicio Meteorológico de los Estados Unidos, se utiliza para zonas agrícolas y permite dar una aplicación del agua de riego de manera precisa, midiendo el efecto integrado del clima, con lecturas mucho más fáciles y económicas Ortiz *et al.* (2018).

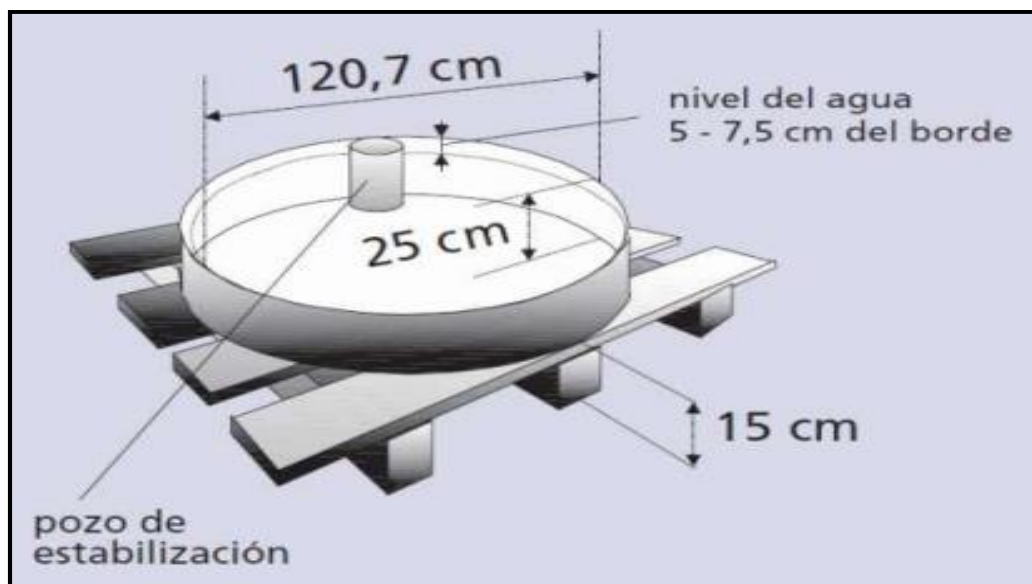
Puppo *et al.* (2009) menciona que el método del  $T_{evap. Clase A}$ , tiene una simplicidad que permite obtener medidas de los efectos integrados del clima en función a la única medida de la evaporación de una superficie libre de agua.

Cuando se almacena el calor dentro del tanque, se puede apreciar la evaporación durante la noche, sin embargo, algunos cultivos llegan a transpirar durante el día y muchas veces se puede distinguir algunas diferencias en cuanto a la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentra en la superficie, Leon (2018).

El tanque es de forma circular con dimensiones de 120.7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad, construida por materiales de hierro galvanizado o de láminas de metal, se ubica sobre una plataforma de madera en forma de rejas que esté sobre los 15 cm del nivel del suelo, se llena con agua hasta los 5 cm por debajo de los bordes del tanque y el nivel del agua no debe reducir hasta más de 7.5 cm por debajo del borde del tanque, Ventura (2018).

### Figura 1

Características del  $T_{evap}$ . Clase A



Nota: Tanque de hierro galvanizado y sus medidas. Tomado de Boletín técnico N°2 (p.4), por Odar *et al.* (2014) división del medio ambiente-SGDA.

### **Coeficiente del tanque evaporímetro clase A (Coeficiente $K_p$ )**

El coeficiente  $K_p$  es aquel que permite corregir las disimilitudes entre la evaporación de una superficie libre de agua y la evapotranspiración del cultivo de referencia  $E_{To}$ , Villazón *et al.*

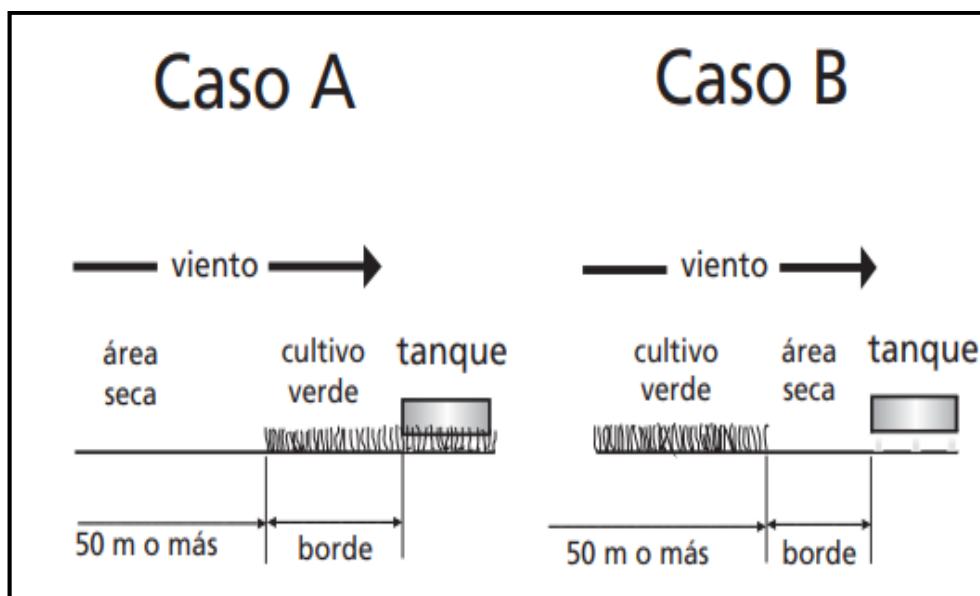
(2021); este va a depender de la  $U_2$  ( $m. s^{-1}$ ),  $HR_{media}$  (%) durante 24 horas y  $F$  (m), López (2007).

La localización influye mucho para el resultado, por lo cual se requiere de una calibración de ajuste del coeficiente  $K_p$  con relación a la  $ETo$ , se obtiene mediante la ecuación de  $PM-FAO56$ , Allen *et al.* (2006). El coeficiente  $K_p$ , va a depender del tipo de  $T_{evap}$  que se utilice, considerando el tamaño, el color, la cobertura del suelo y si el tanque es galvanizado o de acero inoxidable, si va pintado de blanco no requiere de correcciones, pero si se pinta de negro este aumenta en el  $K_p$  hasta un 10%, Silicani (2015).

Existen dos casos mencionados por la *FAO*, Allen *et al.* (2006) el primer caso A el tanque se encuentra en un pasto corto verde y rodeado por suelo en barbecho y para el caso B el tanque se encuentra sobre un suelo en barbecho y rodeado de cultivo verde.

## Figura 2

*Distancia entre el  $T_{evap}$ . Clase A y el cultivo de referencia*



*Nota:* Casos en los que se encuentra el  $T_{evap}$ . Clase A con el cultivo de referencia. Tomado de estudio *FAO56* riego y drenaje (p.79), por Allen *et al.* (2006) evapotranspiración del cultivo.

## **Métodos indirectos para determinar el coeficiente $K_p$ del $T_{evap}$ . Clase A**

Para determinar el coeficiente  $K_p$  mediante los métodos indirectos, se utilizan los datos medidos como  $U_2$  ( $m \cdot s^{-1}$ ),  $HR_{media}$  (%) y  $F$  (m); los métodos que se pueden llegar a utilizar son los siguientes:

### **Método de Allen-Pruitt (AP)**

Ortiz *et al.* (2018) indica que su fórmula fue desarrollada a partir de la interpolación de los coeficientes del tanque evaporímetro, logrando ser calibrados mediante el uso de lisímetros de drenaje que fue instalado en el territorio de los Estados Unidos. Doorenbos (1997) menciona que este método se utiliza solo cuando el tanque se encuentra rodeado de pasto, utilizando datos medidos de manera diaria o mensual. Esta se muestra en la *Ec.9*.

### **Método de Cuenca (C)**

Sentelhas *et al.* (2003) utilizaron este método el cual fue desarrollado a partir de la interpolación de los coeficientes del tanque la cual fue publicado por la *FAO24*, esta ecuación es polinomial para poder estimar el valor de la  $K_p$  a partir de la  $U_2$ ,  $HR_{media}$  y  $F$ . Esta se muestra en la *Ec.10*

### **Método de Snyder (S)**

Esta fórmula se desarrolló a partir de la interpolación de los coeficientes del tanque publicados por NWS, se recalca que esta ecuación es mucho más compleja y que en algunos casos tiene como datos finales bastante diferentes a los originales, Vassilis *et al.* (2012). Esta se muestra en la *Ec.11*

### **Método de Pereira (P)**

Ortiz *et al.* (2018) menciona que la fórmula de este método se desarrolló de acuerdo a las condiciones ambientales de Brasil, basándose mediante la ecuación de *PM- FAO56*, Sentelhas *et al.* (2003). Esta se muestra en la *Ec.12*

### **Método FAO56 (FAO56)**

Allen *et al.* (2006) indica que su fórmula se desarrolló a través de una regresión y se utiliza para el cálculo del coeficiente  $K_p$  cuando el  $T_{evap. Clase A}$  está situado en un cultivo verde circundante. Puede ser medido de manera mensual o anual, Sentelhas *et al.* (2003). Esta se muestra en la *Ec. 13*

### **Método de coeficiente $K_p$ medido ( $K_{pm}$ )**

El  $K_p$  medido que se muestra en la *Ec. 8*, se calcula dividiendo la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), para la lámina de agua evaporada en el  $T_{evap. Clase A (Ev)}$ , Ortiz *et al.* (2018). Se puede calcular de manera diaria, mensual, decadal o anual mediante la obtención de análisis de registros históricos del  $T_{evap. Clase A}$ , Otero *et al.* (2012).

### **Datos climáticos para estimar el coeficiente $K_p$**

Las variables climáticas que se necesitan para utilizar en los diferentes métodos para estimar el coeficiente  $K_p$  son los que se describen a continuación:

### **Humedad relativa del ambiente (HR)**

La  $HR$  puede ser medida mediante un higrómetro, esta se produce mediante la presión de saturación de vapor la cual depende de la temperatura del aire, debido a que es muy cambiante durante el día, Allen *et al.* (2006). Se puede expresar en % y en unidades enteras desde cero (0) que significa sequedad absoluta y el 100% saturación, Gaitan *et al.* (2016).

Según la *FAO 56*, Allen *et al.* (2006), menciona que si existen datos faltantes para el cálculo de la  $HR_{media}$  (%) se puede calcular con la temperatura del aire a través de la siguiente *Ec. 2*

### **Ecuación 2**

*Humedad relativa media ( $HR_{media}$ %)*

$$HR_{media} = 50 * e^o(T_{min}) / e^o(T_{max}) + 50$$

Donde:  $e^o(T_{min})$ = presión de saturación de vapor a la temperatura mínima ( $kPa$ );  $e^o(T_{max})$ = presión de saturación de vapor a la temperatura máxima ( $kPa$ )

### **Velocidad del viento ( $U_2$ )**

Es una partícula de aire en una unidad de tiempo que puede ser medida en ( $m \cdot s^{-1}$ ) o ( $Km/h$ ), Gaitan *et al.* (2016). Según la FAO56 mencionan que si existen datos faltantes de esta variable se puede considerar el valor global o estimado que es  $2 m \cdot s^{-1}$  que es una estimación temporal, Allen *et al.* (2006).

Además se debe limitar valores mayores o iguales a  $0,5 m \cdot s^{-1}$ , cuando se utilice en la ecuación de la  $ET_o$ , debido a que su valor mínimo explica los efectos de inestabilidad y flotabilidad del aire, mejorando la precisión de las estimaciones en bajas condiciones de velocidad del viento, Allen *et al.* (2006).

Allen *et al.* (2006) menciona que los datos de velocidad del viento pueden llegar a ser utilizados para estimaciones mensuales, mientras que para el cálculo diario es válido si se usa como promedio de un periodo de varios días, ya sea una semana o una década.

### **Medición de variables climáticas bajo invernadero**

Las mediciones de las variables climáticas bajo invernadero se pueden determinar con el uso de distintos instrumentos meteorológicos. El piranómetro consiste en la medición del componente directo difuso de la  $R_s$  ( $W \cdot m^{-2}$ ), Oriol (2021). La medición de  $U_2$  se realiza por medio de un anemómetro ( $m \cdot s^{-1}$ ), Guerrero (2019). Para el caso de la  $T(^{\circ}C)$  y la  $HR$  del ambiente (%) se lo realiza mediante el instrumento termo-higrómetro, que es sencillo de interpretar, Meza (2010).

Hoy en día, existen las estaciones meteorológicas automáticas que permiten transmitir y almacenar en un registrador estas variables climáticas, como una base de datos 24/7 (365 días del año), midiendo la  $T$ ,  $U_2$ ,  $R_s$ , pluviosidad y presión barométrica, logrando que la intervención de una persona sea mínima y facilitando que el monitoreo sea fiable, Barriga *et al.* (2015).

## **Cultivo Rye grass**

El pasto rye grass con su nombre científico *Lolium multiflorum*, es considerado como un componente básico de las mezclas forrajeras en Ecuador, con un buen rendimiento y densidades satisfactorias, Mancheno (1989). Es una planta perenne o anual, su duración es corta, fuerte competencia con las malezas como el kikuyo, poseen un buen drenaje y humedad, al igual que los suelos fuertemente alcalinos es exigente en fertilidad con nitrógeno en suelos ácidos, Paitan (2020).

Se adaptan a áreas que están entre los 2400 y 3200 *m.s.n.m*, tiene un alto valor nutritivo, energético y proteico, sus temperaturas oscilan entre los 12 °C a 18 °C, pH entre 6.6 a 7.3. Son resistentes a plagas y enfermedades, Cobos *et al.* (2018).

## **Rizotrones**

Son elaboradas en cajas de madera con una pared posterior de vidrio subterránea, Díaz (2013). El tamaño interno de los rizotrones pueden ser de largo 40 *cm*, ancho 40 *cm* y profundidad de 45 *cm*, permitiendo estudiar el proceso y relación planta-suelo los cuales son considerados para el control y valoración de crecimiento del sistema radicular, Hormaza (2007).

## **Requerimiento de riego bajo invernadero**

Los cultivos llegan a extraer el agua del suelo, pero viene determinada por varios factores como temperatura, la luz, viento, clima, humedad y los procesos fisiológicos. El cultivo es un factor importante para determinar un riego adecuado, Álvarez (2019).

Las necesidades de riego del cultivo bajo invernadero vienen representadas por *ETc*, que son aportadas al cultivo mediante la dosis neta de riego (*Ln*). *Ln*, se refiere a la cantidad de agua que se debe aplicar durante el riego y que es extraída por el cultivo, normalmente llega a ser nivelada a capacidad de campo, se representa en la siguiente ecuación, Castro (2009).



### Ecuación 3

Lámina neta

$$Ln = f \times \left[ \frac{CC - PMP}{100} \right] \times \left( \frac{Da}{\delta_{agua}} \right) \times Pr$$

Donde:  $Ln$  es la lámina neta ( $mm$ );  $CC$ : capacidad de campo ( $\%Hg$ );  $PMP$ : punto de marchitez permanente ( $\%Hg$ );  $Da$ : densidad aparente del suelo ( $gr/cm^3$ );  $\delta_{agua}$ : densidad del agua ( $gr/cm^3$ );  $Pr$ : profundidad radicular ( $mm$ );  $f$ : factor de agotamiento del cultivo (%).

La  $CC$  es el máximo límite de agua utilizable, esto sucede por acción de la gravedad del drenado hasta que el suelo deja de perder filtración, manteniéndose aún después 48 horas de drenaje Shaxson *et al.* (2005). El punto de marchitez permanente ( $PMP$ ) es el potencial hídrico en el cual las hojas de las plantas no pueden recuperar la turgencia, además de depender de las condiciones climáticas del suelo, Mariño (2006).

La  $Da$  del suelo, es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total, varían según el tipo de suelo, francos su valor es  $1.2 gr. cm^3$ , arcilloso  $1 gr. cm^3$  y arenoso  $1.6 gr. cm^3$ . El  $f$ , representa el déficit de humedad en el suelo que debe ser repuesto a través de la aplicación del riego, sus valores están entre 0.2 a 0.8 y, depende del déficit hídrico del cultivo, Calvache (2002). El  $f$  puede variar desde un valor general que es el 50%, si el cultivo es sensible al déficit de agua del 30% y el 60% para que los cultivos puedan soportar el estrés hídrico, Durán (2013).

La lámina bruta ( $Lb$ ) es la cantidad de agua que se debe dar en cada riego, tomando en cuenta que no toda el agua es aprovechada en su totalidad por las raíces de las plantas, ya que pueden perderse en canales de riego, desagües. La ( $Lb$ ) se determina mediante la siguiente ecuación, Fuente *et al.* (1990).

#### **Ecuación 4**

*Lámina bruta*

$$Lb = Ln/Ea$$

*Donde:*  $Ln$  es la lámina neta;  $Ea$ : eficiencia de aplicación de agua al cultivo.

El requerimiento de agua se aplica de acuerdo a la frecuencia de riego ( $Fr$ ) que corresponde al intervalo del tiempo de riego consecutivo. El  $Fr$  puede ser calculado con la siguiente ecuación, Ortiz (2008).

#### **Ecuación 5**

*Frecuencia de riego*

$$Fr = Ln/ETc$$

*Donde:*  $Ln$  representa la lámina de agua rápidamente aprovechable ( $mm$ );  $ETc$ : evapotranspiración del cultivo ( $mm/día$ )

La duración del tiempo de riego ( $Tr$ ) en horas se puede determinar de acuerdo a la siguiente ecuación, Fernández (2010).

#### **Ecuación 6**

*Tiempo de riego*

$$Tr = Ln/Lb$$

*Donde:*  $Ln$  es la lámina neta ( $mm/h$ );  $Lb$ : Lámina bruta

Cuando el sistema de riego es por aspersión, la lámina de riego ( $Lr$ ) se podrá determinar mediante la siguiente ecuación, Fernández (2010).

#### **Ecuación 7**

*Lámina de riego*

$$Lr = \left( \frac{Qe}{SexSl} \right) * 3600$$

*Donde:*  $Qe$  es el caudal del aspersor en  $l/s$ ;  $Se$ : separación entre aspersores en  $m$ ;  $Sl$ : separación entre laterales en  $m$ .

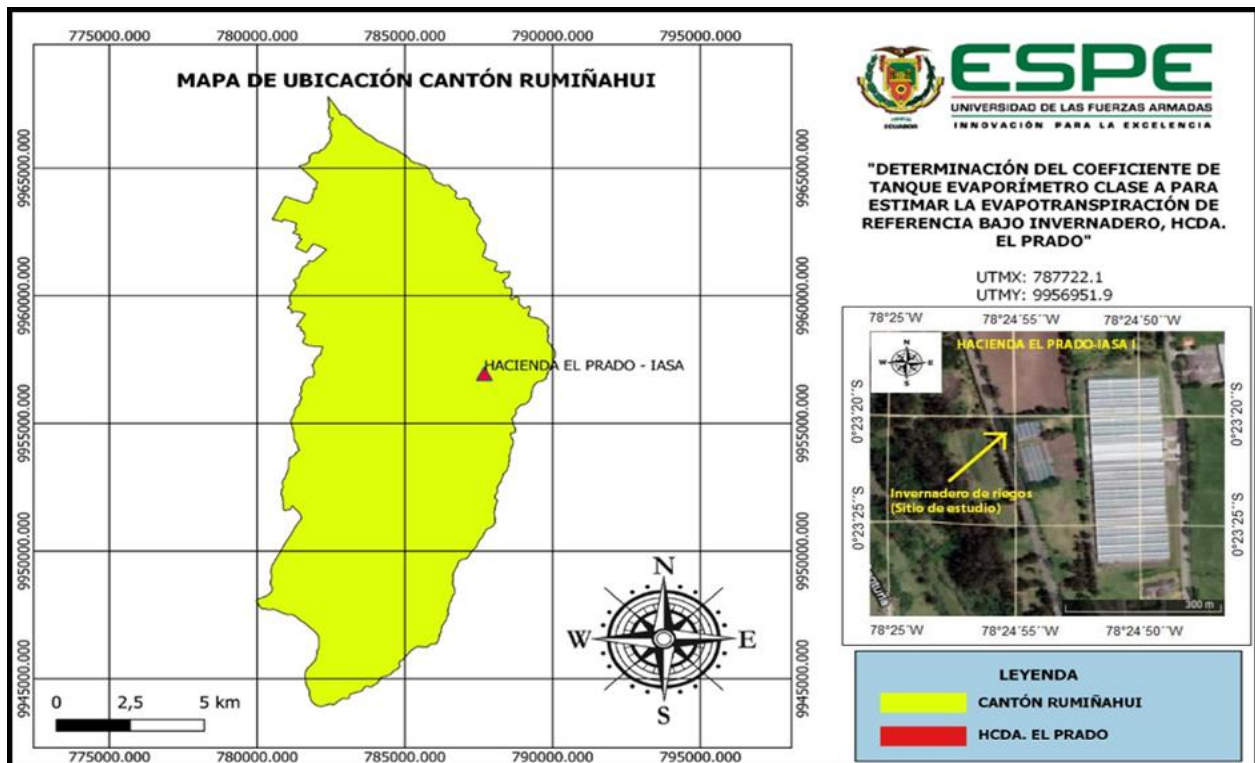
### CAPÍTULO III METODOLOGÍA

#### Ubicación y características del lugar de investigación

La presente investigación se realizó en los predios de la Hcda. El Prado en un invernadero de forma multitunel con dimensiones de 22.40 m x 35.90 m, con un área bruta de 804.16 m<sup>2</sup> y área neta aproximada de 672 m<sup>2</sup>, localizada en la Parroquia San Fernando, Cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, a una altitud de 2 733 m.s.n.m, latitud de 0°23'20'' S y longitud de 78°24'54'' O, Earth (2023). El área en estudio corresponde al piso altitudinal montano bajo, bosque húmedo, bioclima húmedo-temperado y piso zoogeográfico: temperado-alto andino, con temperatura media anual 13,96 °C y la precipitación anual de 1332,72 mm, Arce (2019).

#### Figura 3

Mapa de ubicación del sitio de investigación Hcda. El Prado.



Nota: Ubicación geográfica de la zona de estudio, Hcda. El Prado. Autoría propia.

## Métodos para estimar el coeficiente $K_p$

### Cálculo del coeficiente $K_p$ medido ( $K_{pm}$ )

Para el cálculo del  $K_{pm}$ , se utilizó la Ec. 8. La  $ET_o$  fue calculada mediante la ecuación de PM-FAO56 y,  $Ev$  fue medida de manera diaria bajo invernadero con el uso del  $T_{evap. Clase A}$ . Durante el periodo agosto-octubre 2021,  $Ev$  fue medida en el horario de las 17:00, Muñoz (2021) y; durante el periodo noviembre 2021-enero 2022,  $Ev$  fue medida en el horario de las 9:00. Para obtener un valor más preciso de  $K_{pm}$ , se situó al  $T_{evap. Clase A}$  en el centro del invernadero, rodeado de pasto rye grass el cual se mantuvo a una altura entre 10 a 12 cm con el fin de que no existan cambios en los datos climáticos.

#### Características del $T_{evap. Clase A}$

- ✓ Forma: circular
- ✓ Color: blanco
- ✓ Medidas: diámetro 120,7 cm y profundidad 25 cm
- ✓ Espesor del tanque: 3 mm
- ✓ Tipo de material: hierro galvanizado

## Ecuación 8

### Método del $K_{pm}$

$$K_{pm} = \frac{ET_o}{Ev}$$

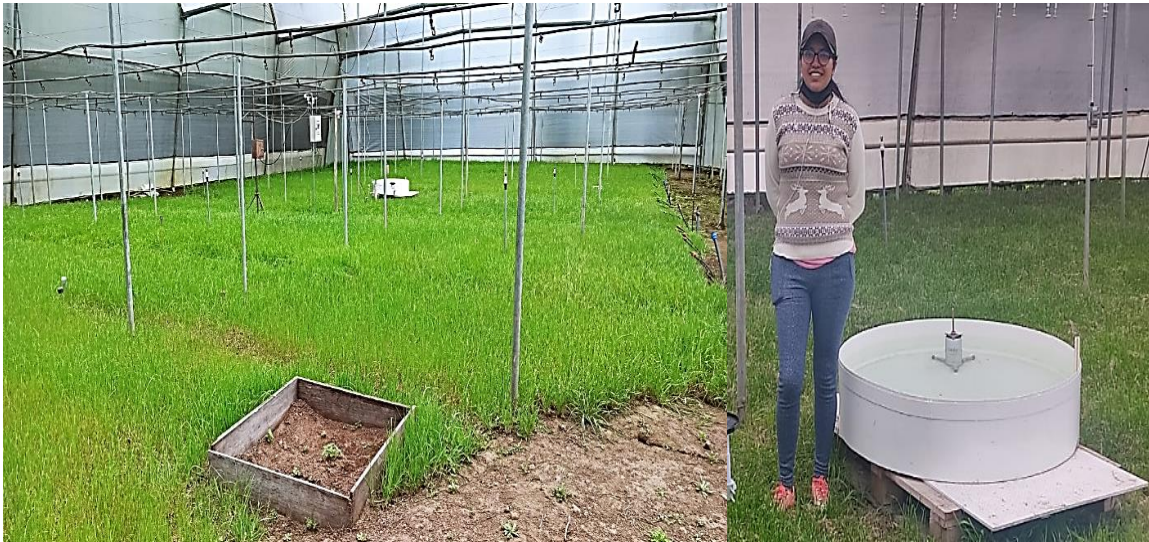
Donde:

$ET_o$ : evapotranspiración del cultivo de referencia ( $mm. día^{-1}$ ).

$Ev$ : lámina de agua evaporada en el  $T_{evap. Clase A}$  ( $mm. día^{-1}$ ).

## Figura 4

### Instalación del $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero



Nota: Instalación del  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero en la Hcda. El Prado. Autoría propia.

### Cálculo del coeficiente $K_p$ estimado ( $K_{pe}$ )

Las ecuaciones que se utilizaron para estimar el coeficiente  $K_p$  del  $T_{evap}$ . Clase A de manera diaria y decenal, se representa en las siguientes ecuaciones:

**Método de Allen-Pruitt (AP)** Ortiz *et al.* (2018)

#### Ecuación 9

$K_p$  AP

$$K_p = 0.108 - 0.000331 \times U_2 + 0.0422 \times \ln(F) + 0.1434 \times \ln(HR_m) - 0.000631 \times (\ln(F))^2 \times \ln(HR_m)$$

Donde:

$U_2$ : velocidad promedio del viento ( $km. d^{-1}$ ).

$F$ : distancia entre el tanque evaporímetro y el área con cultivo (m).

$HR_m$ : la humedad relativa media (%).

**Método de Cuenca (C)** Sentelhas *et al.* (2003)

### **Ecuación 10**

$K_p C$

$$K_p = 0.475 - 2.4 \times 10^{-4} \times U_2 + 5.16 \times 10^{-3} \times HRm + 1.18 \times 10^{-3} \times F - 1.6 \times 10^{-5} \times HRm^2 - 1.01 \times 10^{-6} \times F^2 - 8.0 \times 10^{-9} \times HRm^2 \times U_2 - 1.0 \times 10^{-8} \times HRm^2 \times F$$

Donde:

$U_2$ : velocidad media del viento ( $km. d^{-1}$ ).

$F$ : distancia entre el tanque evaporímetro y el área con cultivo (m).

$HRm$ : humedad relativa media (%).

**Método de Synder (S)** Vassilis *et al.* (2012)

### **Ecuación 11**

$K_p S$

$$K_p = 0.482 + 0.024 \times \ln(F) - 0.000376 \times U_2 + 0.0045 \times HRm$$

Donde:

$U_2$ : velocidad promedio del viento ( $km. d^{-1}$ ).

$F$ : distancia entre el tanque evaporímetro y el área con cultivo (m).

$HRm$ : la humedad relativa media (%).

**Método de Pereira (P)** Ortiz *et al.* (2018)

### **Ecuación 12**

$K_p P$

$$K_p = 0.51206 - 0.000321 \times U_2 + 0.002889 \times HRm + 0.031886 \times \ln(F) - 0.000107 \times HRm \times \ln(F)$$

Donde:

$U_2$ : velocidad promedio del viento ( $m. s^{-1}$ ).

$F$ : distancia entre el tanque evaporímetro y el área con cultivo (m).

$HRm$ : la humedad relativa media (%).

**Método FAO/56 (FAO56)** Sentelhas *et al.* (2003)

### Ecuación 13

*Kp-FAO56*

$$K_p = 0.108 - 0.0286 \times U_2 + 0.0422 \ln(F) + 0.1434 \ln(HR_m) - 0.000631 [\ln(F)]^2 \times \ln(HR_m)$$

Donde:

$U_2$ : velocidad promedio del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ).

$F$ : distancia entre el tanque evaporímetro y el área con cultivo ( $m$ ).

$HR_m$ : la humedad relativa media (%).

Para la aplicación de las distintas ecuaciones usadas en esta investigación, bajo invernadero se ha considerado el valor de velocidad de viento  $0,50 m \cdot s^{-1}$  o  $43,20 km \cdot d^{-1}$ , recomendado por la *FAO56*.

### Medición de variables climáticas bajo invernadero

Los datos sobre las variables climáticas se registraron en el día y la noche, mediante el uso del piranómetro y estaciones meteorológicas inalámbricas de monitoreo local.

Para el periodo agosto-octubre 2021 se dispuso de las variables climáticas como temperatura mínima ( $T_{min}$ ), temperatura máxima ( $T_{max}$ ),  $HR$ ,  $U_2$ ,  $Rs$ ; estos fueron registrados por la estación meteorológica automática método *WS-2317 Weather Pro Center*. Para la  $Rs$  se midió con la ayuda de un piranómetro CPM3 Kipp & Zonen y las variables climáticas fueron registradas cada media hora en el horario de 6:00 a 18:00;  $Ev$  del  $T_{evap}$  Clase A se tomó en el horario de las 17:00 de manera diaria, Muñoz (2021).

Durante el periodo noviembre 2021-enero 2022, se utilizó la estación automática meteorológica inalámbrica *Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi OSPREY* (Apéndice 2), la cual permitió obtener datos como  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $HR$ ,  $U_2$ ,  $Rs$ , que fueron registrados y guardados automáticamente cada 30 min en el monitor inalámbrico; estos datos fueron descargados cada 15 días. La  $Ev$  del  $T_{evap}$  Clase A, se registró en un formulario (Apéndice 3) de manera diaria, en el horario de las 9:00 y, para medir el descenso del nivel del agua en el  $T_{evap}$  Clase A, se usó



un escalímetro adherido a la pared interna del tanque. Se llenó el tanque a 20 cm; cuando se registró un nivel de agua de 18.0 cm, Odar *et al.* (2014).

### Figura 5

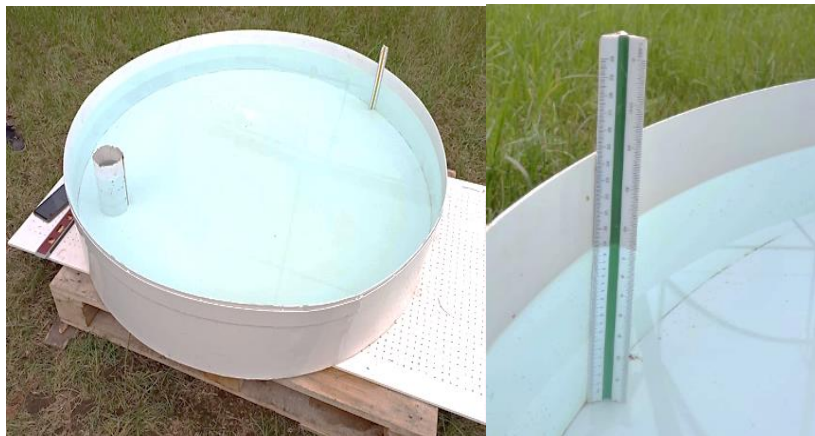
*Estación meteorológica inalámbrica Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi OSPREY bajo invernadero*



*Nota: Estación meteorológica inalámbrica utilizada para obtener variables climáticas en la investigación de la Hcda. El Prado. Autoría propia.*

### Figura 6

*Medición de la lámina de agua evaporada en el  $T_{evap}$ . Clase A*



*Nota: Medición de la lámina de agua evaporada en el  $T_{evap}$ . Clase A, con la ayuda de un escalímetro. Autoría propia.*

### Aplicación de riego bajo invernadero

Para una correcta aplicación de riego, es necesario conocer la calidad de agua que se va a brindar a los cultivos, por lo que se considera importante conocer los parámetros físicos



como pH, turbidez, sólidos totales disueltos (STD) y conductividad eléctrica y para los parámetros químicos como la dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitritos y nitratos, Bidault (2016). Muñoz (2021) concluyó con base en los parámetros de STD, CEa, nitratos y carbonatos, que el agua en mención no presenta ninguna restricción para su uso en riego, también indicó que el pH del agua presenta un valor ligeramente elevado igual a 8.53. Dicho valor no muestra ninguna afectación al cultivo de pasto, ya que se considera como agua alcalina apta con precaución; en el caso de que afecte al cultivo y se pueda observar daños como clorosis o amarillamiento en las hojas jóvenes, se puede enmendar añadiendo ácido fosfórico o ácido nítrico para disminuir la alcalinidad del agua, Agroproductores (2020).

Para la aplicación de la (*Ln*) se realizó a partir de la *Ec. 3* mediante el uso de un sistema de riego por aspersión y tomando en cuenta que el momento para la aplicación del riego corresponda a un descenso de 25 % de la humedad aprovechable, el riego fue aplicado hasta observar que la humedad en el suelo haya alcanzado la *CC*. Antes y después de la aplicación del riego, se realizó el control de la variación de la humedad en el suelo, para lo cual se usó 3 tensiómetros de capa porosa (Irrrometer, 12 pul.), instalados bajo invernadero a una profundidad en el suelo de 15 y 28 *cm*; las mediciones de la tensión matricial de cada tensiómetro, fueron registrados, (*Apéndice 4*).

Para conocer el valor de la *CC*, *PMP* y, *SAT* del suelo usado en esta investigación, se utilizó la curva de tensión-humedad del suelo determinada en el laboratorio (*Apéndice 6*). Para el control y valoración del crecimiento de las raíces, se utilizó 2 rizotrones de largo 40 *cm*, ancho 80 *cm* y de profundidad 40 *cm*, instalados en 2 camas de cultivo, Muñoz (2021).

Para el cálculo de *Fr* y *Tr* se utilizó las *Ec. 5* y *Ec. 6* respectivamente, obteniendo un *Tr* de 2 horas y, *Fr* de cada 3 días, La aplicación del riego se realizó cuando las lecturas del potencial matricial registradas en los tensiómetros se encontraban en el rango de los 25 a los 30 cbar.

El sistema de riego por aspersión dentro del invernadero está conformado por el aspersor mini Wobbler boquilla dorada, caudal de  $250 \text{ (l. h}^{-1}\text{)}$ , diámetro de cobertura de  $12.8 \text{ m}$ , a una altura del aspersor de  $0.91 \text{ m}$ , la separación entre aspersores de  $6 \text{ m}$  y la separación entre laterales  $6.40 \text{ m}$ . Se cuenta con 5 válvulas manuales de  $\frac{3}{4}$  de pulgadas para el control del caudal en cada lateral de riego; se dispone de un total de 14 aspersores en todo el invernadero, cada lateral de riego está conformado por 3 aspersores, cada aspersor cuenta con un regulador de presión del agua de  $1.38 \text{ bares}$ . Se dispone de un medidor para censar la presión del sistema antes, durante y después de la aplicación del riego.

Para supervisar la uniformidad del sistema riego por aspersión dentro del invernadero, se instalaron 4 pluviómetros (1 digital, 2 manuales y 2 caseros), lo que permitió conocer eventuales fallas en el funcionamiento de los aspersores. Los valores de pluviometría registrados en cada pluviómetro, se ingresaron en un formulario (*Apéndice 5*), antes y después de cada riego; para los pluviómetros digital y manual, sus medidas se anotaron en pulgadas y se los transformó a milímetros (*mm*), Castro (2019). En el caso de los pluviómetros caseros se registró en la medida de mililitro (*ml*) y se transformó a *mm*. Estos datos fueron registrados en el horario de 7 a 9 am, tiempo en el cual también se procedía a la aplicación del riego por aspersión dentro del invernadero.

## **Análisis estadístico**

### **Criterios de evaluación**

Para la validación del coeficiente  $K_p$  estimado mediante los diferentes métodos propuestos en esta investigación, se realizaron correlaciones entre valores del coeficiente  $K_{pe}$  y valores del coeficiente de  $K_{pm}$  bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-nero 2022. Para verificar se utilizó los métodos no paramétricos descritos a continuación: donde,  $O_i$  es el valor observado o medido,  $E_i$  es el valor proyectado o estimado,  $n$  es el número total de valores en el estudio,  $\bar{E}_m$  es el promedio de los valores proyectados o estimados y  $\bar{X}$  es el promedio de los valores observados o medidos.

### **Error medio absoluto (MAE)**

Sirve para poder instaurar la diferencia entre una variable medida con una estimada, obteniendo el promedio de los errores absolutos cuando tiende a cero, es decir que mientras más bajo sea el valor del MAE mejor se puede ajustar el método a un conjunto de datos, Ortiz *et al.* (2018).

#### **Ecuación 14**

*Error medio absoluto (MAE)*

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - E_i|}{n}$$

### **Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)**

Se utiliza como índice estadístico para poder medir la relación lineal entre dos variables cuantitativas, es decir, que el valor óptimo del estudio debe ser igual a uno y si este tiende a cero, la correlación entre las dos variables va a llegar a ser baja, si este valor es positivo o negativo la relación es directa o inversa respectivamente Ortiz *et al.* (2018).

#### **Ecuación 15**

*Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)*

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - X)(E_i - Em)]^2}{(\sum_{i=1}^n O_i^2 - nX^2) * (\sum_{i=1}^n E_i^2 - nEm^2)}$$

### **Raíz del error cuadrático medio (RMSE)**

Se utiliza para representa la distancia cuadrado promedio entre el valor real y el pronosticado, si el valor es bajo significa que el método no tiene error, Sproles (2016).

#### **Ecuación 16**

*Raíz del error cuadrático medio (RMSE)*

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}}$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo agosto 2021-enero 2022.**

En las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se muestra información climática colectada bajo invernadero en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022. Esta información fue usada en la determinación de la  $ET_o$  diaria y  $ET_o$  decenal, mediante la ecuación de  $PM-FAO56$  (Ec. 1) y; para el cálculo del coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal con el uso de las ecuaciones *Allen-Pruitt* (Ec. 9), *Cuenca* (Ec. 10), *Snyder* (Ec. 11), *Pereira* (Ec. 12),  $FAO56$  (Ec. 13).

En las Tablas 1,2 y 3 se muestra la serie diaria de datos agrometeorológicos correspondientes  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{med}$ ,  $Ev$ ,  $Rs$  y,  $HR_{media}$ . Los valores diarios de  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ , se obtuvieron como promedio de una serie de datos registrada cada 30 minutos en la estación meteorológica *WS-2317 Weather Pro Center*. La  $Ev$  del  $T_{evap}$ . Clase A fue tomada de manera diaria a las 17:00 y la  $Rs$  fue medida con el *piranómetro CMP3* cada minuto, Muñoz (2021). La  $T_{media}$  es el valor medio obtenido entre los valores diarios de  $T_{max}$  y  $T_{min}$  y,  $HR_{media}$  fue calculada con la Ec.2.

En las Tablas 4, 5 y 6 se muestra la serie diaria de datos agrometeorológicos correspondientes a  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{med}$ ,  $T_{prom}$ ,  $Ev$ ,  $Rs$  y,  $HR_{max}$ ,  $HR_{min}$ ,  $HR_{media}$ . Los valores diarios de  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{prom}$ ,  $HR_{min}$  y,  $HR_{max}$ , se obtuvieron como promedio de una serie de datos registrada cada 30 minutos en la estación inalámbrica *Ambient Weather WS-2000 Wi-Fi OSPREY*; la  $Rs$  también fue registrada por esta estación, la  $Ev$  del  $T_{evap}$ . Clase A fue tomada de manera diaria a las 9:00 am. Los valores diarios de  $T_{media}$  y  $HR_{media}$ , son valores medios obtenidos entre los valores máximos y mínimos diarios correspondiente a cada variable.

**Tabla 1**

*Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo agosto 2021*

<b>Fecha</b>	<b><math>T_{min}</math></b> °C	<b><math>T_{max}</math></b> °C	<b><math>T_{med}</math></b> °C	<b><math>Ev</math></b> (mm)	<b><math>Rs</math></b> (MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	<b><math>HR_{media}</math></b> (%)
<b>1</b>	10,20	30,60	20,40	1,70	5,90	64,17
<b>2</b>	10,20	23,30	16,75	3,00	3,13	71,75
<b>3</b>	11,90	27,40	19,65	1,00	11,11	69,09
<b>4</b>	12,00	33,30	22,65	1,40	11,26	63,71
<b>5</b>	10,70	22,40	16,55	3,00	3,13	73,75
<b>6</b>	10,80	32,70	21,75	3,00	6,58	63,09
<b>7</b>	10,80	25,70	18,25	2,00	5,45	69,61
<b>8</b>	8,40	32,80	20,60	1,00	8,23	61,08
<b>9</b>	10,40	27,30	18,85	1,00	5,51	67,38
<b>10</b>	10,20	27,40	18,80	1,00	5,31	67,05
<b>11</b>	6,80	33,50	20,15	1,00	10,53	59,55
<b>12</b>	7,40	28,40	17,90	1,00	5,32	63,31
<b>13</b>	9,20	33,30	21,25	2,00	12,93	61,37
<b>14</b>	8,40	30,60	19,50	1,00	11,02	62,55
<b>15</b>	10,80	32,70	21,75	1,00	8,13	63,09
<b>16</b>	10,00	25,90	17,95	2,00	6,32	68,37
<b>17</b>	8,90	32,40	20,65	2,00	8,13	61,72
<b>18</b>	9,20	23,80	16,50	2,00	10,07	69,73
<b>19</b>	10,40	29,10	19,75	2,00	5,94	65,65
<b>20</b>	7,40	33,50	20,45	2,00	7,55	59,95
<b>21</b>	7,40	29,10	18,25	2,00	12,55	62,78

<b>Fecha</b>	$T_{min}$ °C	$T_{max}$ °C	$T_{med}$ °C	$Ev$ (mm)	$Rs$ (MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	$HR_{media}$ (%)
<b>22</b>	9,20	31,70	20,45	2,00	6,75	62,45
<b>23</b>	5,40	31,80	18,60	1,00	6,80	59,54
<b>24</b>	5,40	30,10	17,75	1,00	9,82	60,51
<b>25</b>	10,60	29,40	20,00	1,00	4,01	65,59
<b>26</b>	9,20	34,50	21,85	1,00	11,06	60,64
<b>27</b>	8,30	30,10	19,20	1,00	9,21	62,83
<b>28</b>	8,40	30,60	19,50	1,00	9,03	62,55
<b>29</b>	8,30	29,10	18,70	2,00	6,23	63,59
<b>30</b>	8,90	28,40	18,65	1,00	3,77	64,74
<b>31</b>	9,20	31,70	20,45	1,00	8,05	62,45
<b>Prom.</b>	9,17	29,76	19,47	1,55	7,70	64,31
<b>Max.</b>	12,00	34,50	22,65	3,00	12,93	73,75
<b>Min.</b>	5,40	22,40	16,50	1,00	3,13	59,54

Nota: Se muestran los valores diarios correspondientes a  $T_{min}$ : temperatura mínima,  $T_{max}$ : temperatura máxima,  $T_{med}$ : temperatura media,  $Ev$ : lámina de agua evaporada,  $Rs$ : radiación solar y,  $HR_{media}$ : humedad relativa media. Autoría propia.

**Tabla 2**

*Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo septiembre 2021*

<b>Fecha</b>	$T_{min}$ °C	$T_{max}$ °C	$T_{med}$ °C	$Ev$ (mm)	$Rs$ (MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	$HR_{media}$ (%)
<b>1</b>	9,10	34,40	21,75	1,00	7,40	60,63
<b>2</b>	9,20	30,60	19,90	3,00	7,17	63,25
<b>3</b>	9,10	32,90	21,00	2,00	7,43	61,55

<b>Fecha</b>	<b><math>T_{min}</math></b>	<b><math>T_{max}</math></b>	<b><math>T_{med}</math></b>	<b><math>Ev</math></b>	<b><math>Rs</math></b>	<b><math>HR_{media}</math></b>
	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>(mm)</b>	<b>(MJ*m<sup>-2</sup>*día<sup>-1</sup>)</b>	<b>(%)</b>
<b>4</b>	8,30	31,70	20,00	2,00	7,17	61,71
<b>5</b>	9,30	25,90	17,60	1,00	7,51	67,53
<b>6</b>	8,50	19,70	14,10	1,00	7,51	74,18
<b>7</b>	8,50	32,80	20,65	1,00	7,61	61,16
<b>8</b>	8,50	30,60	19,55	1,00	7,57	62,64
<b>9</b>	8,10	32,80	20,45	2,00	7,38	60,86
<b>10</b>	9,20	31,10	20,15	1,00	7,56	62,88
<b>11</b>	10,20	25,60	17,90	1,00	7,23	68,96
<b>12</b>	9,20	22,10	15,65	1,00	7,03	71,87
<b>13</b>	8,50	31,10	19,80	2,00	7,51	62,28
<b>14</b>	5,40	34,60	20,00	2,00	7,34	58,15
<b>15</b>	5,40	32,80	19,10	2,00	7,05	59,02
<b>16</b>	8,40	30,10	19,25	2,00	7,44	62,92
<b>17</b>	8,40	34,50	21,45	2,00	7,07	60,08
<b>18</b>	10,20	28,40	19,30	2,00	7,22	66,08
<b>19</b>	8,30	31,10	19,70	3,00	7,63	62,12
<b>20</b>	5,40	30,10	17,75	1,00	7,68	60,51
<b>21</b>	10,20	26,60	18,40	1,00	7,29	67,87
<b>22</b>	11,10	25,70	18,40	1,00	6,93	70,01
<b>23</b>	9,20	26,40	17,80	2,00	7,32	66,91
<b>24</b>	8,90	30,60	19,75	2,00	7,51	62,98
<b>25</b>	12,00	30,10	21,05	3,00	7,60	66,43
<b>26</b>	10,80	30,10	20,45	1,40	7,39	65,18

<b>Fecha</b>	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	(mm)	(MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	(%)
<b>27</b>	8,40	34,50	21,45	1,00	7,36	60,08
<b>28</b>	7,40	32,80	20,10	1,00	7,26	60,35
<b>29</b>	11,10	26,50	18,80	1,00	7,26	69,08
<b>30</b>	10,80	32,80	21,80	2,00	7,28	63,02
<b>Prom.</b>	12,00	34,60	21,80	3,00	7,36	64,01
<b>Max.</b>	5,40	19,70	14,10	1,00	7,68	74,18
<b>Min.</b>	9,10	34,40	21,75	1,00	6,93	58,15

*Nota:* Se muestran los valores diarios correspondientes a  $T_{min}$ : temperatura mínima,  $T_{max}$ : temperatura máxima,  $T_{med}$ : temperatura media,  $Ev$ : lámina de agua evaporada,  $Rs$ : radiación solar y,  $HR_{media}$ : humedad relativa media. Autoría propia.

**Tabla 3**

*Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo de octubre 2021*

<b>Fecha</b>	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	(mm)	(MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	(%)
<b>1</b>	8,50	34,00	21,25	3,00	7,01	60,43
<b>2</b>	9,30	32,00	20,65	2,00	7,06	62,32
<b>3</b>	8,30	34,50	21,40	2,00	6,68	60,01
<b>4</b>	8,80	29,10	18,95	2,00	6,95	64,06
<b>5</b>	8,80	33,30	21,05	2,00	7,09	61,07
<b>6</b>	8,40	33,30	20,85	2,00	6,89	60,77
<b>7</b>	8,50	34,50	21,50	2,00	6,67	60,15
<b>8</b>	8,40	32,40	20,40	1,00	6,70	61,33
<b>9</b>	8,40	32,90	20,65	2,00	7,06	61,02



<b>Fecha</b>	<b><math>T_{min}</math></b>	<b><math>T_{max}</math></b>	<b><math>T_{med}</math></b>	<b><math>Ev</math></b>	<b><math>Rs</math></b>	<b><math>HR_{media}</math></b>
	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>(mm)</b>	<b>(MJ*m<sup>-2</sup>*día<sup>-1</sup>)</b>	<b>(%)</b>
<b>10</b>	10,20	19,60	14,90	2,00	7,14	77,28
<b>11</b>	9,30	33,00	21,15	1,00	9,24	61,65
<b>12</b>	9,20	33,60	21,40	2,00	8,83	61,18
<b>13</b>	10,20	35,90	23,05	2,00	7,80	60,53
<b>14</b>	8,40	35,00	21,70	1,00	6,11	59,80
<b>15</b>	8,40	33,50	20,95	1,00	8,47	60,65
<b>16</b>	9,30	29,10	19,20	1,00	4,91	64,54
<b>17</b>	9,20	29,30	19,25	3,00	5,62	64,28
<b>18</b>	8,30	33,30	20,80	2,00	7,34	60,70
<b>19</b>	8,30	34,50	21,40	1,00	7,36	60,01
<b>20</b>	8,90	33,30	21,10	2,00	8,43	61,15
<b>21</b>	11,10	29,60	20,35	1,00	5,38	65,93
<b>22</b>	8,50	35,80	22,15	2,00	6,25	59,44
<b>23</b>	10,80	30,60	20,70	1,00	5,12	64,75
<b>24</b>	8,40	35,90	22,15	2,00	8,02	59,33
<b>25</b>	10,20	32,70	21,45	2,00	5,65	62,58
<b>26</b>	10,60	30,90	20,75	2,00	5,30	64,31
<b>27</b>	8,40	36,90	22,65	2,00	7,52	58,83
<b>28</b>	9,20	35,80	22,50	1,00	8,24	59,90
<b>29</b>	9,20	33,50	21,35	1,00	5,78	61,25
<b>30</b>	8,30	33,50	20,90	2,00	8,19	60,58
<b>31</b>	10,80	27,80	19,30	1,00	4,12	67,34
<b>Prom.</b>	9,12	32,55	20,83	1,71	6,87	62,17

<b>Fecha</b>	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	(mm)	(MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	(%)
<b>Max.</b>	11,10	36,90	23,05	3,00	9,24	77,28
<b>Min.</b>	8,30	19,60	14,90	1,00	4,12	58,83

*Nota:* Se muestran los valores diarios correspondiente a  $T_{min}$ : temperatura mínima,  $T_{max}$ : temperatura máxima,  $T_{med}$ : temperatura media,  $Ev$ : lámina de agua evaporada,  $Rs$ : radiación solar y,  $HR_{media}$ : humedad relativa media. Autoría propia.

**Tabla 4**

*Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo noviembre 2021*

<b>Fecha</b>	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$T_{prom}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{max}$	$HR_{min}$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	°C	(mm)	(MJ*m <sup>-2</sup> *día <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(%)
<b>1</b>	10,40	34,20	22,30	15,94	0,98	5,79	97,00	35,00	66,00
<b>2</b>	9,80	30,30	20,05	15,35	0,98	5,98	97,00	33,00	65,00
<b>3</b>	6,60	36,70	21,65	16,00	0,98	10,00	95,00	25,00	60,00
<b>4</b>	6,10	37,60	21,85	15,46	0,98	10,57	90,00	24,00	57,00
<b>5</b>	5,90	38,20	22,05	16,02	0,98	9,46	94,00	22,00	58,00
<b>6</b>	9,10	31,70	20,40	15,52	0,98	5,64	96,00	35,00	65,50
<b>7</b>	7,20	24,10	15,65	14,25	0,98	3,59	96,00	44,00	70,00
<b>8</b>	11,50	31,00	21,25	15,87	0,98	7,30	97,00	33,00	65,00
<b>9</b>	11,10	31,10	21,10	14,79	1,00	4,58	98,00	41,00	69,50
<b>10</b>	10,30	33,20	21,75	15,70	1,00	6,36	99,00	36,00	67,50
<b>11</b>	9,10	32,90	21,00	16,03	1,00	6,21	96,00	32,00	64,00
<b>12</b>	10,80	34,40	22,60	16,13	1,00	6,76	97,00	32,00	64,50
<b>13</b>	9,70	30,40	20,05	15,08	1,00	5,86	98,00	47,00	72,50
<b>14</b>	9,60	34,40	22,00	16,42	1,00	6,67	98,00	34,00	66,00

<b>Fecha</b>	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$T_{prom}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{max}$	$HR_{min}$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	°C	(mm)	(MJ*m <sup>-2</sup> *d(a <sup>-1</sup> ))	(%)	(%)	(%)
<b>15</b>	11,00	37,60	24,30	17,54	1,00	10,94	98,00	26,00	62,00
<b>16</b>	10,40	34,30	22,35	15,98	2,00	6,96	99,00	40,00	69,50
<b>17</b>	8,90	34,90	21,90	16,55	1,00	8,11	99,00	36,00	67,50
<b>18</b>	10,60	36,70	23,65	18,86	1,00	9,73	98,00	30,00	64,00
<b>19</b>	9,28	32,94	21,11	15,75	1,00	6,89	96,61	35,54	66,08
<b>20</b>	9,28	32,94	21,11	15,75	1,00	6,89	96,61	35,54	66,08
<b>21</b>	11,30	29,80	20,55	16,66	1,00	7,09	94,00	45,00	69,50
<b>22</b>	6,70	32,80	19,75	15,92	1,00	6,98	96,00	37,00	66,50
<b>23</b>	9,20	34,00	21,60	15,18	1,00	4,93	96,00	36,00	66,00
<b>24</b>	10,90	32,30	21,60	15,62	1,00	5,61	97,00	38,00	67,50
<b>25</b>	9,50	31,10	20,30	14,06	1,00	5,15	99,00	40,00	69,50
<b>26</b>	9,00	32,60	20,80	14,82	1,00	6,16	99,00	39,00	69,00
<b>27</b>	7,40	35,40	21,40	15,29	1,00	10,30	98,00	32,00	65,00
<b>28</b>	6,40	33,50	19,95	16,29	1,00	11,37	95,00	34,00	64,50
<b>29</b>	11,60	29,90	20,75	15,79	1,00	6,07	94,00	42,00	68,00
<b>30</b>	9,80	27,10	18,45	13,99	1,00	4,75	95,00	47,00	71,00
<b>Prom.</b>	9,28	32,94	21,11	15,75	1,03	6,89	96,61	35,54	66,07
<b>Max.</b>	11,60	38,20	24,30	18,86	2,00	11,37	99,00	47,00	72,50
<b>Min.</b>	5,90	24,10	15,65	13,99	0,98	0,99	90,00	22,00	57,00

*Nota:* Se muestran los valores diarios correspondientes a  $T_{min}$ : temperatura mínima,  $T_{max}$ : temperatura máxima,  $T_{med}$ : temperatura media,  $T_{prom}$ : temperatura promedio,  $Ev$ : lámina de agua evaporada,  $Rs$ : radiación solar,  $HR_{max}$ : humedad relativa máxima,  $HR_{min}$ : humedad relativa mínima,  $HR_{media}$ : humedad relativa media. Autoría propia.

**Tabla 5***Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo diciembre 2021*

<b>Fecha</b>	<b><math>T_{min}</math></b>	<b><math>T_{max}</math></b>	<b><math>T_{med}</math></b>	<b><math>T_{prom}</math></b>	<b><math>Ev</math></b>	<b><math>Rs</math></b>	<b><math>HR_{max}</math></b>	<b><math>HR_{min}</math></b>	<b><math>HR_{media}</math></b>
	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>(mm)</b>	<b>(MJ*m<sup>-2</sup>*día<sup>-1</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>1</b>	8,50	32,50	20,50	15,26	1,00	6,64	97,00	41,00	69,00
<b>2</b>	7,00	33,60	20,30	16,10	2,00	10,59	92,00	33,00	62,50
<b>3</b>	7,70	28,80	18,25	15,25	1,00	6,86	92,00	39,00	65,50
<b>4</b>	7,60	32,70	20,15	15,84	1,00	8,16	93,00	34,00	63,50
<b>5</b>	8,80	32,10	20,45	15,67	2,00	8,73	94,00	34,00	64,00
<b>6</b>	9,60	34,00	21,80	15,93	2,00	7,29	97,00	42,00	69,50
<b>7</b>	8,00	31,00	19,50	16,16	1,00	7,03	92,00	44,00	68,00
<b>8</b>	12,00	23,90	17,95	15,88	1,00	3,89	94,00	60,00	77,00
<b>9</b>	9,60	30,30	19,95	17,07	1,00	8,84	95,00	42,00	68,50
<b>10</b>	10,10	29,70	19,90	15,92	1,00	7,39	96,00	53,00	74,50
<b>11</b>	11,20	28,00	19,60	15,49	1,00	7,56	98,00	47,00	72,50
<b>12</b>	11,40	19,80	15,60	13,75	1,00	3,23	97,00	75,00	86,00
<b>13</b>	11,20	24,70	17,95	14,40	1,00	4,33	99,00	59,00	79,00
<b>14</b>	11,20	18,50	14,85	13,46	1,00	2,53	99,00	78,00	88,50
<b>15</b>	9,60	28,00	18,80	15,38	1,00	5,99	99,00	51,00	75,00
<b>16</b>	11,20	22,50	16,85	15,08	1,00	4,83	97,00	63,00	80,00
<b>17</b>	12,10	22,70	17,40	15,11	1,00	3,33	98,00	71,00	84,50
<b>18</b>	11,90	22,60	17,25	14,83	1,00	3,66	98,00	66,00	82,00
<b>19</b>	12,30	24,50	18,40	15,33	1,00	4,00	99,00	59,00	79,00
<b>20</b>	9,20	25,80	17,50	15,88	1,00	6,46	98,00	51,00	74,50
<b>21</b>	12,20	28,50	20,35	16,42	1,00	5,46	97,00	47,00	72,00

Fecha	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$T_{prom}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{max}$	$HR_{min}$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	°C	(mm)	( $MJ*m^{-2}*día^{-1}$ )	(%)	(%)	(%)
22	12,10	33,10	22,60	16,50	1,00	7,25	97,00	41,00	69,00
23	8,70	30,80	19,75	16,94	1,00	10,49	95,00	36,00	65,50
24	7,10	31,00	19,05	16,60	2,00	10,76	93,00	35,00	64,00
25	7,10	26,00	16,55	15,22	2,00	7,34	94,00	42,00	68,00
26	7,70	31,10	19,40	15,39	1,00	8,07	96,00	38,00	67,00
27	10,40	29,40	19,90	16,41	1,00	8,81	97,00	39,00	68,00
28	7,40	31,00	19,20	15,81	1,00	7,34	95,00	42,00	68,50
29	8,50	25,10	16,80	14,52	1,00	4,16	95,00	56,00	75,50
30	8,80	31,40	20,10	16,60	1,00	9,24	96,00	35,00	65,50
31	8,50	31,30	19,90	16,95	1,00	9,61	97,00	34,00	65,50
<b>Prom.</b>	9,64	28,21	18,92	15,65	1,16	6,77	96,00	47,97	71,98
<b>Max.</b>	12,30	34,00	22,60	17,07	2,00	10,76	99,00	78,00	88,50
<b>Min.</b>	7,00	18,50	14,85	13,46	1,00	2,53	92,00	33,00	62,50

*Nota:* Se muestran los valores diarios correspondientes a  $T_{min}$ : temperatura mínima,  $T_{max}$ : temperatura máxima,  $T_{med}$ : temperatura media,  $T_{prom}$ : temperatura promedio,  $Ev$ : lámina de agua evaporada,  $Rs$ : radiación solar,  $HR_{max}$ : humedad relativa máxima,  $HR_{min}$ : humedad relativa mínima,  $HR_{media}$ : humedad relativa media. Autoría propia.

**Tabla 6**

*Serie de datos agrometeorológicos diarios bajo invernadero para el periodo enero 2022*

Fecha	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$T_{prom}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{max}$	$HR_{min}$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	°C	(mm)	( $MJ*m^{-2}*día^{-1}$ )	(%)	(%)	(%)
1	8,10	34,00	21,05	17,74	2,00	10,09	95,00	37,00	66,00
2	7,20	29,60	18,40	15,53	1,00	8,47	94,00	37,00	65,50

<b>Fecha</b>	<b><math>T_{min}</math></b>	<b><math>T_{max}</math></b>	<b><math>T_{med}</math></b>	<b><math>T_{prom}</math></b>	<b><math>Ev</math></b>	<b><math>Rs</math></b>	<b><math>HR_{max}</math></b>	<b><math>HR_{min}</math></b>	<b><math>HR_{media}</math></b>
	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>(mm)</b>	<b>(MJ*m<sup>-2</sup>*d(a<sup>-1</sup>))</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>3</b>	6,90	30,30	18,60	15,72	2,00	10,38	92,00	30,00	61,00
<b>4</b>	6,20	28,70	17,45	15,75	2,00	10,06	90,00	30,00	60,00
<b>5</b>	11,90	33,30	22,60	16,55	1,00	6,50	95,00	40,00	67,50
<b>6</b>	7,30	24,80	16,05	14,56	2,00	4,75	94,00	49,00	71,50
<b>7</b>	6,80	29,70	18,25	14,62	1,00	9,14	95,00	33,00	64,00
<b>8</b>	4,30	31,80	18,05	14,40	1,00	9,86	89,00	32,00	60,50
<b>9</b>	6,10	28,70	17,40	14,59	2,00	7,75	94,00	34,00	64,00
<b>10</b>	9,70	26,30	18,00	14,02	1,01	3,76	96,00	59,00	77,50
<b>11</b>	10,10	29,00	19,55	16,14	0,99	8,77	98,00	37,00	67,50
<b>12</b>	11,10	29,10	20,10	16,56	1,00	8,43	95,00	41,00	68,00
<b>13</b>	10,50	32,70	21,60	16,25	0,99	8,04	96,00	40,00	68,00
<b>14</b>	7,20	28,60	17,90	13,27	2,00	7,77	96,00	38,00	67,00
<b>15</b>	5,70	27,80	16,75	13,64	1,00	8,78	97,00	40,00	68,50
<b>16</b>	5,70	29,60	17,65	14,40	1,98	9,31	94,00	36,00	65,00
<b>17</b>	4,40	30,10	17,25	13,98	1,01	9,14	94,00	31,00	62,50
<b>18</b>	5,60	31,20	18,40	15,69	1,04	10,47	92,00	31,00	61,50
<b>19</b>	9,40	28,50	18,95	16,33	2,00	7,12	92,00	39,00	65,50
<b>20</b>	10,20	26,50	18,35	15,03	2,00	5,59	93,00	38,00	65,50
<b>21</b>	9,50	30,80	20,15	16,80	1,03	10,29	94,00	33,00	63,50
<b>22</b>	8,60	27,70	18,15	15,23	0,98	4,97	95,00	46,00	70,50
<b>23</b>	6,70	31,90	19,30	15,81	1,57	10,45	96,00	36,00	66,00
<b>24</b>	9,80	30,20	20,00	16,89	0,99	8,10	97,00	40,00	68,50
<b>25</b>	10,80	28,60	19,70	16,21	1,00	6,41	96,00	51,00	73,50

Fecha	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{med}$	$T_{prom}$	$Ev$	$Rs$	$HR_{max}$	$HR_{min}$	$HR_{media}$
	°C	°C	°C	°C	(mm)	(MJ*m <sup>-2</sup> *d(a <sup>-1</sup> ))	(%)	(%)	(%)
26	8,00	33,00	20,50	14,93	1,00	6,69	97,00	43,00	70,00
27	10,80	31,10	20,95	15,28	0,99	5,25	97,00	40,00	68,50
28	11,30	28,30	19,80	14,90	1,00	5,02	98,00	57,00	77,50
29	10,90	26,10	18,50	15,01	1,00	4,77	98,00	61,00	79,50
30	10,40	21,00	15,70	14,03	1,00	3,68	99,00	74,00	86,50
31	11,30	21,70	16,50	13,56	1,00	3,10	98,00	73,00	85,50
<b>Prom.</b>	8,47	29,05	18,76	15,27	1,31	7,51	95,03	42,13	68,58
<b>Max.</b>	11,90	34,00	22,60	17,74	2,00	10,47	99,00	74,00	86,50
<b>Min.</b>	4,30	21,00	15,70	13,27	0,98	3,10	89,00	30,00	60,00

*Nota:* Se muestran los valores diarios correspondientes a  $T_{min}$ : temperatura mínima,  $T_{max}$ : temperatura máxima,  $T_{med}$ : temperatura media,  $T_{prom}$ : temperatura promedio,  $Ev$ : lámina de agua evaporada,  $Rs$ : radiación solar,  $HR_{max}$ : humedad relativa máxima,  $HR_{min}$ : humedad relativa mínima,  $HR_{media}$ : humedad relativa media. Autoría propia.

### **Coefficiente $K_p$ medido diario y $K_{pm}$ decenal obtenido con base a la información climatológica colectada bajo invernadero, para el periodo agosto 2021-enero 2022.**

El valor promedio del coeficiente  $K_{pm}$  diario y  $K_{pm}$  decenal se determinó con la *Ec.8*, mediante el cálculo de la  $ET_o$  con la fórmula de la *Ec. de PM-FAO56 (Ec. 1)* dividido para la  $Ev$  del  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero. Para obtener el valor promedio del  $K_{pm}$  recomendado por la *FAO56*, se depuró la serie de datos climáticos diarios en un rango de 0,30 a 0,97; adquiriendo un total de 80 datos (*Apéndice 7*), estos datos fueron usados para el cálculo del coeficiente  $K_p$  decenal, que se obtuvo con el promedio de 10 días consecutivos (*Apéndice 8*).

**Tabla 7**

Valores promedios, máximos y mínimos del coeficiente  $K_{pm}$  diario y  $K_{pm}$  decenal colectados bajo invernadero en la Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022

N°	Método directo ( $K_{pm}$ )	Prom	Max	Min
1	$K_{pm}$ diario	0,74	0,97	0,31
2	$K_{pm}$ decenal	0,73	0,84	0,64

Nota: Para el periodo agosto 2021-enero del 2022, se muestra el valor Prom., Max. y, Min., del coeficiente  $K_{pm}$  diario y  $K_{pm}$  decenal bajo invernadero. Autoría propia.

Los valores promedio del coeficiente  $K_{pm}$  diario y  $K_{pm}$  decenal colectado bajo invernadero fueron de 0,74 y 0,73 respectivamente. Los datos reportados fueron similares a los obtenidos por Sentelhas *et al.* (2003), quienes encontraron un coeficiente  $K_{pm}$  en un rango 0,40 a 1,0; el estudio fue realizado a campo abierto en Piracicaba (Brasil).

Además, López *et al.* (2005), realizaron su estudio durante dos periodos de abril a junio y de julio a noviembre 2021, a campo abierto en una zona semiárida de Venezuela, calcularon el  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal considerando una distancia de 100 y 10 m entre el tanque y el área cultivada y, utilizaron el método de la ecuación de PM-FAO y el  $T_{evap}$  Clase A, encontraron valores de  $K_p$  medido para el primer periodo entre 0,60 a 0,75 y para el segundo periodo entre 0,60 a 0,80, mostrando similitud con los datos de la presente investigación.

Asimismo, la FAO56 indica que el uso del  $T_{evap}$  Clase A para estimar la  $ET_o$ , durante los periodos de 10 días, es recomendable si se predicen correctamente sus valores, Allen *et al.* (2006). Por lo que se seleccionó el valor de  $K_{pm}$  decenal para el cálculo de la  $ET_o$  bajo invernadero, durante el periodo agosto 2021-enero 2022.



**Coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal, calculados con diferentes métodos empíricos a base de información climatológica colectada bajo invernadero, para el periodo agosto 2021-enero 2022.**

Los valores de los coeficientes  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal calculados con diferentes métodos empíricos (*Allen-Pruitt, Cuenca, Snyder, Pereira y FAO56*), se determinaron mediante información climática de la  $HR$  y  $U_2$ , que fue colectada bajo invernadero y con el uso de estaciones meteorológicas automáticas. A continuación, se muestran las tablas con los valores promedio (*Prom*), máximos (*Max*) y mínimos (*Min*) del coeficiente  $K_p$  diario y decenal obtenidos de los Apéndices 7 y 8.

**Tabla 8**

*Valores prom, max y min del coeficiente  $K_p$  diario, para la serie meteorológica colectada bajo invernadero en la Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022*

<b>N°</b>	<b>Métodos empíricos (<math>K_{pe}</math>)</b>	<b>Prom<math>\pm</math>DE</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>
1	<i>Allen-Pruitt</i>	0,71 $\pm$ 0,02	0,75	0,69
2	<i>Cuenca</i>	0,74 $\pm$ 0,02	0,79	0,71
3	<i>Snyder</i>	0,77 $\pm$ 0,03	0,86	0,73
4	<i>Pereira</i>	0,71 $\pm$ 0,02	0,77	0,68
5	<i>FAO56</i>	0,70 $\pm$ 0,02	0,74	0,68

*Nota:* Para el periodo agosto 2021-enero del 2022, se muestran los valores *Prom  $\pm$  desviación estándar (DE)*, *Max.* y *Min.*, obtenidos por diferentes métodos empíricos del coeficiente  $K_p$  diarios, bajo invernadero. Autoría propia.

Los valores promedios, máximos y mínimos del coeficiente  $K_p$  diario colectado bajo invernadero muestran un rango promedio (0,70 a 0,77), máximo (0,74 a 0,86) y rango mínimo (0,68 a 0,73). Los datos descritos fueron similares a los obtenidos por Sentelhas *et al.* (2003),

quienes utilizaron los métodos empíricos (*Doorenbos y Pruitt, Cuenca, Snyder, Pereira, Raghuwanshi & Wallender y FAO56*) y reportan valores del coeficiente  $K_p$  en un rango de 0,60 a 0,90; el estudio fue realizado a campo abierto en Piracicaba (Brasil).

**Tabla 9**

*Valores prom, max y min del coeficiente  $K_p$  decenal, para la serie meteorológica colectada bajo invernadero en la Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022*

N°	Métodos empíricos ( $K_{pe}$ )	Prom $\pm$ DE	Max	Min
1	<i>Allen-Pruitt</i>	0,71 $\pm$ 0,01	0,73	0,70
2	<i>Cuenca</i>	0,74 $\pm$ 0,02	0,77	0,72
3	<i>Snyder</i>	0,77 $\pm$ 0,03	0,81	0,74
4	<i>Pereira</i>	0,71 $\pm$ 0,02	0,74	0,69
5	<i>FAO56</i>	0,70 $\pm$ 0,01	0,72	0,68

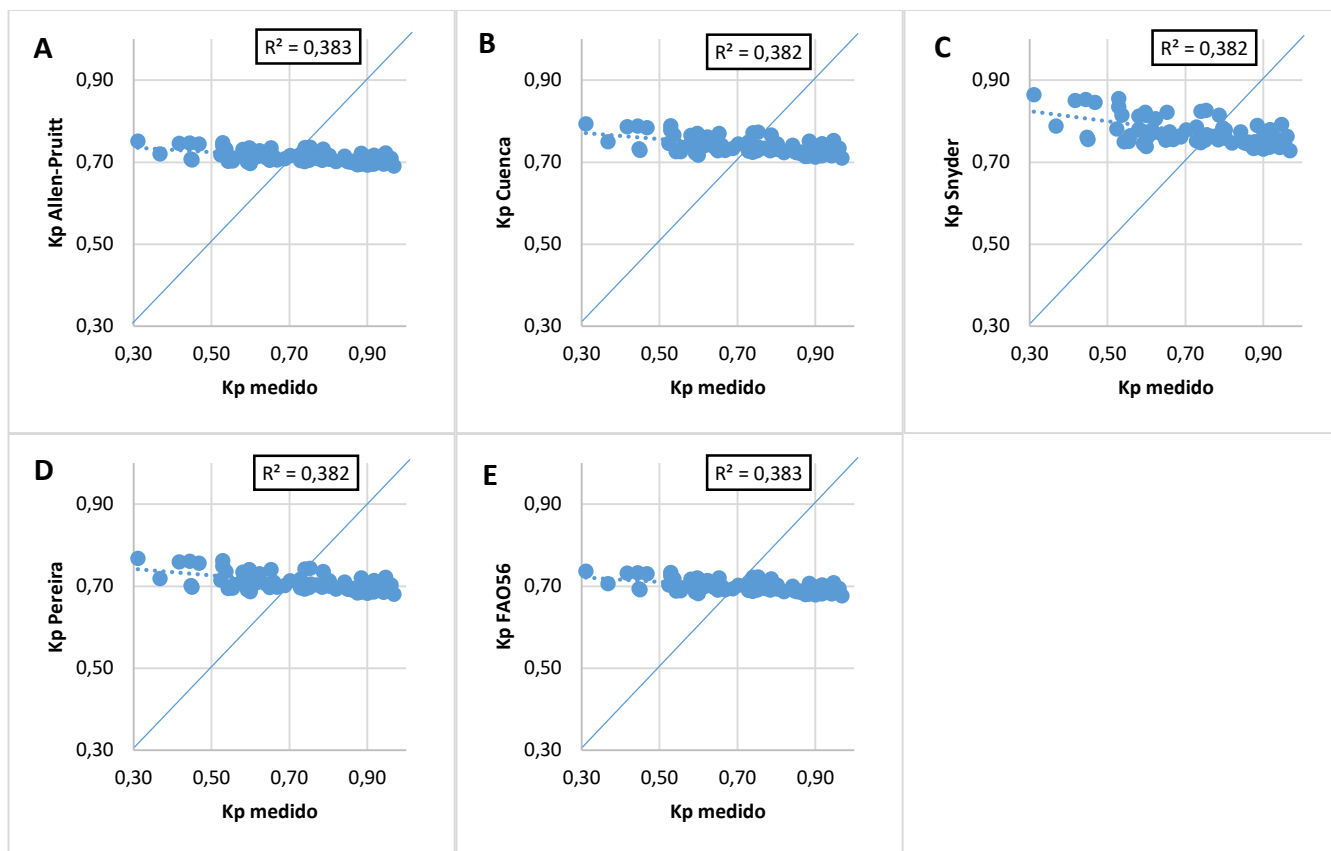
*Nota:* Para el periodo agosto 2021-enero del 2022, se muestran los valores *Prom  $\pm$  desviación estándar (DE), Max. y Min.*, obtenidos por diferentes métodos empíricos del coeficiente  $K_p$  decenal, bajo invernadero. Autoría propia.

Los valores promedios, máximos y mínimos del coeficiente  $K_p$  decenal colectada bajo invernadero indican un rango promedio (0,70 a 0,77), máximo de (0,74 a 0,86) y rango mínimo (0,68 a 0,73). Basándose en el estudio realizado a campo abierto por Villazón *et al.* (2021), en su trabajo reportó información del coeficiente  $K_p$  mediante el método de *Allen-Pruitt* con un coeficiente  $K_p$  promedio entre 0,67 a 0,76 de manera decenal (cada 10 días) durante un año en dos zonas de Holguín-Cuba.

**Correlaciones entre los valores estimados y medidos del coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal bajo invernadero, en el periodo agosto 2021-enero 2022.**

## Figura 7

Correlación entre los valores estimados y medidos del coeficiente  $K_p$  diario bajo invernadero, en el período agosto 2021-enero 2022

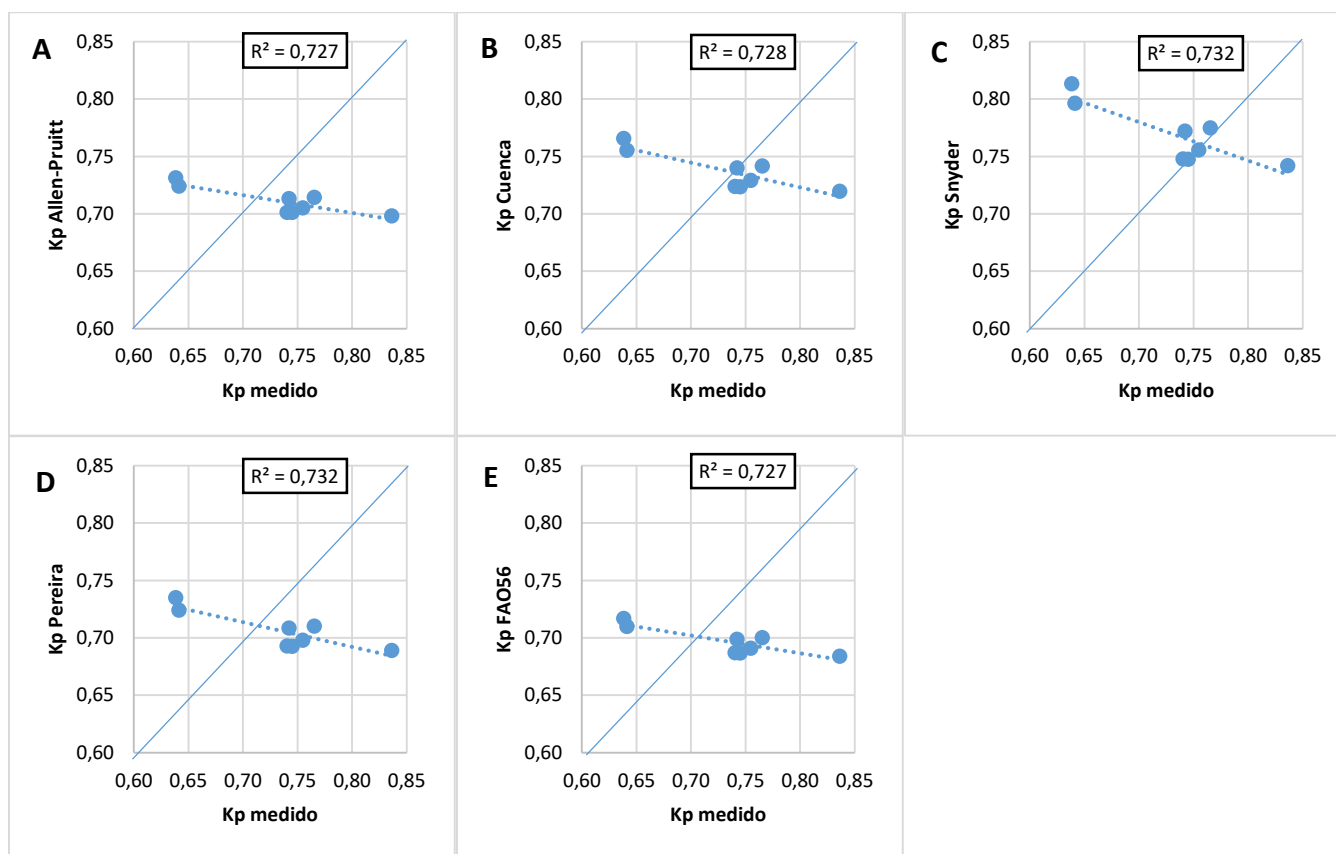


Nota: En las figuras se muestra correlaciones diarias entre el coeficiente de  $K_{pe}$  vs  $K_{pm}$  bajo invernadero, para el periodo agosto 2021- enero 2022. Los métodos empíricos usados para estimar el coeficiente  $K_p$  diario fueron: (A) Allen-Pruitt, (B) Cuenca, (C) Snyder, (D) Pereira y (E) FAO56 bajo invernadero. Autoría propia.

## Figura 8

Correlación entre los valores estimados y medidos del coeficiente  $K_p$  decenal bajo invernadero, en el período agosto 2021-enero 2022

2022



Nota: En las figuras se muestra correlaciones decenales entre el coeficiente de  $K_p$  vs  $K_p$  medido bajo invernadero, para el periodo agosto 2021- enero 2022. Los métodos empíricos usados para estimar el coeficiente  $K_p$  decenal fueron: (A) Allen-Pruitt, (B) Cuenca, (C) Snyder, (D) Pereira y (E) FAO56 bajo invernadero. Autoría propia.

De acuerdo a las correlaciones diarias y decenales entre valores estimados y medidos, se observa que todos los métodos presentan sobrestimación y subestimación de los coeficientes  $K_{pe}$  en relación a los coeficientes  $K_{pm}$ . En las correlaciones de valores decenales del coeficiente  $K_p$  decenal se observa que el método de *Snyder* presenta una mayor sobreestimación del coeficiente  $K_{pe}$  en relación al coeficiente  $K_{pm}$ .

Las correlaciones de valores de coeficientes  $K_{pe}$  Vs.  $K_{pm}$  diarios, muestran que los métodos tienen una menor precisión de estimación bajo el criterio de  $R^2$  *Allen-Pruitt* y *FAO56* con  $R^2 = 0,383$ ; *Snyder*, *Pereira* y *Cuenca* con  $R^2 = 0,382$ . Las correlaciones de valores de coeficientes  $K_{pe}$  Vs.  $K_{pm}$  decenal, muestran que todos los métodos tienen una mayor precisión de estimación bajo el criterio del  $R^2$  *Snyder* y *Pereira* con  $R^2 = 0,732$ , *Cuenca* con  $R^2 = 0,728$  y *Allen-Pruitt*, *FAO56* con  $R^2 = 0,727$ , se concluye que puede utilizarse cualquier método de coeficiente  $K_p$  decenal, ya que muestran un valor estadístico de  $R^2$  más alto, que los valores del coeficiente  $K_p$  diario bajo invernadero, para el periodo agosto 2021-enero 2022, en la localidad de la Hcda. El Prado.

### **Análisis de los criterios de evaluación de coeficientes $K_{pe}$ diarios y $K_{pe}$ decenales Vs. coeficiente $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022.**

En la validación de los métodos de estimación del coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal, se trabajó con base en la serie de datos agrometeorológicos depurados colectados bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022. Los criterios de evaluación empleados fueron: el error medio absoluto (*MAE*, Ec. 14), coeficiente de determinación ( $R^2$ , Ec. 15) y la raíz del error cuadrático medio (*RMSE*, Ec. 16), donde los valores del coeficiente  $K_{pe}$ , correspondieron a  $E_i$  y los valores del coeficiente de  $K_{pm}$  correspondieron a  $O_i$  y, el número total de datos considerados en el análisis fueron  $n=80$ .

**Tabla 10**

Análisis estadístico diario de criterios de evaluación, entre el coeficiente  $K_{pe}$  Vs. el coeficiente  $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022

Métodos del coeficiente  $K_{pe}$ Vs. el coeficiente $K_{pm}$	Criterios de evaluación diario		
	MAE	$R^2$	RMSE
<i>Allen/Pruitt-<math>K_{pm}</math></i>	0,156	0,383	0,178
<i>Cuenca-<math>K_{pm}</math></i>	0,155	0,382	0,180
<i>Snyder-<math>K_{pm}</math></i>	0,160	0,382	0,191
<i>Pereira-<math>K_{pm}</math></i>	0,160	0,382	0,183
<i>FAO/56-<math>K_{pm}</math></i>	0,159	0,383	0,180

*Nota:* Para el periodo agosto 2021- enero 2022, se muestra los criterios de evaluación diarios del MAE,  $R^2$  y, RMSE entre el coeficiente  $K_{pe}$  vs el coeficiente  $K_{pm}$  bajo invernadero. Autoría propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los criterios de evaluación correspondientes a la validación diaria de valores de coeficientes  $K_{pe}$  vs.  $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022, se observó que el mejor método de precisión para MAE y RMSE fue *Cuenca* (0,155; 0,180) y *Allen-Pruitt* (0,156; 0,178), el tercer método de precisión fue *FAO56* (0,159; 0,180), seguida por *Pereira* (0,160; 0,183) y por último *Snyder* (0,160; 0,191). Bajo el criterio de  $R^2$  los métodos no mostraron diferencia de mejor ajuste, considerando que se puede utilizar cualquier método del coeficiente  $K_p$  diario. Sentelhas *et al.* (2003), realizaron un estudio en Piracicaba (Brasil), y concluyeron que de los métodos empíricos de *Doorenbos y Pruitt*, *Cuenca*, *Snyder*, *Pereira*, *Raghuwanshi & Wallender* y *FAO56*, los mejores métodos para la estimación del coeficiente  $K_p$  diario a campo abierto,

fueron el método de *Cuenca* y el método de *Pereira* con un  $R^2$  de 0,927 y 0,937 y un *MAE* de 0,444 y 0,426 respectivamente.

Se concluye que los métodos empíricos para la estimación del coeficiente  $K_p$  diario bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, en el periodo agosto 2021-enero 2022. Estos métodos analizados de manera diaria no mostraron diferencias en relación al estadístico  $R^2$  (0,383; 0,382) y; en relación a los estadísticos del *MAE* y *RMSE* corresponden a *Cuenca* y *Allen-Pruitt* obteniendo los menores valores, en comparación con los otros métodos analizados en esta investigación, cuyos valores corresponden a *MAE* (0,155; 0,156) y; *RMSE* (0,178; 0,180) respectivamente.

**Tabla 11**

*Análisis estadístico decenal de criterios de evaluación, entre el coeficiente  $K_{pe}$  Vs. el coeficiente  $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022*

Métodos del coeficiente $K_{pe}$ Vs. el coeficiente $K_{pm}$	Criterios de evaluación decenal		
	MAE	$R^2$	RMSE
<i>Allen/Pruitt-<math>K_{pm}</math></i>	0,066	0,727	0,074
<i>Cuenca-<math>K_{pm}</math></i>	0,056	0,728	0,075
<i>Snyder-<math>K_{pm}</math></i>	0,060	0,732	0,090
<i>Pereira-<math>K_{pm}</math></i>	0,072	0,732	0,079
<i>FAO/56-<math>K_{pm}</math></i>	0,073	0,727	0,080

*Nota:* Para el periodo agosto 2021- enero 2022, se muestra los criterios de evaluación decenal del *MAE*,  $R^2$  y, *RMSE* entre el coeficiente  $K_{pe}$  Vs. el coeficiente  $K_{pm}$  bajo invernadero. Autoría propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los criterios de evaluación correspondientes a la validación decenal de valores de coeficientes  $K_{pe}$  Vs.  $K_{pm}$ , bajo invernadero, localidad

Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022, se observó que el mejor método de precisión para la estimación de acuerdo al criterio estadístico *MAE* fueron: *Cuenca* (0,056), *Snyder* (0,060), *Allen-Pruitt* (0,066), *Pereira* (0,072) y *FAO56* (0,073); para *RMSE* fueron *Allen-Pruitt* (0,074), *Cuenca* (0,075), *Pereira* (0,079), *FAO56* (0,080) y *Snyder* (0,090). Se concluye que bajo el criterio de  $R^2$  los métodos no muestran diferencias (0,732; 0,728; 0,727) y, en relación a los estadísticos del *MAE* y *RMSE* corresponden a *Snyder* y *Cuenca*, estos métodos obtuvieron los menores valores, en comparación con los otros métodos analizados en esta investigación, cuyos valores corresponden a *MAE* (0,056; 0,060) y; *RMSE* (0,075; 0,090) respectivamente.

#### **Determinación de *ETo* diaria y *ETo* decenal bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022.**

En el documento (*FAO56*), se menciona que las estimaciones de *ETo* a partir de la *Ec. de PM-56* son más precisas usando promedios de datos climáticos decenales; bajo este criterio para el cálculo de la *ETo* diaria y *ETo* decenal bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, se ha seleccionado el valor de 0,73 para el coeficiente  $K_p$  del  $T_{evap. Clase A}$  usado en esta investigación. Entonces, la ecuación para la estimación de la *ETo* diaria y *ETo* decenal con el uso del  $T_{evap. Clase A}$  bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, queda definida como:

#### **Ecuación 17**

*Evapotranspiración de referencia bajo invernadero, Hcda. El Prado.*

$$ETo=0,73*Ev$$

A continuación, en las tablas 14 y 15 se muestran los datos estimados de la *ETo* diaria y *ETo* decenal bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022.



**Tabla 12**

Datos de la ETo diaria medida con el  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022

Día	ETo (mm/día)					
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
1	1,24	0,73	2,19	0,72	0,73	1,46
2	2,19	2,19	1,46	0,72	1,46	0,73
3	0,73	1,46	1,46	0,72	0,73	1,46
4	1,02	1,46	1,46	0,72	0,73	1,46
5	2,19	0,73	1,46	0,72	1,46	0,73
6	2,19	0,73	1,46	0,72	1,46	1,46
7	1,46	0,73	1,46	0,72	0,73	0,73
8	0,73	0,73	0,73	0,72	0,73	0,73
9	0,73	1,46	1,46	0,73	0,73	1,46
10	0,73	0,73	1,46	0,73	0,73	0,74
11	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72
12	0,73	0,73	1,46	0,73	0,73	0,73
13	1,46	1,46	1,46	0,73	0,73	0,72
14	0,73	1,46	0,73	0,73	0,73	1,46
15	0,73	1,46	0,73	0,73	0,73	0,73
16	1,46	1,46	0,73	1,46	0,73	1,45
17	1,46	1,46	2,19	0,73	0,73	0,74
18	1,46	1,46	1,46	0,73	0,73	0,76
19	1,46	2,19	0,73	0,73	0,73	1,46

Día	<i>ETo (mm/día)</i>					
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
<b>20</b>	1,46	0,73	1,46	0,73	0,73	1,46
<b>21</b>	1,46	0,73	0,73	0,73	0,73	0,75
<b>22</b>	1,46	0,73	1,46	0,73	0,73	0,72
<b>23</b>	0,73	1,46	0,73	0,73	0,73	1,15
<b>24</b>	0,73	1,46	1,46	0,73	1,46	0,72
<b>25</b>	0,73	2,19	1,46	0,73	1,46	0,73
<b>26</b>	0,73	1,02	1,46	0,73	0,73	0,73
<b>27</b>	0,73	0,73	1,46	0,73	0,73	0,72
<b>28</b>	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
<b>29</b>	1,46	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
<b>30</b>	0,73	1,46	1,46	0,73	0,73	0,73
<b>31</b>	0,73	---	0,73	---	0,73	0,73
<b>Prom.</b>	1,13	1,18	1,25	0,75	0,85	0,96
<b>Max.</b>	2,19	2,19	2,19	1,46	1,46	1,46
<b>Min.</b>	0,73	0,73	0,73	0,72	0,73	0,72

*Nota:* Para el periodo agosto 2021-enero del 2022, se muestran valores de la *ETo* diaria en (*mm/día*), obtenida mediante la *Ev* del *T<sub>evap</sub>*. Clase A por el coeficiente *K<sub>p</sub>* decenal (0,73), bajo invernadero. Autoría propia.

En base a los valores presentados en la tabla 14, se obtuvo valores promedios de *ETo* diaria en (*mm/día*) correspondientes a valores Prom. (1,02); Max. (2,19) y, Min. (0,72) bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022.

**Tabla 13**

Datos de la *ETo* decenal medida con el  $T_{evap}$ . Clase A bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, periodo agosto 2021-enero 2022

Decenal	<i>ETo</i> (mm/día)					
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
1	1,32	1,10	1,46	0,72	0,95	1,10
2	1,17	1,31	1,17	0,80	0,73	1,02
3	0,93	1,12	1,13	0,73	0,86	0,77
<b>Prom.</b>	1,14	1,18	1,25	0,75	0,85	0,96
<b>Max.</b>	1,32	1,31	1,46	0,80	0,95	1,10
<b>Min.</b>	0,93	1,10	1,13	0,72	0,73	0,77

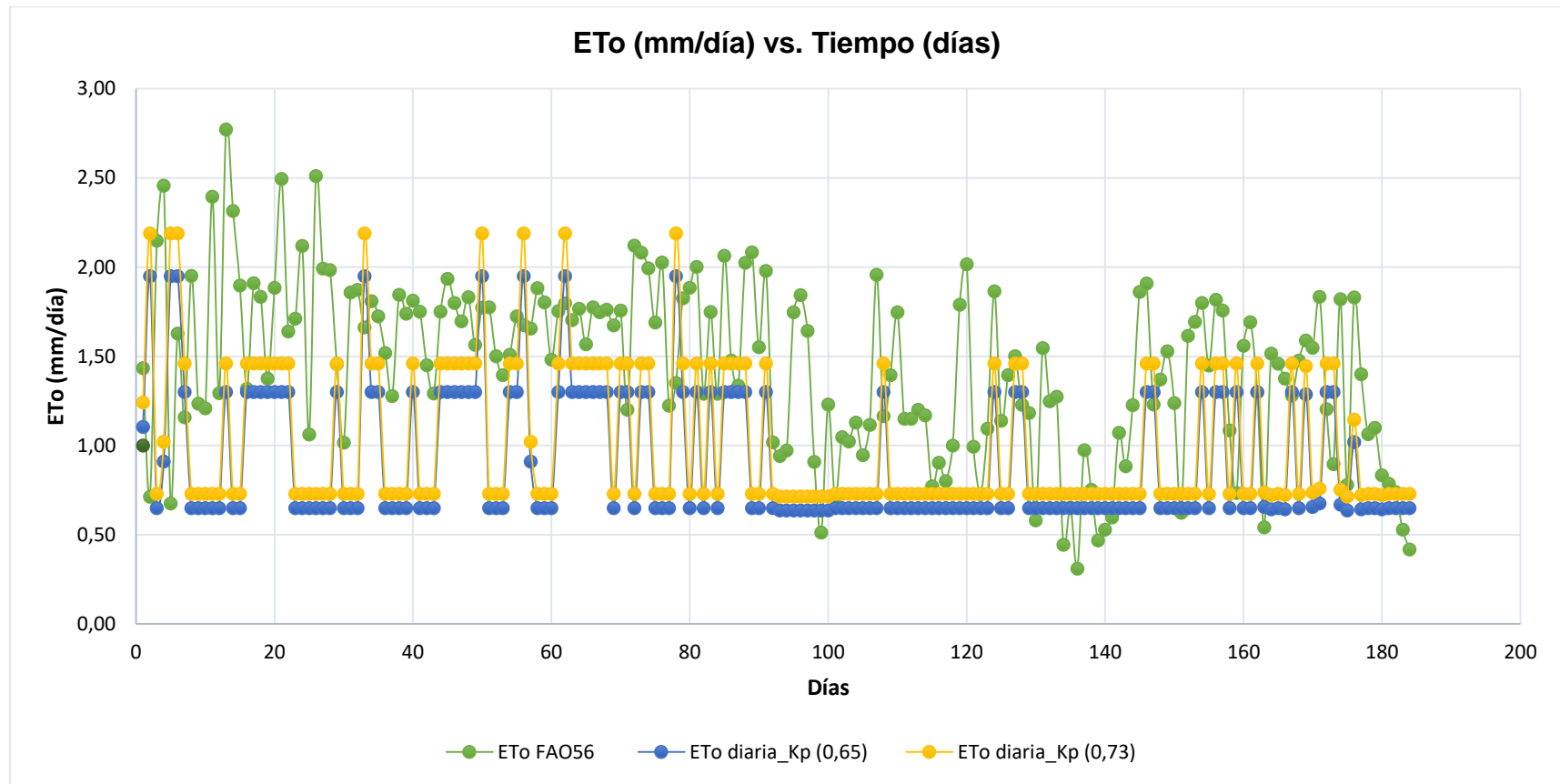
*Nota:* Para el periodo agosto 2021-enero del 2022, se muestran valores de la *ETo* decenal en (mm/día), obtenida mediante la  $Ev$  del  $T_{evap}$ . Clase A por el coeficiente  $K_p$  decenal (0,73), bajo invernadero. Autoría propia.

En base a los valores presentados en la tabla 15, se obtuvo valores promedios de *ETo* decenal en (mm/decenal) correspondientes a valores Prom. (1,02); Max. (1,46) y, Min (0,72) bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022.

En las figuras 9 y 10 se presenta la comparación gráfica de la *ETo* diaria y decenal bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022. La comparación se ha establecido entre la *ETo* calculada con la Ec. de PM-FAO56 y la *ETo* medida calculada con base en la  $Ev$  del  $T_{evap}$ . Clase A y, coeficientes  $K_p$  teórico (0,65) y, coeficiente  $K_p$  medido (0,73) que fue determinado en esta investigación. El  $K_p$  teórico se obtuvo del Apéndice 1.

**Figura 9**

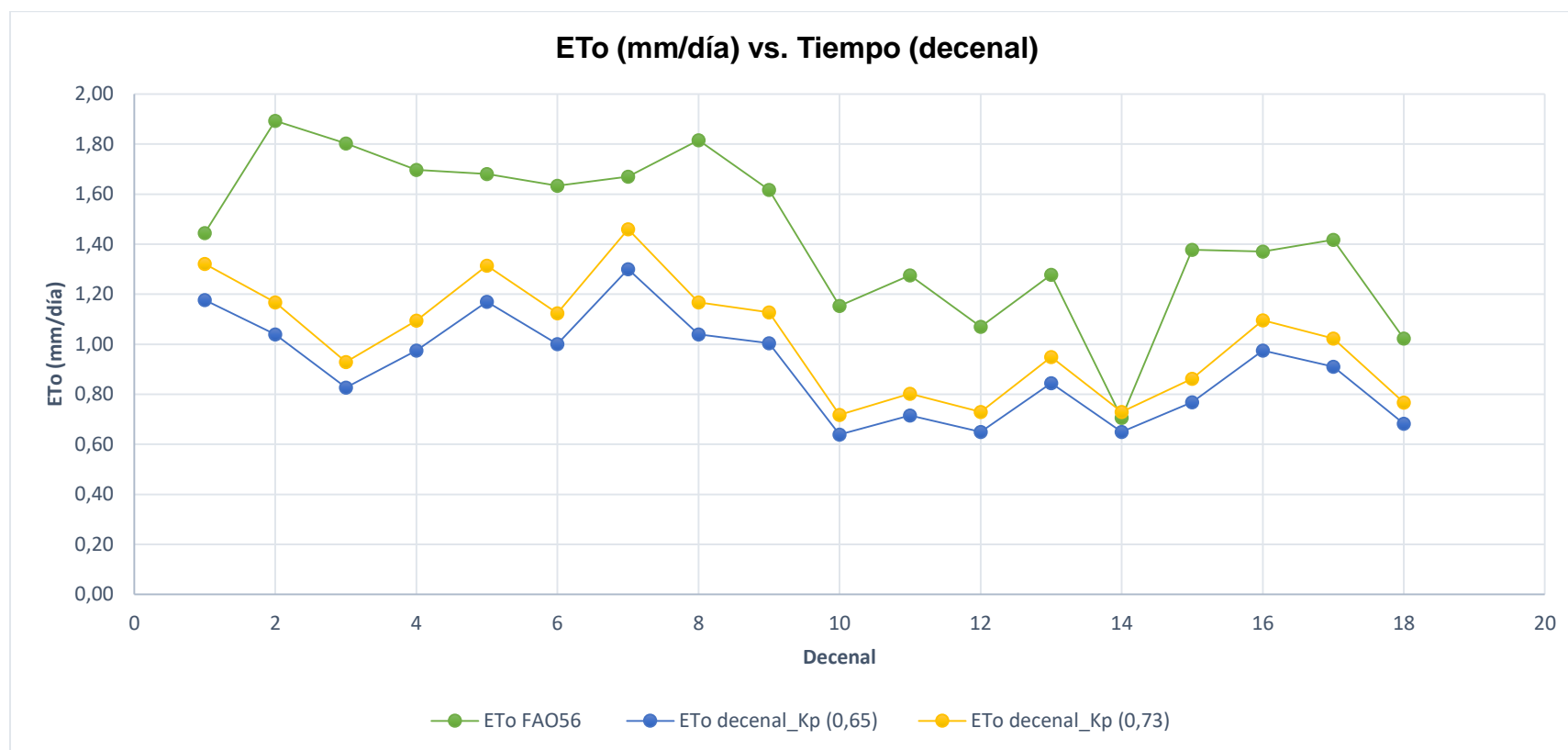
Comparación diaria de la  $ET_o$  FAO56 con  $ET_o$  ( $K_p=0,65$ ) y  $ET_o$  ( $K_p=0,73$ ) vs. tiempo, bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022



Nota: La gráfica muestra la comparación diaria de la  $ET_o$ , calculada con la  $Ec. PM-FAO$  ( $Ec.1$ ), con la  $ET_o$  calculada a partir de la  $Ec. del T_{evap. Clase A}$  y coeficientes  $K_p$  teórico=0,65 y coeficiente  $K_p$  medido=0,73 vs. tiempo, bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022.

**Figura 10**

Comparación decenal de la  $ET_o$  FAO56 con  $ET_o$  ( $K_p=0,65$ ) y  $ET_o$  ( $K_p=0,73$ ) vs. tiempo, bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022



Nota: La gráfica muestra la comparación decenal de la  $ET_o$ , calculada con la  $Ec. PM-FAO$  ( $Ec. 1$ ), con la  $ET_o$  calculada a partir de la  $Ec. del T_{evap. Clase A}$  y coeficientes  $K_p$  teórico=0,65 y coeficiente  $K_p$  medido=0,73 vs. tiempo, bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022.

En las figuras 9 y 10 se observa que la  $ET_o$  determinada a través del método directo del  $T_{evap. Clase A}$  y con  $K_p$  medido de 0,73, proporciona valores más cercanos a los valores de  $ET_o$  determinados con la  $Ec. PM-FAO56$ ; cabe indicar que la  $Ec. PM-FAO56$  fue recomendada por Muñoz (2021), para estimar la  $ET_o$  bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado. También se observa que en su mayoría la fórmula de  $PM-FAO56$  proporciona valores de  $ET_o$  que sobreestiman a los valores de  $ET_o$  determinados a través del método  $T_{evap} Clase A$ .

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Se establecieron valores medidos para el coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal, con base en el conocimiento de la lámina de agua evaporada en el  $T_{evap}$ . Clase A y estimaciones de  $ET_o$  calculada con la ecuación de PM-FAO56, obteniendo como valor promedio del coeficiente  $K_p$  diario=0.74 y coeficiente  $K_p$  decenal=0.73. Siendo el coeficiente  $K_p$  decenal, el valor seleccionado para la determinación de la  $ET_o$  diaria y decenal bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021-enero 2022, siguiendo las recomendaciones dadas por la FAO56 y, con base al análisis del parámetro estadístico  $R^2$ .
- Se logró estimar valores promedios de coeficientes  $K_p$  diarios y  $K_p$  decenales bajo invernadero, a través de los métodos empíricos de Allen-Pruitt ( $K_p=0.71$ ), Cuenca ( $K_p=0.74$ ), Snyder ( $K_p=0.77$ ), Pereira ( $K_p=0.71$ ) y FAO56 ( $K_p=0.70$ ).
- Conforme a las correlaciones entre valores estimados y valores medidos del coeficiente  $K_p$ , se concluye que todos los métodos empíricos analizados en esta investigación como son Allen-Pruitt, Cuenca, Snyder, Pereira y FAO56, pueden ser usados en el cálculo del coeficiente  $K_p$  diario y  $K_p$  decenal bajo invernadero, para la localidad de la Hcda. El Prado, en el periodo agosto 2021-octubre 2022; ya que los resultados obtenidos de  $R^2$ , no mostraron diferencias significativas ni en el análisis diario y ni en el análisis decenal.
- De acuerdo a los estadísticos MAE y RMSE, se concluye que los métodos empíricos para la estimación del coeficiente  $K_p$  diario bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, en el periodo agosto 2021-enero 2022, corresponden a Cuenca y Allen-Pruitt. Estos métodos obtuvieron los menores valores, en comparación con los otros métodos

analizados en esta investigación, cuyos valores corresponden a  $MAE$  (0,155; 0,156) y;  $RMSE$  (0,180; 0,178) respectivamente.

- De acuerdo a los estadísticos  $MAE$  y  $RMSE$ , se concluye que los métodos empíricos para la estimación del coeficiente  $K_p$  decenal bajo invernadero, localidad Hcda. El Prado, en el periodo agosto 2021-enero 2022, corresponden a *Snyder* y *Cuenca*. Estos métodos obtuvieron los menores valores, en comparación con los otros métodos analizados en esta investigación, cuyos valores corresponden a  $MAE$  (0,060; 0,056) y;  $RMSE$  (0,090; 0,075) respectivamente.
- Acorde a las correlaciones diarias y decenales entre valores estimados y medidos del coeficiente  $K_p$ , se observa que todos los métodos empíricos presentan sobrestimación y subestimación en el cálculo de los coeficientes  $K_p$ . En las correlaciones de valores decenales del coeficiente  $K_p$ , se observa que el método de *Snyder* presenta la mayor sobreestimación en el cálculo del coeficiente  $K_p$ .
- Se encontró el valor promedio diario y promedio decenal de  $ET_o$ , bajo invernadero, en la localidad Hcda. El Prado, para el periodo agosto 2021- enero 2022, a través del método directo del  $T_{evap. Clase A}$  y con coeficiente  $K_p=0,73$ , cuyo valor corresponde a 1,02 mm. El mes que presenta el mayor valor de  $ET_o$  en mm/día y mm/decena corresponde al mes de octubre 2021 (1,25 mm) y; el mes que presenta el menor valor de  $ET_o$  corresponde al mes de noviembre 2021 (0,75 mm).
- Conforme a las comparaciones gráficas, se concluye que los valores de  $ET_o$  determinados a través del método directo del  $T_{evap. Clase A}$  y con  $K_p$  medido de 0,73, proporciona valores más cercanos a los valores de  $ET_o$  determinados con la ecuación *PM-FAO56*; alcanzando una mayor precisión en la estimación de  $ET_o$ , en relación a la  $ET_o$  determinada con el uso del coeficiente  $K_p$  teórico=0,65.



- La fórmula de *PM-FAO56* proporciona valores de la *ETo* diarios y decenales bajo invernadero, que sobreestiman a los valores de *ETo* diarios y decenales determinados a través del método *T<sub>evap</sub> Clase A*, y coeficiente *Kp* teórico=0,65 y coeficiente *Kp* medido=0,73.

### Recomendaciones

- Para la medición de la evaporación del agua en el tanque de manera diaria, se recomienda utilizar un tornillo micrométrico para obtener una mejor precisión en la lectura de la lámina de agua evaporada en el *T<sub>evap</sub> Clase A*.
- Realizar un estudio con el uso del método directo lisímetro de drenaje, debido a que algunos estudios mencionan que este método es muy útil para el cálculo del *Kp* y para la estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (*ETo*).
- Realizar esta investigación a campo abierto para saber si se obtiene un coeficiente *Kp* igual o similar al realizado bajo invernadero para la estimación de *ETo* con el uso del método directo del *T<sub>evap</sub> Clase A*.
- Se recomienda que para determinar el coeficiente *Kp* por diferentes métodos empíricos y, obtener un *Kp* medido ya sea fuera o bajo invernadero, se calcule mediante datos decenal o mensuales que son mucho más precisos que los datos diarios.
- Los valores del coeficiente *Kp* diarios y decenales obtenidos en esta investigación, deben ser contrastados nuevamente en futuras investigaciones, debido que al ser desarrollada bajo invernadero y por no existir investigaciones previas en este espacio, se deben generar más investigaciones para obtener valores más precisos y confiables de coeficiente *Kp*.

## GLOSARIO

**Coeficiente  $K_p$ :** correcciones de las disimilitudes entre la lámina de agua evaporada en el tanque evaporímetro Clase A ( $E_v$ ) y la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ).

**$ET_o$ :** evapotranspiración del cultivo de referencia ( $mm/día$ ).

**$E_v$ :** lámina de agua evaporada del tanque evaporímetro Clase A ( $mm/día$ ).

**$F$ :** distancia entre el cultivo y el tanque evaporímetro Clase A ( $m$ ).

**$H_g$ :** Humedad gravimétrica (%).

**$HR_{media}$ :** humedad relativa media.

**$HR_{max}$ :** humedad relativa máxima (%).

**$HR_{min}$ :** humedad relativa mínima (%).

**$MAE$ :** error medio absoluto.

**$MD$ :** método directo.

**$MI$ :** método indirecto.

**$PM-FAO5$ :** Penman Monteith FAO56.

**$R^2$ :** coeficiente de determinación.

**$RMSE$ :** raíz del error cuadrático medio.

**$R_s$ :** radiación solar ( $MJ*m^{-2}*día^{-1}$ ).

**$T$ :** temperatura (%).

**$T_{evap. Clase A}$ :** tanque evaporímetro Clase A.

**$T_{min}$ :** temperatura mínima (%).

**$T_{max}$ :** temperatura máxima (%).

**$T_{med}$ :** temperatura media (%).

**$T_{prom}$ :** temperatura promedio (%).

**$U_2$ :** velocidad del viento ( $m.s^{-1}$ ).

## BIBLIOGRAFÍA

- Agroproductores. (29 de 08 de 2020). *Alcalinidad del agua y su efecto en la producción agrícola*. Obtenido de <https://agroproductores.com/alcalinidad-del-agua/>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO56 Riego y drenaje, 45*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Álvarez Lara, P. A. (2019). *Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) del pimiento (Capsicum annum L.) en función a la evapotranspiración real en comparación con el Kc teórico [Tesis de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Facultad de Ciencias Agrarias*. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3679/1/T-UTEQ-0170.pdf>
- Arce Carriel, M. R. (2019). Normal climática y distribución de la precipitación de la hacienda El Prado-IASA. Boletín Técnico 8. 126-128.
- Barriga, M., Viscaíno, J., & Recalde, C. (2015). *Implementación de una red de estación meteorológica. X Congreso de Ciencias y Tecnología ESPE. Riobamba-Ecuador*. Obtenido de [file:///C:/Users/Anita/Downloads/dgarccos,+C4\\_Articulo\\_5.pdf](file:///C:/Users/Anita/Downloads/dgarccos,+C4_Articulo_5.pdf)
- Bidault, O. (28 de 06 de 2016). *¿Qué factores determinan la calidad del agua?. Waterlogic*. Obtenido de <https://www.waterlogic.es/blog/que-factores-determinan-la-calidad-del-agua/>
- Cáceres, J. (2017). *Determinación del coeficiente (Kc) para el cultivo de Páprika var. "Papri Queen" bajo condiciones de la irrigación Majes. [Tesis de investigación, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa] Facultad de agronomía. Arequipa-Perú*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3166/Agcalojm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calvache, A. (09 de 2002). *Manejo Del Agua: Principios Fundamentales. VIII Congreso de la SECS. Manabí-Ecuador*. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/303691521\\_MANEJO\\_DEL\\_AGUA\\_PRINCIPIOS\\_FUNDAMENTALES](https://www.researchgate.net/publication/303691521_MANEJO_DEL_AGUA_PRINCIPIOS_FUNDAMENTALES)

- Castro, C. (09 de 02 de 2009). *Lamina neta (Ln) de aplicación de agua*. Obtenido de <https://elknol.wordpress.com/article/lamina-neta-ln-de-aplicacion-de-agua-1i29ptfum49sf-20/>
- Castro, M. (2019). *Pluviómetro: Características, importancia, tipos y más.* . Obtenido de <https://magicanaturaleza.com/c-lluvia/pluviometro/>
- Celine, G. (2011). Updating Class A pan coefficients (Kp) for estimating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) in the humid tropical region of Kerala. Kerala: Journal of Tropical Agriculture, 50(1998). Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28826/3/Trabajo de Titulación.pdf.pdf>
- Cobos, F., & Narvaéz, D. (2018). *Fenología y producción de Rye grass (Lolium multiflorum) bajo sistema de labranza convencional y alternativa en la Granja de Irquis [Tesis de investigación, Universidad de Cuenca]. Facultad de ciencias Agropecuarias. Cuenca-Ecuador*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28826/3/Trabajo de Titulación.pdf.pdf>
- Custódio, T., Aguilar, S., Freire, A., Araújo da Silva, S., & Espínola, J. (2016). *Coeficiente Do Tanque Classe a Para a Região De Mossoró, Rn. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 10(2), 515–521*. Obtenido de <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n200383>
- Delgado, G. (2012). *Determinación de la lámina de riego para el cultivo de la albahaca genovesa a partir de la variación del coeficiente multiplicador de la evaporación [Tesis de grado, Universidad Del Valle]*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/9017>

- Díaz, M. (2013). *Desarrollo de metodologías para el estudio de raíces [Facultad de ciencias agronómicas, Universidad de Chile]. Santiago-Chile*. Obtenido de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147946/Díaz- Desarrollo metodologías \(2013\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147946/Díaz-Desarrollo%20metodologías%20(2013).pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Doorenbos. (1997). *WO Requerimientos de agua para cultivos*. Papel de riego y drenaje (24,179).
- Durán, F. (2013). *Sistema de riego. Ficha técnica*. Grupo latino editores. Obtenido de <https://tuslibrosmx.com/lectura-cuentos/categorias-libros/educacion/agricultura-ganaderia/sistemas-de-riego-grupo-latino-editores-libro-libro>
- Earth, G. (2023). Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-0.38929217,-78.41551,2734.38378516a,195.84362224d,35y,148.94318831h,16.43082764t,-0r>
- Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores. Riego por aspersión (3rd ed.)*.
- Fuentes, J., & Cruz, J. (1990). *Curso elemental de riego. Dirección de Biblioteca y recursos de aprendizaje ESPOCH. Riobamba- Ecuador*. Obtenido de <https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=19494>
- Gaitan, Y., & Ocampo, V. (2016). *Análisis de las variables climatológicas temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación, brillo solar, radiación, velocidad y dirección del viento, medidas por la estación meteorológica "Argelia" [Tesis de grado, Univerisidad de Cundinamarca]*. Obtenido de [https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/277/Trabajo de Grado Alvarino y Ocampo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/277/Trabajo%20de%20Grado%20Alvarino%20y%20Ocampo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guerrero, L. (01 de 11 de 2019). *¿Cómo se mide el viento?*. (Español, Editor) Obtenido de <https://www.aboutespanol.com/como-se-mide-el-viento-3417591>
- Guevara, J. (2006). *The use of the 1998 Penman-Monteith FAO formula in order to determine referential evapotranspiration (ETo)*. *Terra Nueva Etapa*, 22(31), 31–72. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72103103>

- Hernandez, J., & Santana, L. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith. Análisis Año 2008. Agro Cabildo*, 1–77. Obtenido de <https://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>
- Hormaza, P. (2007). *Utilización de rizotrones para el estudio de la dinámica del crecimiento de raíces de la palma de aceite. 3–4 [Universidad Nacional de Colombia]. Departamento de Biología*. Obtenido de [file:///C:/Users/Anita/Downloads/gecortes,+Gestor\\_a+de+la+revista,+Ceniavances-154.pdf](file:///C:/Users/Anita/Downloads/gecortes,+Gestor_a+de+la+revista,+Ceniavances-154.pdf)
- Huapaya, Y. (03 de 2013). Análisis de la evapotranspiración potencial en función de elementos climáticos en la zona circunlacustre de la cuenca del Titicaca Peruano. *ECIPerú*, 9(2). Obtenido de <https://revistaeciperu.com/wp-content/uploads/2019/01/20120020.pdf>
- Infoagro. (2017). *Necesidades de agua de riego*. Obtenido de <https://mexico.infoagro.com/necesidades-de-agua-de-riego/>
- Intagri. (2015). *El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>
- Leon Teran, J. E. (2018). “*Determinación de requerimientos hídricos en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa) var. Winterhaven en base al tanque de evaporación tipo A y fórmulas empíricas (FAO) en Macaji, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo*”. Obtenido de <https://1library.co/document/z1dlx5ez-determinacion-requerimientos-hidricos-winterhaven-evaporacion-formulas-empiricas-chimborazo.html>
- López. (2007). *Unidad III Necesidades hídricas de los cultivos*. Obtenido de <https://calificaciones.weebly.com/uploads/1/0/6/5/10652/evaporimetro.pdf>
- López, J., & Dennett, M. (2005). *Comparación de dos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) en una zona semiárida de Venezuela*. 17(1), 41–46.

- Mancheno, C. (1989). *Efecto de la densidad de siembra y corte de igualación en la producción de semilla rye grass var. Pichincha.*[Tesis de investigación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] INIAP - Estación Experimental Santa Catalina. Riobamba-Ecuador.  
Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/519/1/iniapsctM268e.pdf>
- Mariño Macana, Y. A. (20 de 02 de 2006). *Evaluación del punto de marchitez permanente bajo condiciones de invernadero como variable para la asignación de clones de.* (Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Facultad de ciencias. Bogotá-Colombia.  
Obtenido de  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8947/tesis93.pdf?sequen>
- Meza, M. d. (2010). *Termohigrómetro.* LAVEP, UNAM. Obtenido de  
<https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/termohigrometro.pdf>
- Monge, M. (2019). *Evapotranspiración y Kc.* Obtenido de Iagua:  
<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/evapotranspiracion-y-kc-parte-i>
- Muñoz, D. (2021). *Determinación de la evapotranspiración de referencia diaria bajo invernadero con el empleo de métodos directos e indirectos, en el periodo agosto-octubre, Hcda. El Prado.* [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de Departamento de ciencia de la Vida y Agricultura. Sangolquí-Ecuador.
- Navejas, J., Nieto, A., Fraga, H., Rueda, E., & Ávila, N. (2011). *Comparación de metodos para estimar la ETo en una zona árida citrícola del noroeste de Mexico-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).* [Universidad Autónoma de Yucatán] Mérida-México. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93917767005.pdf>
- Odar, E., & Ramírez, O. (2014). *Proyecto Especial Chavimochic Boletín Técnico N ° 2. Uso del tanque evaporímetro para la agricultura, 2030–2032.* Obtenido de  
[http://www.chavimochic.gob.pe/images/boletines/Tanque\\_Evaporimetro.pdf](http://www.chavimochic.gob.pe/images/boletines/Tanque_Evaporimetro.pdf)

- Oriol, P. (08 de 07 de 2021). *¿Cómo medir la radiación solar?. Energía solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/medicion>
- Ortiz Calle, R. (2008). *Hidroponía en el suelo: la reingeniería del manejo del agua de riego y de la fertilización de los cultivos*. (Abya-Yala, Ed.) Obtenido de <https://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=70603>
- Ortiz, R., Tamayo, C., & Méndez, A. (2018). *he Class A pan coefficient to estimate the reference evapotranspiration for the Tumbaco valley*. 5(1), 16–25. Obtenido de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1424/1384>
- Otero, A., Goñi, C., & Castaño, J. (06 de 2012). *Estimación de la evapotranspiración de referencia a partir de tanque «A» en el noroeste del Uruguay*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. INIA-Salto Grande. (A. Uruguay, Ed.) Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/256485475\\_Estimacion\\_de\\_la\\_evapotranspiracion\\_de\\_referencia\\_a\\_partir\\_de\\_tanque\\_A\\_en\\_el\\_noroeste\\_del\\_Uruguay](https://www.researchgate.net/publication/256485475_Estimacion_de_la_evapotranspiracion_de_referencia_a_partir_de_tanque_A_en_el_noroeste_del_Uruguay)
- Paitan, H. (16 de 01 de 2020). *Parámetros ruminales, composición química y valores energéticos de forrajes y concentrados en bovinos. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica] Huancavelica-Perú*. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3227>
- Peña, R. (2013). *Evaluación agronómica de seis genotipos de papa (.Solanum spp.) sometidos al déficit hídrico en la etapa fenológica de floración*. . Obtenido de INIAP: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1023/1/iniapscP.P397rtp2013.pdf>
- Pérez, C., Manrique, O., & Díaz, C. (06 de 2012). *Coeficiente de evaporímetro para la programación del riego*. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(1), 24–27. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5862/586262034003.pdf>
- Puppo, L., & García, M. (2009). *Estimación de los coeficientes de tanque «A» para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona sur del Uruguay*. *Agrociencia*



- (Montevideo), XIII(2), 47–51. Obtenido de  
<http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v13n2/v13n2a06.pdf>
- Sangucho, J. (2018). *Cálculo de la evapotranspiración a partir de información agrometeorológica de la estación MA-56 [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] Sangoquí-Ecuador*. Obtenido de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/14305>
- Sentelhas, P., & Folegatti, M. (04 de 2003). *Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ETo) [Universidad Nacional de Cuyo]. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Vol. 7, Issue 1)*. Obtenido de  
<https://doi.org/10.1590/s1415-43662003000100018>
- Serviá, I. (2015). *Evapotranspiración, en búsqueda de la referencia*. Obtenido de iagua:  
<https://www.iagua.es/blogs/ignasi-servia/evapotranspiracion-busqueda-referencia>
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO79*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>
- Silicani, M. (01 de 06 de 2015). *Diseño, construcción y operación de un lisímetro de bajo costo [Universidad Nacional de Cuyo]*. Obtenido de  
<https://digital.cic.gba.gob.ar/items/5013c3a4-de63-405a-a437-082c28ae052a>
- Sproles, E. (2016). *Tutoria Modelo Pronostico – Microsoft Excel. HidroLabs*. Obtenido de  
[https://www.cazalac.org/mwar\\_lac/fileadmin/imagenes2/Remote\\_Sensing/3.\\_Tutoria\\_Modelo\\_Pronostico\\_-\\_Microsoft\\_Excel.pdf](https://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/imagenes2/Remote_Sensing/3._Tutoria_Modelo_Pronostico_-_Microsoft_Excel.pdf)
- Toledo, L. (03 de 2015). *Evaporación y transpiración*. Obtenido de  
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32341/secme-11680.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vassilis, A., Vassilis, A., & Dimitris, P. (2012). *Evaluation of pan coefficient equations in a semi-arid Mediterranean environment using the ASCE-standardized Penman-Monteith*

*method. Agricultural Sciences, 03(01), 58–65. Obtenido de Agricultural Sciences, 03(01), 58–65: <https://doi.org/10.4236/as.2012.31008>*

Ventura, M. (2018). *Análisis de la Evapotranspiración para Chile Habanero (Capsicum Chinense Jacq) Bajo Condiciones de Invernadero [Instituto Tecnológico de Torreón].*

Obtenido de

[http://www.ittorreon.edu.mx/pages/tesis/MAESTRIARRIGACION/2018/MARINA BRIGIDA VENTURA HERNANDEZ - ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA CHILE HABANERO \(CAPSICUM CHINENSE JACQ\) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.pdf](http://www.ittorreon.edu.mx/pages/tesis/MAESTRIARRIGACION/2018/MARINA%20BRIGIDA%20VENTURA%20HERNANDEZ%20-%20ANÁLISIS%20DE%20LA%20EVAPOTRANSPIRACIÓN%20PARA%20CHILE%20HABANERO%20(CAPSICUM%20CHINENSE%20JACQ)%20BAJO%20CONDICIONES%20DE%20INVERNADERO.pdf)

Villazón, J., Noris, P., Vásquez, R., Gutiérrez, G., & Vidal, Y. (2021). *Coefficiente Kp del tanque evaporímetro clase «A» para la estimación de la evapotranspiración de referencia.*

*Idesia (Arica), 39. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292021000300111&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292021000300111&script=sci_arttext&tlng=es)*