



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ECUADOR**

**SEDE MANABÍ – CAMPUS CHONE**

**CARRERA INGENIERA HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN:**

RELACIÓN DE LA EVAPORACIÓN DE LA TINA NO ESTÁNDAR CON LA  
EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN EL CANTÓN CHONE

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERA HIDRÁULICA**

**AUTORA:**

**MARÍA DIVINIA CEDEÑO LÓPEZ**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:**

**ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARRÍA PARRÁGA, M.SC.**

**JUNIO 2021**

**CHONE - MANABÍ - ECUADOR**

### **Certificación del tutor del trabajo de titulación**

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

---

ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARRÍA PÁRRAGA, M.Sc.

C.C. 130827219-2

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Acta de aprobación del tribunal**

El jurado examinador aprueba el presente manuscrito de investigación curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

---

ING. JESÚS CHAVARRÍA PÁRRAGA, M.Sc.

**PRIMER LECTOR**

---

ING. FABIÁN RODRIGO ESPINALES CEDEÑO, M.Sc.

**SEGUNDO LECTOR**

---

ING. JHON ENRIQUE FÈLIX MERA, M.Sc

**TERCER LECTOR**

### **Declaración de originalidad**

Éste manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en nuestro trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declaran bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

---

**MARÍA DIVINIA CEDEÑO LÓPEZ**

**C.C.: 1315091494**

**E-MAIL: [he-515@puce.edu.ec](mailto:he-515@puce.edu.ec)**

**CELULAR: 0963095862**

### **Declaración de derechos de autor**

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

---

**MARÍA DIVINIA CEDEÑO LÓPEZ**

**C.C.: 1315091494**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo quiero primordialmente dedicárselo a Dios por permitirme alcanzar esta meta, sobre todo por darme el regalo más preciado de la vida y bendecirme a diario.

A mis queridos y extraordinarios padres Iván Cedeño Moreira y Ana López Álava dedico esta anhelada meta con mucho amor por creer en mí y ser el pilar fundamental de mi vida, quienes me han brindado su apoyo, esfuerzo, perseverancia, motivación, sacrificio, amor y dedicación en cada etapa de mi vida para conseguir lo que me proponga.

**MARÍA DIVINIA CEDEÑO LÓPEZ**

## **Agradecimiento**

Expreso mi gratitud eterna a Dios ya que con su voluntad he logrado llegar a cumplir esta meta.

A mis padres, que son los instructores de mi vida y lo más importantes que tengo, quienes me motivan a seguir adelante y ser mejor cada día contando siempre con su dedicación, apoyo y amor incondicional. A mis hermanos, sobrino y novio por todo el apoyo que me brindaron durante este proceso sobre todo por llenar mi corazón de alegría y mucho amor. Finalmente, y de manera especial a mis abuelos maternos por ser parte importante de mi vida y hacerla más sencilla con todo el cariño que me ofrecen.

Mi gratificación a mi director de tesis al Ing. Jesús Chavarría Párraga por su guía y paciencia brinda para realizar la elaboración de este trabajo de tesis. Sin dejar atrás a mis formadores académicos e institución por haberme brindado sus conocimientos durante mi camino estudiantil.

**MARÍA DIVINIA CEDEÑO LÓPEZ**

## Resumen

Esta investigación cuantitativa de tipo experimental permitió relacionar la evaporación de la tina no estándar con la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), al ser un parámetro necesario en la cuantificación del requerimiento hídrico, y en la planificación y gestión de estos recursos. Debido a ello, en la estación meteorológica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Campus Chone, se recopiló información climatológica diaria entre noviembre y diciembre de 2020. Se utilizó la tina no estándar, que es un recipiente cilíndrico de 20lt, donde se ubicó un gancho medidor para obtener la lectura de evaporación y los niveles diarios observados de la superficie libre de agua. Los métodos indirectos analizados y comparados, según el desempeño de varios parámetros estadísticos, fueron Penman-*Monteith* FAO 56 y tina de evaporación. Los resultados de la relación entre la evaporación de la tina estándar con la no estándar indican que existe un desempeño óptimo del coeficiente de determinación de 84%, por lo que presenta un modelo de regresión lineal que responde a la ecuación  $y = 2.47x$ , para ajustar el valor de la evaporación de la tina no estándar. Los resultados de los métodos de ET<sub>o</sub> muestran valores aproximados, obteniendo como promedio de Penman-*Monteith* FAO 56 2.68 mm/día, y de la tina de evaporación 2.49 mm/día. Se concluye que la tina de evaporación no estándar puede ser utilizada para obtener la ET<sub>o</sub> en donde la información climatológica sea insuficiente, brindando resultados confiables.

*Palabras clave:* vapor de agua, cubeta evaporimétrica, medidor de evaporación, datos climatológicos

## Abstract

This experimental quantitative research study related the evaporation of the non-standard evaporation pan with the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), since it is a relevant parameter when calculating water requirements, as well as in water resources planning and management. Therefore, at the weather station of Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Chone Campus, daily climatological data were collected from November through December 2020. It was used the non-standard evaporation pan, which is a 20-liter round container, where a hook was placed in order to measure evaporation and daily observed levels of the free water surface. The indirect methods that were analyzed and compared, as per the performance of some statistical parameters, were the FAO-56 Penman-Monteith method and the evaporation pan. The findings from the relationship between the standard and non-standard evaporation pans reveal that there is optimal performance of the coefficient of determination of 84%, so that it shows a linear regression model that corresponds to the equation  $y = 2.47x$ , to adjust the evaporation value of the non-standard pan. The findings from ET<sub>o</sub> methods show close values, obtaining an average of 2.68 mm / day from the Penman-Monteith FAO 56 method, and an average of 2.49 mm / day from the evaporation pan. It is concluded that the non-standard evaporation pan can be used to estimate ET<sub>o</sub> values, where climatological information is scarce, while providing reliable results.

*Keywords:* water vapor, evaporimeter cuvette, evaporation meter, climatological data

## Tabla de contenido

Certificación del tutor del trabajo de titulación .....	ii
Acta de aprobación del tribunal .....	iii
Declaración de originalidad .....	iv
Declaración de derechos de autor .....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Índice de tablas .....	xii
Índice de figuras.....	xiii
Índice de ecuaciones .....	xiv
Introducción .....	1
Metodología de la investigación .....	4
Área de estudio .....	4
Localización.....	4
Condiciones climáticas .....	4
Materiales y equipos .....	5
Materiales de campo .....	5
Materiales de oficina.....	6
Métodos.....	6

Penman-Monteith FAO 56.....	6
Tina de Evaporación Estándar .....	7
Tina de evaporación no estándar.....	8
Parámetro estadístico de evaluación .....	11
Error cuadrático medio (RMSE).....	11
Índice de concordancia (D).....	12
Coeficiente de correlación (R).....	13
Coeficiente de confiabilidad (C).....	14
Porcentaje de variación (% Variación) .....	14
Análisis estadísticos .....	15
Intervalos de confianza (IC).....	15
Resultados y discusión .....	16
Correspondencia de la evaporación .....	16
Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	18
Conclusiones .....	21
Referencias bibliográficas .....	22
Anexos tablas .....	25
Anexos fotográficos .....	35

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Datos climáticos promedios de los años 2000 – 2013 .....	5
<b>Tabla 2.</b> Criterio de clasificación para interpretar el coeficiente de confianza C .....	14
<b>Tabla 3.</b> Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) de Penman-Monteith FAO 56 y Tina de evzporación .....	18
<b>Tabla 4.</b> Datos climáticos de los meses de noviembre y diciembre de la estación Chone. U – Católica .....	25
<b>Tabla 5.</b> Evaporación no estándar .....	26
<b>Tabla 6.</b> Evaporación estimada con el factor de ajuste (F) .....	28
<b>Tabla 7.</b> Evapotranpiración de referencia (ET <sub>o</sub> ).....	29
<b>Tabla 8.</b> Parámetros estadísticos de evaporación estándar y no estándar .....	31
<b>Tabla 9.</b> Parámetros estadísticos de ET <sub>o</sub> de Penman-Monteith FAO 56 y la Tina de evaporación.....	32
<b>Tabla 10.</b> Parámetros de estadística descriptiva de ET <sub>o</sub> de Penman-Monteith FAO 56 y la Tina de evaporación.....	34

## Índice de figuras

<b>Ilustración 1.</b> Localización de la PUCEM – Chone .....	4
<b>Ilustración 2.</b> Regresión lineal de la correlación de la evaporación estándar y no estándar ..	16
<b>Ilustración 3.</b> Residuos (Diferencia entre la evaporación estándar y EVES predicción) .....	17
<b>Ilustración 4.</b> Limpieza del terreno y colocación de las tinas no estándar .....	35
<b>Ilustración 5.</b> Tina no estándar .....	35
<b>Ilustración 6.</b> Tina de Evaporación no estándar en la estación meteorológica Chone - U. Católica .....	36
<b>Ilustración 7.</b> Lectura de datos de la evaporación en noviembre .....	36
<b>Ilustración 8.</b> Lectura de datos de la evaporación en diciembre .....	37
<b>Ilustración 9.</b> Llenado de los recipientes .....	37
<b>Ilustración 10.</b> Calibración de los recipientes para la obtener el radio.....	38

**Índice de ecuaciones**

<b>Ecuación 1.</b> Penman-Monteith FAO 56.....	7
<b>Ecuación 2.</b> Cubeta evaporimetrica. ....	8
<b>Ecuación 3.</b> Área del recipiente cilíndrico .....	10
<b>Ecuación 4.</b> Altura de agua. ....	10
<b>Ecuación 5.</b> Evaporación de la tina no estándar.....	11
<b>Ecuación 6.</b> Error cuadrático medio (RMSE). ....	12
<b>Ecuación 7.</b> Índice de concordancia (D). ....	12
<b>Ecuación 8.</b> Coeficiente de correlación (R). ....	13
<b>Ecuación 9.</b> Coeficiente de confiabilidad (C). ....	14
<b>Ecuación 10.</b> Porcentaje de variación (% Variación). ....	14

## Introducción

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) es la medida de la demanda evaporativa de la atmósfera independiente del tipo del cultivo, el cual se considera un parámetro climático que se determina a partir de datos meteorológicos. Dicha determinación constituye un elemento importante en el ciclo hidrológico, de tal manera su evaluación o predicción es esencial en el sector agrícola para determinar las necesidades de riego y la gestión de los recursos hídricos en una cuenca (Ortiz y Chile, 2020; Allen et al., 2006).

La estimación de la ET<sub>o</sub> se puede efectuar por métodos directos e indirectos. La elección de un método dependerá de la información de datos meteorológicos y la precisión del sitio, entre los métodos indirectos más comunes están Penman-Monteith FAO 56, Blanney-Criddle y la Cubeta Evaporímetrica; por consiguiente, los métodos directos más utilizados son los Lisímetros, Microlisímetros, Balance de energía de Bowen y Sistemas de flujo turbulento. (Torres y Vásquez, 2013; Navejas et al., 2011).

El método de Penman-Monteith FAO 56 es recomendado por la FAO como el único método estandarizado para estimar la ET<sub>o</sub>, el cual incluye parámetros del intercambio de energía y flujo de calor de la vegetación (Allen et al., 2006), además, requiere de datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Sin embargo, este modelo presenta limitaciones debido a la gran cantidad de datos que requiere, que no siempre son accesibles y la ecuación se vuelve empírica cuando se debe estimar estos parámetros o variables.

Por ello evaluar el desempeño de métodos y fórmulas alternativos para estimar la ET<sub>o</sub> en donde exista limitación de datos meteorológicos sirva como una opción para comprender y obtener este dato en una determinada zona. Dentro de estos métodos se encuentra la Tasa de

Evaporación Clase “A”, la cual requiere de una única medida integrada de los efectos del clima en función del proceso evaporativo que ocurre en una superficie libre de agua (Lujano et al., 2019).

La Tina de Evaporación Clase “A” estándar es un dispositivo que sirve para medir la cantidad de agua evaporada como la diferencia de los niveles observados y se utiliza confiablemente cuando las lecturas de la superficie libre de la lámina de agua se realizan correctamente, sin embargo, se debe tener en cuenta que existen factores que difieren entre la evaporación y la transpiración. Además, se debe determinar el coeficiente del tanque ( $K_p$ ) según el tipo, tamaño y las condiciones ambientales del mismo para corregir los datos de la evaporación calculada (Da Silva et al., 2018).

En el sector agrícolas del Ecuador generalmente no disponen de información de datos de evapotranspiración (Vega y Jara, 2009), lo que trae como consecuencia estimaciones incorrectas de los requerimientos hídricos limitando la gestión, el diseño y la planificación de este recurso y se hace necesaria la correcta evaluación de la ETo.

El cantón Chone, se encuentra en una zona de desarrollo agrícola (MAG, 2019), por lo que determinar las necesidades hídricas en los cultivos es importante y por ello es esencial la ETo, por lo tanto, se requiere de un equipo móvil que se puede elaborar con materiales que estén al alcance del técnico para la obtención de la ETo que generalmente estos dependen de variables climáticas y dificultades intrínsecas de la medición debido a diferentes variables.

El presente trabajo tiene como objetivo relacionar la evaporación de la tina no estándar con la evapotranspiración de referencia (ETo), la cual consistió en tomar el valor diariamente de la evaporación de la tina no estándar y relacionarlo con la tina estándar clase A de la estación

meteorológica de la PUCEM campus Chone. Asimismo, se evaluará el comportamiento de la ETo estimada con la ecuación de Penman Monteith FAO 56 y la Tina de evaporación, con la finalidad de considerar un resultado cercano al de Penman Monteith FAO 56 y así proponer un factor adimensional para obtener un resultado confiable en la zona de muestreo.

## Metodología de la investigación

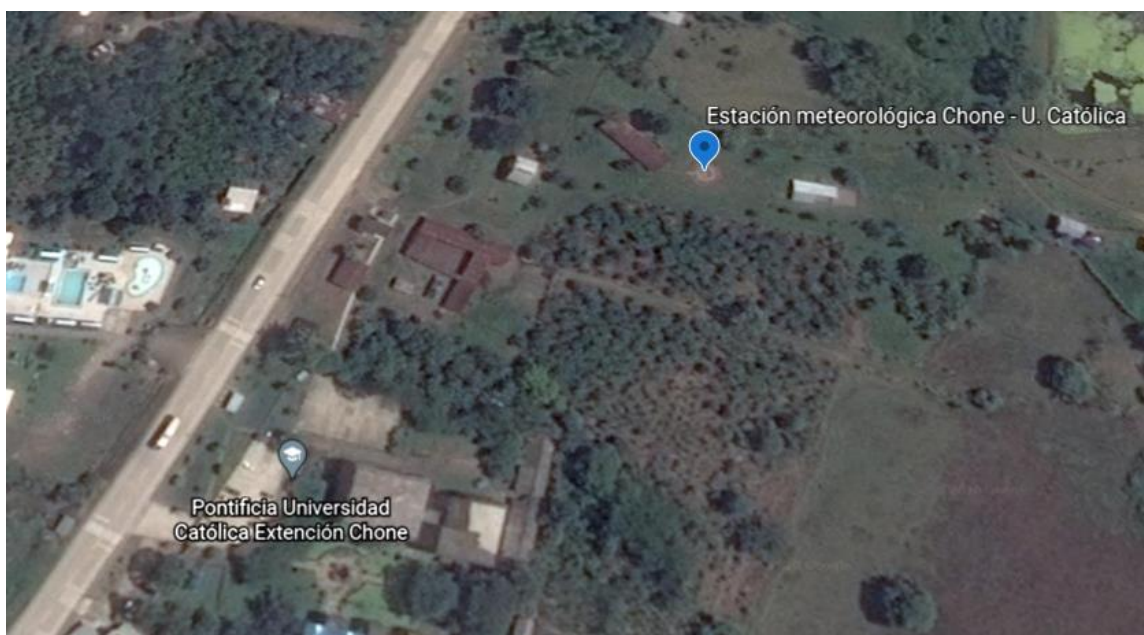
### Área de estudio

#### *Localización*

La presente investigación se realizó en la estación meteorológica Chone - U. Católica localizada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí del cantón Chone, ubicada a una altura de 36 m.s.n.m en las coordenadas  $0^{\circ}39'51''$  de latitud sur y  $80^{\circ}02'11''$  de longitud oeste.

#### *Ilustración 1*

##### *Localización de la PUCEM – Chone*



*Fuente.* (GOOGLE EARTH, 2020).

#### *Condiciones climáticas*

Las condiciones climatológicas de Chone comprenden dos estaciones: verano en los meses de junio a noviembre e invierno en los meses de diciembre a mayo, con temperatura generalmente de  $21^{\circ}\text{C}$  a  $32^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 1***Datos climáticos promedios de los años 2000 – 2013*

MES	EVAPORACION (mm/día)	HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/mes)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
ENERO	3.310	91	191.17	2.19
FEBRERO	3.293	92	304.43	2.3
MARZO	3.706	91	244.93	2.4
ABRIL	3.877	91	148.4	2.12
MAYO	3.135	91	44.15	2.09
JUNIO	2.817	91	12.08	1.87
JULIO	3.171	91	13.12	1.93
AGOSTO	3.770	89	8.3	2.22
SEPTIEMBRE	3.906	89	7.77	2.17
OCTUBRE	3.958	89	7.71	2.24
NOVIEMBRE	4.041	88	11.15	2.74
DICIEMBRE	3.375	89	69.27	2.44

*Fuente.* (INAMHI, 2017).**Materiales y equipos**

Dentro de los materiales utilizados para la ejecución de la investigación tenemos:

***Materiales de campo***

- Probetas de 100ml y 250ml.
- Recipientes de 20lt.
- Alambre.
- Bases de madera.
- Calibrador.

### ***Materiales de oficina***

- Hoja de campo.
- Lapicero.
- Laptops.
- Software Microsoft Office Excel.

### **Métodos**

Existen muchas fórmulas para determinar la ETo, en este trabajo se utilizó el método indirecto de Penman-Monteith FAO 56 y la Tina de Evaporación, con el fin de compararlos y determinar un factor adimensional para obtener resultados cercanos.

la Tina de Evaporación estándar es un método simple que depende principalmente de la evaporación, debido a su simplicidad y la poca necesidad de datos que requiere se obtuvo también valores de evaporación con el modelo de la Tina no estándar. Por ende, el método de Penman – Monteith FAO 56 se considera actualmente como el modelo estándar para determinar la Eto por lo que se utilizó para determinar el factor adimensional.

A continuación, se explica detalladamente los métodos utilizados:

#### ***Penman-Monteith FAO 56***

Este método se establece por ser el más preciso y estándar para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo). Según Ortiz et al. (2018) se determina la ETo en base a la resistencia aerodinámica, la resistencia superficial del cultivo y albedo. Se calcula con la ecuación de (Allen et al, 2006):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)\Delta}$$

*Ecuación 1. Penman-Monteith FAO 56.*

Donde:

**ET<sub>0</sub>** = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

**R<sub>a</sub>** = Radiación solar neta (MJ/ m<sup>2</sup>\*día).

**G** = Flujo de calor para el suelo (MJ/ m<sup>2</sup>\*día).

**T** = Promedio diario de la temperatura del aire medido a 2m de altura (°C).

**u<sub>2</sub>** = Velocidad del viento medido a 2m de altura (m/s).

**e<sub>s</sub>** = Presión de vapor del aire saturado con agua (kPa).

**e<sub>a</sub>** = Presión de vapor actual (kPa).

**e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>** = Es el déficit de saturación de vapor de agua.

**Δ** = Inclinación de la curva de presión de vapor en función de la temperatura del aire (kPa/°C).

**γ** = Constante psicométrica (kPa/°C).

### ***Tina de Evaporación Estándar***

Las tinas o cubetas de evaporación son utilizado con éxito y está relacionado con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico determinado por el tanque, la fórmula es recopilada de (Allen et al, 2006):

$$ET_o = K_p * E_p$$

**Ecuación 2.** Cubeta evaporimétrica.

Donde:

**ET<sub>o</sub>**= Evapotranspiración potencial de referencia (mm/día).

**K<sub>p</sub>**= Coeficiente de la cubeta (depende del tipo de cubeta y clima en el que se encuentra).

**E<sub>p</sub>**= Evaporación de la cubeta (mm/día).

La evaporación se determinó diariamente con la tina Clase A y el coeficiente del tanque (K<sub>p</sub>) se lo obtendrá mediante el cuadro determinado por (Allen et al, 2006) para cubetas clase A en diversas localidades y ambientes de los tanques.

#### ***Tina de evaporación no estándar.***

Los tanques y cubetas de evaporación existen en una gran variedad de formas, dimensiones y modos de exposición. La tina de evaporación no estándar consiste en un recipiente circular de plástico que contiene agua, similar al de Clase A pero con diferentes dimensiones y materiales.

Para utilizar esta tina se debe monitorear el nivel de agua cada 24 horas para determinar la evaporación como la diferencia de los niveles observados en la superficie libre de agua, teniendo en cuenta las precipitaciones que se registren durante el estudio. La evaporación determinada proporcionará un índice de los efectos integrados de la radiación solar, la temperatura del aire, humedad del aire y la velocidad del viento en la evapotranspiración.

**Variables que influyen en la evaporación.** El proceso de evaporación es el paso del estado líquido a vapor el cual ocurre en la superficie del líquido a cualquier temperatura y la cantidad de evaporación depende de algunos factores tales como: la temperatura del líquido y sus

alrededores, la distancia del líquido respecto a la boca del recipiente, las corrientes de aire, turbulencia alrededor del tanque, la presión de vapor y la localización (Manzur y Cardoso, 2015; Ortiz y Chile, 2020). Así mismo, elementos como el tamaño, el diámetro y los materiales con los que se encuentra construido el tanque de evaporación y las condiciones ambientales del mismo afectan el proceso evaporativo.

**Procedimiento y operación.** Para instalar las tinas de evaporación no estándar se comenzó por efectuar la limpieza de la zona estudio y con el objetivo de obtener datos confiables se colocaron 4 recipientes cilíndricos de plástico en las 4 esquinas del Tanque de Evaporación estándar Clase A de la estación meteorológica.

Los recipientes son de color blanco de 20 lt, su diámetro es de 28.4 cm y su espesor de 0.5mm, el agua se llenó 5cm por debajo del borde y según De Pablo y De Pablo (2013) no se debe llenar la tina por debajo de 7.5 cm. Es importante señalar que se colocó una base de madera para elevar el tanque a 10 cm del terreno, impidiendo la transferencia de calor del suelo para lograr una mejor ventilación del recipiente y obtener lecturas más precisas.

Para obtener la lectura manual de la evaporación de la superficie libre de la lámina de agua de la tina no estándar se ubicó un gancho de alambre fijado al recipiente, el cual sirvió como indicador para llenar el recipiente de agua hasta la punta del mismo todos los días para empezar con un nivel de agua fijo. Por otra parte, se debe tener en cuenta que el recipiente se instaló dentro del cerco de la estación meteorológica para no presentar variaciones en los datos.

Dentro del mantenimiento de las tinas no estándar se debe cambiar el agua y limpiar las paredes del recipiente cada semana para evitar la acumulación algas y turbidez del agua, teniendo en cuenta que se debe realizar al momento que se toma la lectura de la evaporación para no afectar los datos.

La FAO recomienda realizar las lecturas de la evaporación en la mañana, por eso los datos de la investigación son tomados diariamente a las 9:00 am durante un periodo de 45 días entre los meses de noviembre y diciembre del año 2020, este cálculo constituye un método practico y económico.

Una vez determinada la evaporación a través de la tina no estándar expresada en mm/día, se calibro el resultado para calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mediante el método de la cubeta evaporímetro.

**Formula de la evaporación de la tina no estándar.** Las fórmulas que se utilizó para determinar la cantidad de agua evaporada en tina no estándar son:

**Área del recipiente cilíndrico.**

$$A = \pi * R^2$$

*Ecuación 3. Área del recipiente cilíndrico*

Donde:

**A**= Área del recipiente cilíndrico (cm<sup>2</sup>).

**R**= Radio del recipiente cilíndrico (cm).

**Altura de agua.**

$$\text{Altura de agua} = \frac{V_{\text{agua}}}{A}$$

*Ecuación 4. Altura de agua.*

Donde:

**h<sub>agua</sub>**= Altura de agua (cm).

**A**= Área del recipiente cilíndrico (cm<sup>2</sup>).

**Vagua**= Volumen de agua (cm<sup>3</sup>).

### **Evaporación de la tina no estándar.**

$$E_p = h_{agua} * 10$$

*Ecuación 5. Evaporación de la tina no estándar.*

Donde:

**E<sub>p</sub>**= Evaporación (mm/día).

**h<sub>agua</sub>**= Altura de agua (cm).

### **Parámetro estadístico de evaluación**

El estudio se basó en evaluar la comparación de los resultados obtenidos del método de la Tina de evaporación clase A y la Tina no estándar, respecto a los obtenidos con la ecuación de Penman-Monteith FAO 56 para proponer un factor adimensional y así conseguir resultados confiables.

Para comparar y relacionar estos métodos existen modelos estadísticos como el coeficiente de correlación (R), el índice de concordancia (D), el error cuadrático medio (RMSE), error medio (MBA) y la desviación media (B) (Lavado et al., 2015).

El método de Penman-Monteith FAO 56 se tomó como base para el análisis de distintos métodos a evaluar, los cuales son:

#### ***Error cuadrático medio (RMSE)***

Se utiliza para medir la diferencia entre una variable medida con relación a valores observados. Se debe tener en cuenta que valores altos de este método indican menor precisión en

el modelo y en cuanto a valore cercano a cero se tiene menor error, sin embargo, su valor optimo es igual a cero (Torres y Vásquez, 2013; Lavado et al., 2015).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (ETPMi - ETOEi)^2}{N}}$$

**Ecuación 6.** Error cuadrático medio (RMSE).

Donde:

**RMSE**= Error cuadrático medio (mm/día).

**ETPMi**= Evapotranspiración de referencia estimada con Penman-Monteith FAO 56 (mm/día).

**ETOEi**= Evapotranspiración de referencia estimada con la tina de evaporación estándar y no estándar (mm/día).

**N**= Número de observaciones.

### **Índice de concordancia (D)**

Este índice determina la exactitud de los resultados dado por el modelo para pronosticar un valor observado, y su valor varía entre cero siendo un modelo deficiente y uno siendo un modelo exacto (Ortiz y Chile, 2020; Lujano et al., 2019).

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ETPMi - ETOEi)^2}{\sum_{i=1}^n ((ETPMi - X) + (ETOEi - X))^2}$$

**Ecuación 7.** Índice de concordancia (D).

Donde:

**D**= Índice de concordancia.

**ETPMi**= Evapotranspiración de referencia estimada con Penman-Monteith FAO 56 (mm/día).

**ETOEi**= Evapotranspiración de referencia estimada con la tina de evaporación estándar y no estándar (mm/día).

**X**= Promedio de los valores observados (ETOEi).

### ***Coefficiente de correlación (R)***

Este coeficiente es un índice utilizado para evaluar la relación de dos variables cuantitativas, si su valor tiende a uno el resultado será óptimo (Ortiz y Chile, 2020).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (ETOEi - X)(ETPMi - XMi)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (ETOEi - X)^2][\sum_{i=1}^N (ETPMi - XMi)^2]}}$$

**Ecuación 8.** *Coefficiente de correlación (R).*

Donde:

**R**= Coeficiente de correlación.

**ETPMi**= Evapotranspiración de referencia estimada con Penman-Monteith FAO 56 (mm/día).

**ETOEi**= Evapotranspiración de referencia estimada con la tina de evaporación estándar y no estándar (mm/día).

**X**= Promedio de los valores observados (ETOEi).

**XMi**= Promedio de los valores estimados.

### ***Coefficiente de confiabilidad (C)***

Este coeficiente estima la precisión de los resultados y se utiliza para clasificar la relación de los métodos. (Da Silva et al., 2018).

$$C = R * D$$

***Ecuación 9. Coeficiente de confiabilidad (C).***

Donde:

**C**= Coeficiente de confiabilidad.

**R**= Coeficiente de correlación.

**D**= Índice de concordancia.

***Tabla 2. Criterio de clasificación para interpretar el coeficiente de confianza C***

<b>COEFICIENTE C</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
> 0.85	Excelente
0.76 a 0.85	Muy bueno
0.66 a 0.75	Bueno
0.61 a 0.65	Intermedio
0.51 a 0.60	Tolerable
0.41 a 0.5	Malo
< 0.40	Muy malo

***Fuente.*** (Da Silva et al, 2018).

### ***Porcentaje de variación (% Variación)***

Según Torres y Vásquez (2013) este porcentaje indica la subestimación y sobreestimación con relación al método de Penman-Monteith FAO 56.

$$\% \text{ Variación} = \left( \frac{E_{toEm} * 100}{E_{toPm}} \right) - 100$$

***Ecuación 10. Porcentaje de variación (% Variación).***

Donde:

**% Variación**= Porcentaje de variación (%)

**EtoEm**= Evapotranspiración de referencia estimada con la tina de evaporación estándar y no estándar (mm/día).

**EtoPm**= Evapotranspiración de referencia estimada con Penman-Monteith FAO 56 (mm/día).

### **Análisis estadísticos**

#### ***Intervalos de confianza (IC)***

En el presente estudio tiene como objetivo contar con evidencias de fiabilidad. El intervalo de confianza (IC) es un rango de valores bajo cierto nivel verosímil que se calcula a partir de datos obtenidos en un estudio y la medida observada, describiendo la variabilidad entre ambos datos definiéndose a partir de los parámetros a estimar y sus condiciones (Candia y Caiozzi, 2005; Olivo, 2008). Además, estos intervalos reflejarían el margen de error de los resultados obtenidos.

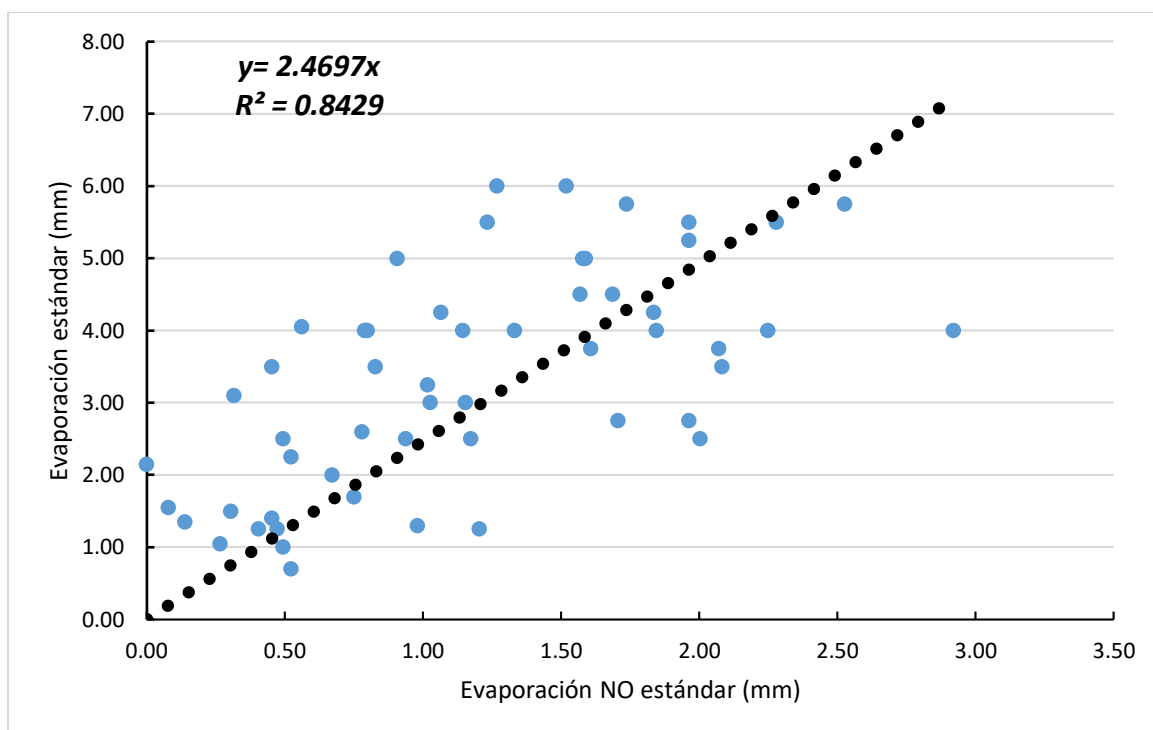
Los intervalos de confianza (IC) suele valorarse usualmente entre 90%, 95% y 99%. Ante ellos, se considerará el IC del 90% como rango para determinar la probabilidad del nivel de confianza del estudio a ejecutar.

## Resultados y discusión

### Correspondencia de la evaporación

#### *Ilustración 2*

*Regresión lineal de la correlación de la evaporación estándar y no estándar*

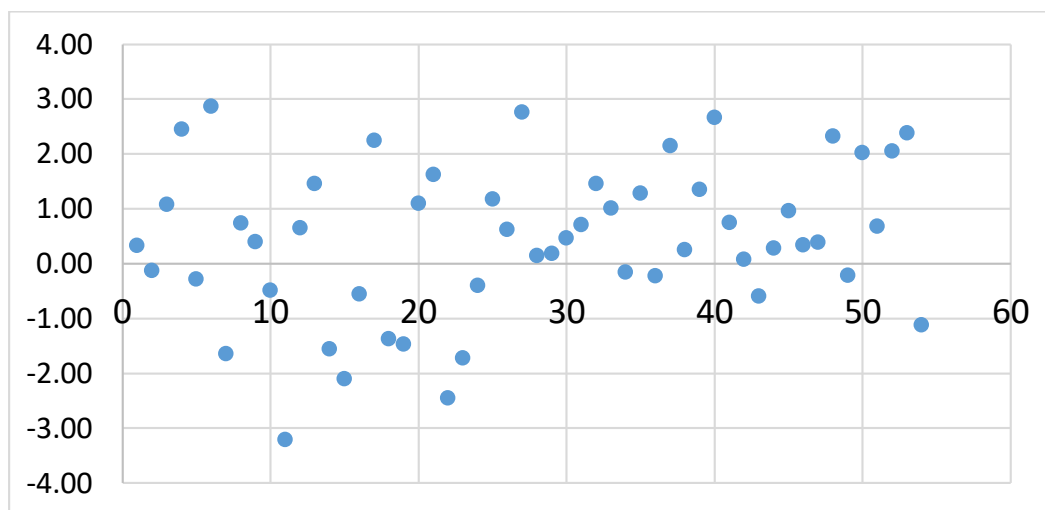


En la presente ilustración N°2 se observa la relación que existe entre la evaporación de la tina estándar (EVES) con la evaporación de la tina no estándar (ENE), en el que se consideró para la estimación del modelo 54 valores diarios provenientes del muestro que se realizó durante los meses de noviembre y diciembre. Teniendo como resultado un modelo de regresión lineal, en el cual se determinó la correspondencia o el factor que ajusta el valor de la evaporación de la tina no estándar en la tina estándar. En consecuencia, la evaporación estándar puede ser estimada usando la ecuación de  $y = 2.47x$ ; donde (y) es EVES; 2.47 es el factor de ajuste del modelo (F), por ultimo (x) es ENE.

Es importante destacar que existe un coeficiente de determinación de  $R^2=0.84$ , el cual indica que el modelo se ajusta a los datos un 84% siendo un resultado bueno. Los datos que se muestra en la ilustración N°3 detalla los valores que presentaron los residuos, esto no es más que la distancia entre el punto y la línea cero del plano en la que se muestra la diferencia entre la evaporación estándar observada con la evaporación predicha; por lo cual, se observa que existen valores bajos de -0.13, -0.15, 0.22, 0.25 y valores alto como 2.45, 2.66, 2.76 y 2.87. Además, se puede evidencia que los diferentes valores del modelo son buenos ya que presentan características ideales.

### ***Ilustración 3***

*Residuos (Diferencia entre la evaporación estándar y EVES predicción)*



Según Allen et al. (2006) y Navejas et al. (2011), indican que los procesos e instrumentos ligados a la evaporación libre de la cubeta son utilizados con éxito para predecir la ETo en periodos de 10 días o más, la cual se constituye a la evaporación como una variable climática que puede ser medida siempre y cuando se utilice un adecuado coeficiente o factor de ajuste para considerar valores confiables y su valor practico a sido comprobado.

Además, se realizó un análisis estadístico para evaluar el desempeño comparativo de los modelos de evaporación; donde se utilizaron las pruebas estadísticas en la cual se obtuvo como resultados del error cuadrático medio (RMSE) valores de 0.01 y 0.39 respectivamente, así mismo, los valores obtenidos del índice de concordancia (D) dieron de 0.11 a 1, el coeficiente de correlación (R) valores de 1 y -1, mientras que los valores del coeficiente de confiabilidad (C) varían en su mayoría de 0.7 a 0.9 clasificando el desempeño del modelo como bueno y excelente, en cuanto al porcentaje de variación (% variación) los valores son aceptables.

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

Mediante la recopilación de información climatológica se pudo determinar la ET<sub>o</sub> por los métodos indirectos de la Tina de evaporación y Penman-Monteith FAO 56, considerando los datos de humedad relativa, temperatura del aire máxima y mínima, insolación, la velocidad del viento y evaporación de la cubeta. En la tabla N°3 se observa los datos de ET<sub>o</sub> determinado por los métodos ya mencionados donde se muestran valores de ET<sub>o</sub> Penman-Monteith FAO 56 de 3mm/día y ET<sub>o</sub> de la Tina 3mm/día, en otro muestreo se obtuvo que el ET<sub>o</sub> Penman-Monteith FAO 56 de 3.50 y ET<sub>o</sub> de la Tina 4.50 mm/día y así mismo en otra observación se encontró el ET<sub>o</sub> Penman-Monteith FAO 56 de 2.80mm/día y ET<sub>o</sub> de la Tina 0.75mm/día, destacando que se encontró resultados que en su mayoría son aproximados para ambos casos.

**Tabla 3**

*Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) de Penman-Monteith FAO 56 y Tina de evaporación*

FECHA	ET <sub>o</sub> PENMAN (mm/día)	ET <sub>o</sub> TINA (mm/día)
1-Nov-20	3.80	3.38
2-Nov-20	3.00	4.13
3-Nov-20	3.70	3.75
4-Nov-20	3.40	4.13
5-Nov-20	3.40	3.19
6-Nov-20	3.50	4.50

FECHA	ET <sub>o</sub> PENMAN (mm/día)	ET <sub>o</sub> TINA (mm/día)
1-Dec-20	3.00	3.00
2-Dec-20	2.30	2.63
3-Dec-20	2.10	1.01
4-Dec-20	2.20	1.28
5-Dec-20	2.00	1.88
6-Dec-20	3.20	2.81

7-Nov-20	3.10	2.63
8-Nov-20	2.20	2.44
9-Nov-20	3.50	3.41
10-Nov-20	2.90	4.31
11-Nov-20	2.80	3.00
12-Nov-20	3.20	4.13
13-Nov-20	4.30	4.31
14-Nov-20	3.60	3.00
15-Nov-20	2.40	2.06
16-Nov-20	3.10	3.00
17-Nov-20	3.30	4.50
18-Nov-20	2.50	2.81
19-Nov-20	2.10	2.06
20-Nov-20	3.70	3.75
21-Nov-20	2.20	3.19
22-Nov-20	2.10	1.88
23-Nov-20	2.20	0.94
24-Nov-20	2.60	1.88
25-Nov-20	3.10	3.00
26-Nov-20	2.70	3.38
27-Nov-20	2.70	3.75
28-Nov-20	2.90	2.25
29-Nov-20	2.10	1.88
30-Nov-20	2.20	2.25

7-Dec-20	2.60	1.61
8-Dec-20	2.00	0.94
9-Dec-20	2.10	1.16
10-Dec-20	2.40	3.04
11-Dec-20	1.90	1.13
12-Dec-20	1.90	0.94
13-Dec-20	2.50	0.53
14-Dec-20	1.90	1.05
15-Dec-20	2.10	1.69
16-Dec-20	2.10	1.50
17-Dec-20	2.70	0.79
18-Dec-20	1.90	2.33
19-Dec-20	2.80	0.75
20-Dec-20	2.00	3.00
21-Dec-20	2.70	1.95
22-Dec-20	2.70	3.00
23-Dec-20	2.30	2.63
24-Dec-20	2.80	0.98

Según Ortiz y Chile (2020) los métodos para calcular ETo muestran diferencia en procesos matemáticos, en cuanto al métodos de Penman – Monteith FAO 56 a diferencia de otros métodos como el de cubeta evaporimétrica, es un modelo aerodinámico completo ya que integra todas las variables para calcular el ETo.

Sin embargo, en el estudio que realizó Silva y Mendoza (2020) expresa que el modelo recomendado para obtener la ETo es el Penman Monthith FAO 56, no obstante, dispone de variables limitantes para su estimación por lo que recurre a predicciones de los resultados.

Para evaluar la precisión y comportamiento de los métodos empíricos de ETo, se basó en pruebas estadística que se detalló en la sección anterior en la que se tomó como modelo estándar el método de Penman-Monteith FAO 56, donde dio como resultados que los valores del error cuadrático medio (RMSE) varían de 0.01 a 0.28, el índice de concordancia (D) dieron de 0.12 a

1, el coeficiente de correlación (R) de 1 y -1, los valores de C en su mayoría son superiores a 0.9 lo que presenta una excelente medida del rendimiento del modelo y una alta correlación, finalmente el porcentaje de variación (% variación) dieron resultado aceptables.

En el estudio realizado por Ortiz et al. (2018) indica que el método estándar de Penman – Monteith FAO 56 presento índices bajo de los modelos estadísticos por lo que se obtuvieron valores de ETo similares a los de la cubeta evaporimétrica. Es importante mencionar que estos índices bajo se dieron en cuanto a información climatológica diaria para obtener el ETo.

Cabe mencionar que se realizó estadística descriptiva para obtener un mejor análisis en cuanto a la correlación de los métodos, donde arrojaron valores de media, mediana, moda, desviación estándar, curtosis y error típico. Estos resultados indicaron un comportamiento normal de ETo. También se realizó el respectivo análisis estadístico de ETo con el método de Tina de evaporación obtenido con el valor de ajuste de la evaporación no estándar (EVES predicción) donde presenta valores buenos, esto constituye un aspecto importante en cuanto a utilizar una herramienta alternativa para la obtención del ETo.

## Conclusiones

La determinación del factor de ajuste entre el valor observado de la tina estándar y el valor predictivo de la no estándar presento un modelo de regresión línea indicando un  $R^2$  alto en donde asegura la confiabilidad de los datos.

Los métodos indirectos de Penman-Monteith FAO 56 y la Tina de evaporación utilizados en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) presentan valores bastantes cercanos y similares, por lo que es importante señalar que cualquiera de los métodos brinda resultados confiables en la zona de estudio.

Los resultados muestran que los métodos utilizados brindan resultados confiables y pueden ser utilizados como una alternativa para obtener la ET<sub>o</sub> en donde sea escasa la falta de información meteorológica.

### Referencias bibliográficas

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Candia, R., y Caiozzi, G. (2005). Intervalos de confianza. *Scielo*. Obtenido de Scielo.
- Da Silva, G., Dias, S., Ferreira, L., Santos, J., y Da Cunha, F. (2018). *Performance of different methods for reference evapotranspiration estimation in Jaíba, Brasil*. Obtenido de Scielo: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662018000200083](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662018000200083)
- De Pablo, M., y De Pablo, C. (2013). Mini-tanque de evaporación Clase A y pluviómetro de balancín: sensores para el dispositivo ArduDrop. *Revista Tecnol@ y desarrollo*, 4-11.
- GOOGLE EARTH. (2020). *Ubicación geográfica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí - Campus Chone*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-0.63114804,-80.03711566,31.74754967a,477.80398575d,35y,0h,0t,0r>
- INAMHI. (2017). *Datos climatológicos proedio del año 2000 al 2013*. Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- Lavado, W., Lhomme, J., Labat, D., Loup, J., y Boulet, G. (2015). *Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO-56 Penman-Monteith) con limitados datos climáticos en la cuenca andina amazónica Peruna*. Obtenido de Revista Peruna Geo-Atmosférica: [https://web2.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2015\\_vol04/paper3.pdf](https://web2.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2015_vol04/paper3.pdf)

- Lujano, A., Quispe, J., y Lujano, E. (2019). *Métodos alternativos de estimación de evapotranspiración de referencia en la estación de Yauri-Cusco, Perú*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v21n3/a07v21n3.pdf>
- MAG. (2019). *Productores rurales de Chone reciben títulos de tierra*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG): <https://www.agricultura.gob.ec/productores-rurales-de-chone-reciben-titulos-de-tierra/>
- Manzur, A., y Cardoso, J. (2015). *Velocidad de evaporación del agua*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v61n1/v61n1a7.pdf>
- Navejas, J., Nieto, A., Fraga, H., Rueda, E., y Ávila, N. (2011). *Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración en una zona árida citrícola del Noroeste de México*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93917767005.pdf>
- Olivo, E. (2008). *Significado de los intervalos de confianza para los estudiantes de ingeniería en México*. Obtenido de Universidad de Granada: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/2063/17675947.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ortiz, R., y Chile, M. (2020). *Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco*. Obtenido de Siembra: <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1450/2200>
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., y Méndez, A. (2018). *Coficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco*. Obtenido de Siembra: <http://oaji.net/articles/2020/8728-1595370573.pdf>

- Silva, M., y Mendoza, N. (2020). *Evaluación comparativa y predicción espacial de la evapotranspiración de referencia mediante métodos Geoestadísticos*. Obtenido de Bioagro: <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2694/1680>
- Torres, A., y Vásquez, R. (2013). *Prospección de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo las condiciones del valle de Chaca, Arica-Chile*. Obtenido de Scielo: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v31n2/art04.pdf>
- Vega , E., y Jara, J. (2009). *Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa y Región Andina) del Ecuador*. Obtenido de Scielo: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n3/a06v29n3.pdf>

## Anexos tablas

Tabla 4

Datos climáticos de los meses de noviembre y diciembre de la estación Chone. U – Católica

FECHA	Humedad Relativa Media (%)	Temperatura del Aire (°C) MÁX	Temperatura del Aire (°C) MÍN	Viento Velocidad (m/s) INST	HORAS SOL	EVAPORACIÓN
1-Nov-20	74.15	26.95	25.53	1.28	5.50	4.5
2-Nov-20	73.85	26.29	25.59	0.96	2.31	5.5
3-Nov-20	74.81	26.19	24.49	0.98	5.57	5
4-Nov-20	75.92	25.43	24.05	0.88	4.05	5.5
5-Nov-20	73.21	25.73	23.30	0.90	4.26	4.25
6-Nov-20	73.52	26.22	24.42	0.94	4.42	6
7-Nov-20	75.65	25.66	24.67	0.63	2.47	3.5
8-Nov-20	74.92	24.09	23.12	0.42	0.42	3.25
9-Nov-20	64.52	20.90	20.22	0.39	5.29	5.25
10-Nov-20	75.35	25.58	23.73	1.01	3.40	5.75
11-Nov-20	73.00	32.80	16.00	1.00	2.48	4
12-Nov-20	74.00	32.20	17.20	1.00	4.12	5.5
13-Nov-20	71.00	32.60	14.40	1.00	8.00	5.75
14-Nov-20	73.00	31.80	16.40	1.00	5.27	4
15-Nov-20	72.00	31.60	17.40	1.00	1.22	2.75
16-Nov-20	75.00	32.00	16.20	1.00	3.12	4
17-Nov-20	76.00	32.00	16.40	1.00	4.27	6
18-Nov-20	76.00	30.40	19.60	1.00	1.08	3.75
19-Nov-20	84.00	28.40	19.80	1.00	0.00	2.75
20-Nov-20	77.00	31.40	18.00	1.00	5.33	5
21-Nov-20	78.00	30.20	19.00	1.00	0.24	4.25
22-Nov-20	81.00	27.40	19.00	1.00	0.00	2.5
23-Nov-20	83.00	27.20	19.40	1.00	0.00	1.25
24-Nov-20	76.63	25.35	24.41	1.10	1.29	2.5
25-Nov-20	72.88	25.98	24.83	1.10	3.15	4
26-Nov-20	72.50	25.80	24.63	1.07	1.35	4.5
27-Nov-20	74.46	25.50	24.51	1.02	0.33	5
28-Nov-20	73.98	26.03	24.93	1.15	2.46	3
29-Nov-20	79.67	24.63	24.05	0.80	2.10	2.5
30-Nov-20	78.90	25.20	24.34	0.85	0.00	3
1-Dec-20	73.31	26.46	25.29	0.85	0.00	4.00

2-Dec-20	77.88	25.17	24.43	0.77	2.46	3.50
3-Dec-20	79.52	24.55	23.94	0.58	0.10	1.35
4-Dec-20	81.27	25.28	24.37	0.88	0.00	1.70
5-Dec-20	83.69	24.52	24.01	0.54	0.00	2.50
6-Dec-20	78.40	26.23	24.98	1.01	0.00	3.75
7-Dec-20	82.73	25.31	24.45	0.97	3.15	2.15
8-Dec-20	88.27	24.74	23.92	0.73	2.00	1.25
9-Dec-20	87.63	24.95	24.25	0.88	0.00	1.55
10-Dec-20	82.65	25.87	24.84	0.95	0.00	4.05
11-Dec-20	93.08	24.37	23.87	0.34	1.43	1.50
12-Dec-20	84.00	24.10	23.10	0.10	0.00	1.25
13-Dec-20	86.44	25.47	24.83	0.62	0.07	0.70
14-Dec-20	88.33	24.25	23.53	0.83	1.36	1.40
15-Dec-20	83.75	24.59	23.79	0.75	0.00	2.25
16-Dec-20	83.19	25.42	24.48	0.75	0.11	2.00
17-Dec-20	88.23	24.12	23.42	0.66	2.38	1.05
18-Dec-20	83.94	25.50	24.48	0.86	0.00	3.10
19-Dec-20	88.85	23.97	23.26	0.69	3.03	1.00
20-Dec-20	77.31	22.43	21.46	0.83	0.31	4.00
21-Dec-20	82.92	25.27	24.20	0.90	3.33	2.60
22-Dec-20	81.54	25.64	24.72	0.85	2.09	4.00
23-Dec-20	81.00	26.22	25.17	0.74	1.14	3.50
24-Dec-20	85.90	24.88	24.00	0.87	2.35	1.30

**Tabla 5***Evaporación no estándar*

<b>FECHA</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>PROMEDIO</b>
1-Nov-20	1.97	1.62	1.50	1.66	1.69
2-Nov-20	2.57	2.37	1.70	2.49	2.28
3-Nov-20	1.46	1.38	1.78	1.74	1.59
4-Nov-20	1.22	1.26	1.22	1.22	1.23
5-Nov-20	1.85	1.85	2.05	1.58	1.84
6-Nov-20	1.18	1.34	1.28	1.26	1.27
7-Nov-20	2.17	2.13	1.93	2.09	2.08
8-Nov-20	0.99	1.11	0.95	1.03	1.02
9-Nov-20	2.33	1.97	1.58	1.97	1.96

10-Nov-20	2.25	2.37	3.16	2.33	2.53
11-Nov-20	2.29	2.37	4.74	2.29	2.92
12-Nov-20	2.17	2.13	1.78	1.78	1.96
13-Nov-20	1.82	1.78	1.58	1.78	1.74
14-Nov-20	2.17	2.13	1.93	2.76	2.25
15-Nov-20	1.85	1.97	2.05	1.97	1.96
16-Nov-20	1.89	2.05	1.97	1.46	1.84
17-Nov-20	1.46	1.58	1.50	1.54	1.52
18-Nov-20	2.37	2.05	1.89	1.97	2.07
19-Nov-20	1.97	0.99	1.89	1.97	1.71
20-Nov-20	1.58	1.70	1.46	1.58	1.58
21-Nov-20	1.18	1.14	0.91	1.03	1.07
22-Nov-20	1.97	2.09	1.93	2.01	2.00
23-Nov-20	1.18	1.22	1.14	1.26	1.20
24-Nov-20	1.18	1.22	1.07	1.22	1.17
25-Nov-20	1.07	1.18	1.14	1.18	1.14
26-Nov-20	1.62	1.78	1.34	1.54	1.57
27-Nov-20	0.79	0.87	0.95	1.03	0.91
28-Nov-20	1.18	1.22	1.03	1.18	1.15
29-Nov-20	0.99	1.03	0.79	0.95	0.94
30-Nov-20	1.03	1.18	0.99	0.91	1.03
1-Dec-20	1.58	1.26	1.22	1.26	1.33
2-Dec-20	0.79	0.83	0.95	0.75	0.83
3-Dec-20	0.24	0.08	0.16	0.08	0.14
4-Dec-20	0.91	0.67	0.71	0.71	0.75
5-Dec-20	0.63	0.39	0.43	0.51	0.49
6-Dec-20	1.84	1.72	1.28	1.60	1.61
7-Dec-20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Dec-20	0.32	0.43	0.47	0.39	0.40
9-Dec-20	0.04	0.16	0.08	0.04	0.08
10-Dec-20	0.32	0.75	0.55	0.63	0.56
11-Dec-20	0.47	0.24	0.24	0.28	0.31
12-Dec-20	0.53	0.41	0.57	0.37	0.47
13-Dec-20	0.59	0.43	0.59	0.47	0.52
14-Dec-20	0.36	0.43	0.47	0.55	0.45
15-Dec-20	0.47	0.59	0.51	0.51	0.52
16-Dec-20	0.67	0.71	0.67	0.63	0.67
17-Dec-20	0.24	0.28	0.20	0.36	0.27
18-Dec-20	0.24	0.36	0.20	0.47	0.32

19-Dec-20	0.51	0.39	0.47	0.59	0.49
20-Dec-20	0.67	0.87	0.87	0.79	0.80
21-Dec-20	0.71	0.79	0.83	0.79	0.78
22-Dec-20	0.79	0.75	0.83	0.79	0.79
23-Dec-20	0.36	0.47	0.55	0.43	0.45
24-Dec-20	1.03	0.99	0.91	0.99	0.98

**Tabla 6**

*Evaporación estimada con el factor de ajuste (F)*

<b>EVAPORACIÓN NO ESTÁNDAR</b>	<b>EVAPORACIÓN ESTÁNDAR (OBSERVADO)</b>	<b>EVES PREDICCIÓN</b>	<b>RESIDUO</b>
1.69	4.50	4.17	0.33
2.28	5.50	5.63	-0.13
1.59	5.00	3.92	1.08
1.23	5.50	3.05	2.45
1.84	4.25	4.53	-0.28
1.27	6.00	3.13	2.87
2.08	3.50	5.14	-1.64
1.02	3.25	2.51	0.74
1.96	5.25	4.85	0.40
2.53	5.75	6.24	-0.49
2.92	4.00	7.21	-3.21
1.96	5.50	4.85	0.65
1.74	5.75	4.29	1.46
2.25	4.00	5.56	-1.56
1.96	2.75	4.85	-2.10
1.84	4.00	4.56	-0.56
1.52	6.00	3.75	2.25
2.07	3.75	5.12	-1.37
1.71	2.75	4.22	-1.47
1.58	5.00	3.90	1.10
1.07	4.25	2.63	1.62
2.00	2.50	4.95	-2.45
1.20	1.25	2.97	-1.72
1.17	2.50	2.90	-0.40
1.14	4.00	2.83	1.17
1.57	4.50	3.87	0.63
0.91	5.00	2.24	2.76

1.15	3.00	2.85	0.15
0.94	2.50	2.32	0.18
1.03	3.00	2.53	0.47
1.33	4.00	3.29	0.71
0.83	3.50	2.05	1.45
0.14	1.35	0.34	1.01
0.75	1.70	1.85	-0.15
0.49	2.50	1.22	1.28
1.61	3.75	3.97	-0.22
0.00	2.15	0.00	2.15
0.40	1.25	1.00	0.25
0.08	1.55	0.19	1.36
0.56	4.05	1.39	2.66
0.31	1.50	0.76	0.74
0.47	1.25	1.17	0.08
0.52	0.70	1.29	-0.59
0.45	1.40	1.12	0.28
0.52	2.25	1.29	0.96
0.67	2.00	1.66	0.34
0.27	1.05	0.66	0.39
0.32	3.10	0.78	2.32
0.49	1.00	1.22	-0.22
0.80	4.00	1.97	2.03
0.78	2.60	1.93	0.67
0.79	4.00	1.95	2.05
0.45	3.50	1.12	2.38
0.98	1.30	2.42	-1.12

**Tabla 7***Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)*

<b>FECHA</b>	<b>ETO CUBETA NO ESTÁNDAR (mm/día)</b>	<b>ETO CUBETA (mm/día)</b>	<b>ETO PENMAN (mm/día)</b>
1-Nov-20	3.13	3.38	3.80
2-Nov-20	4.22	4.13	3.00
3-Nov-20	2.94	3.75	3.70
4-Nov-20	2.28	4.13	3.40
5-Nov-20	3.40	3.19	3.40
6-Nov-20	2.35	4.50	3.50
7-Nov-20	3.86	2.63	3.10
8-Nov-20	1.88	2.44	2.20

9-Nov-20	3.15	3.41	3.50
10-Nov-20	4.68	4.31	2.90
11-Nov-20	5.41	3.00	2.80
12-Nov-20	3.64	4.13	3.20
13-Nov-20	3.22	4.31	4.30
14-Nov-20	4.17	3.00	3.60
15-Nov-20	3.64	2.06	2.40
16-Nov-20	3.42	3.00	3.10
17-Nov-20	2.81	4.50	3.30
18-Nov-20	3.84	2.81	2.50
19-Nov-20	3.16	2.06	2.10
20-Nov-20	2.92	3.75	3.70
21-Nov-20	1.97	3.19	2.20
22-Nov-20	3.71	1.88	2.10
23-Nov-20	2.23	0.94	2.20
24-Nov-20	2.17	1.88	2.60
25-Nov-20	2.12	3.00	3.10
26-Nov-20	2.91	3.38	2.70
27-Nov-20	1.68	3.75	2.70
28-Nov-20	2.14	2.25	2.90
29-Nov-20	1.74	1.88	2.10
30-Nov-20	1.90	2.25	2.20
1-Dec-20	2.47	3.00	3.00
2-Dec-20	1.54	2.63	2.30
3-Dec-20	0.26	1.01	2.10
4-Dec-20	1.39	1.28	2.20
5-Dec-20	0.91	1.88	2.00
6-Dec-20	2.98	2.81	3.20
7-Dec-20	0.00	1.61	2.60
8-Dec-20	0.75	0.94	2.00
9-Dec-20	0.15	1.16	2.10
10-Dec-20	1.04	3.04	2.40
11-Dec-20	0.57	1.13	1.90
12-Dec-20	0.88	0.94	1.90
13-Dec-20	0.97	0.53	2.50
14-Dec-20	0.84	1.05	1.90
15-Dec-20	0.97	1.69	2.10
16-Dec-20	1.24	1.50	2.10
17-Dec-20	0.49	0.79	2.70
18-Dec-20	0.58	2.33	1.90
19-Dec-20	0.91	0.75	2.80

20-Dec-20	1.48	3.00	2.00
21-Dec-20	1.44	1.95	2.70
22-Dec-20	1.46	3.00	2.70
23-Dec-20	0.84	2.63	2.30
24-Dec-20	1.82	0.98	2.80

**Tabla 8**

*Parámetros estadísticos de evaporación estándar y no estándar*

RMSE (Error cuadrático medio)	D (Índice de concordancia)	R (Coeficiente de correlación)	C (Coeficiente de confiabilidad)	Porcentaje de variación (% Variación)
0.046	0.994	1.000	0.99	-7.40
0.018	1.000	1.000	1.00	2.35
0.148	0.945	1.000	0.95	-21.53
0.337	0.663	1.000	0.66	-44.61
0.039	0.996	1.000	1.00	6.65
0.394	0.644	1.000	0.64	-47.81
0.226	0.856	1.000	0.86	46.91
0.102	0.736	1.000	0.74	-22.77
0.055	0.995	1.000	1.00	-7.63
0.067	0.996	1.000	1.00	8.50
0.441	0.783	1.000	0.78	80.34
0.089	0.988	1.000	0.99	-11.83
0.201	0.935	1.000	0.93	-25.41
0.214	0.912	1.000	0.91	38.91
0.288	0.590	1.000	0.59	76.35
0.077	0.983	1.000	0.98	13.93
0.309	0.829	1.000	0.83	-37.45
0.188	0.910	1.000	0.91	36.47
0.201	0.693	1.000	0.69	53.31
0.151	0.942	1.000	0.94	-22.02
0.222	0.601	1.000	0.60	-38.07
0.336	0.387	-1.000	<b>-0.39</b>	97.88
0.237	<b>-308.293</b>	-1.000	<b>308.29</b>	137.85
0.055	0.863	-1.000	<b>-0.86</b>	16.00
0.161	0.781	1.000	0.78	-29.33
0.086	0.976	1.000	0.98	-13.89
0.379	0.108	1.000	0.11	-55.16
0.020	0.991	1.000	0.99	-4.96

0.025	0.860	-1.000	<b>-0.86</b>	-7.40
0.064	0.853	1.000	0.85	-15.52
0.098	0.943	1.000	0.94	-17.75
0.200	<b>-0.405</b>	-1.000	0.40	-41.51
0.139	0.853	1.000	0.85	-74.73
0.021	0.961	1.000	0.96	8.95
0.176	<b>-3.523</b>	1.000	<b>-3.52</b>	-51.26
0.031	0.996	1.000	1.00	5.93
0.295	0.019	1.000	<b>0.02</b>	-100.00
0.034	0.985	1.000	0.99	-20.07
0.186	0.723	1.000	0.72	-87.42
0.366	<b>-4.665</b>	-1.000	4.66	-65.70
0.102	0.870	1.000	0.87	-49.64
0.011	0.998	1.000	1.00	-6.42
0.081	0.936	1.000	0.94	84.51
0.038	0.976	1.000	0.98	-19.93
0.132	<b>-0.512</b>	1.000	<b>-0.51</b>	-42.60
0.047	0.733	1.000	0.73	-17.14
0.054	0.977	1.000	0.98	-37.34
0.319	<b>-26.649</b>	-1.000	<b>26.65</b>	-74.84
0.030	0.989	1.000	0.99	21.85
0.278	<b>-0.503</b>	-1.000	0.50	-50.65
0.093	<b>-9.928</b>	1.000	<b>-9.93</b>	-25.95
0.282	<b>-0.585</b>	-1.000	0.59	-51.26
0.327	<b>-61.914</b>	-1.000	<b>61.91</b>	-67.97
0.154	<b>-2.483</b>	-1.000	2.48	86.20

**Nota.** Los valores que se encuentran sombreados no se utilizaron en la interpretación y análisis de los resultados.

**Tabla 9**

*Parámetros estadísticos de ETo de Penman-Monteith FAO 56 y la Tina de evaporación*

<b>RMSE (Error cuadrático medio)</b>	<b>D (Índice de concordancia)</b>	<b>R (Coeficiente de correlación)</b>	<b>C (Coeficiente de confiabilidad)</b>	<b>Porcentaje de variación (% Variación)</b>
0.058	0.96	1.000	0.963	-11.18
0.155	0.73	1.000	0.725	37.50
0.007	1.00	1.000	1.000	1.35
0.100	0.92	1.000	0.919	21.32
0.029	0.98	1.000	0.983	-6.25

0.137	0.89	1.000	0.890	28.57
0.065	0.59	1.000	0.594	-15.32
0.033	0.52	1.000	0.517	10.80
0.012	1.00	1.000	0.998	-2.50
0.194	0.60	1.000	0.600	48.71
0.027	0.94	1.000	0.941	7.14
0.127	0.84	1.000	0.845	28.91
0.002	1.00	1.000	1.000	0.29
0.082	0.86	1.000	0.863	-16.67
0.046	0.57	1.000	0.573	-14.06
0.014	0.99	1.000	0.992	-3.23
0.165	0.82	1.000	0.819	36.36
0.043	0.12	-1.000	<b>-0.121</b>	12.50
0.005	1.00	1.000	0.998	-1.79
0.007	1.00	1.000	1.000	1.35
0.136	<b>-4.85</b>	-1.000	4.849	44.89
0.031	0.95	1.000	0.950	-10.71
0.173	0.53	1.000	0.530	-57.39
0.100	<b>-1.07</b>	1.000	<b>-1.068</b>	-27.88
0.014	0.99	1.000	0.992	-3.23
0.093	0.62	1.000	0.621	25.00
0.144	0.49	1.000	0.490	38.89
0.089	<b>-13.48</b>	-1.000	<b>13.477</b>	-22.41
0.031	0.95	1.000	0.950	-10.71
0.007	0.99	1.000	0.991	2.27
0.000	1.00	1.000	1.000	0.00
0.045	<b>-35.00</b>	-1.000	<b>35.000</b>	14.13
0.149	0.66	1.000	0.661	-51.79
0.127	0.62	1.000	0.622	-42.05
0.017	0.99	1.000	0.987	-6.25
0.053	0.86	1.000	0.859	-12.11
0.136	<b>-0.66</b>	1.000	<b>-0.659</b>	-37.98
0.146	0.73	1.000	0.729	-53.13
0.129	0.70	1.000	0.702	-44.64
0.088	<b>-0.93</b>	-1.000	0.935	26.56
0.106	0.84	1.000	0.843	-40.79
0.132	0.80	1.000	0.798	-50.66
0.271	<b>-0.02</b>	1.000	<b>-0.021</b>	-79.00
0.117	0.82	1.000	0.825	-44.74
0.057	0.88	1.000	0.880	-19.64
0.082	0.81	1.000	0.811	-28.57

0.263	<b>-0.64</b>	-1.000	0.644	-70.83
0.058	0.68	1.000	0.682	22.37
0.282	<b>-1.06</b>	-1.000	1.058	-73.21
0.137	<b>-2303.00</b>	-1.000	<b>2303.000</b>	50.00
0.103	<b>-4.19</b>	-1.000	<b>4.191</b>	-27.78
0.041	0.83	1.000	0.827	11.11
0.045	<b>-35.00</b>	-1.000	<b>35.000</b>	14.13
0.251	<b>-1.30</b>	-1.000	<b>1.297</b>	-65.18

**Nota.** Los valores que se encuentran sombreados no se utilizaron en la interpretación y análisis de los resultados.

**Tabla 10**

*Parámetros de estadística descriptiva de ETo de Penman-Monteith FAO 56 y la Tina de evaporación*

<b>ETo PENMAN-MONTEITH</b>		<b>ETo CUEBTA EVAPORIMÉTRICA</b>	
Media	2.676	Media	2.490
Error típico	0.081	Error típico	0.153
Mediana	2.650	Mediana	2.625
Moda	2.100	Moda	3
Desviación estándar	0.596	Desviación estándar	1.121
Curtosis	-0.412	Curtosis	-1.008
Coefficiente de asimetría	0.605	Coefficiente de asimetría	0.038
Rango	2.400	Rango	3.975
Mínimo	1.900	Mínimo	0.525
Máximo	4.300	Máximo	4.500
Suma	144.500	Suma	134.438
Cuenta	54	Cuenta	54

## Anexos fotográficos

### *Ilustración 4*

*Limpieza del terreno y colocación de las tinas no estándar*



### *Ilustración 5*

*Tina no estándar*



***Ilustración 6***

*Tina de Evaporación no estándar en la estación meteorológica Chone - U. Católica*

***Ilustración 7***

*Lectura de datos de la evaporación en noviembre*



***Ilustración 8***

*Lectura de datos de la evaporación en diciembre*

***Ilustración 9***

*Llenado de los recipientes*



***Ilustración 10***

*Calibración de los recipientes para la obtención del radio*

