



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TEMA:

**“CALIBRACIÓN DE BANDEJA DE EVAPORACIÓN EN EL
LISÍMETRO DONDE SE ENCUENTRA EL CULTIVO DE
REFERENCIA”.**

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERO HIDRÁULICO.

AUTOR:

MICHAEL EDUARDO MIRANDA MACIAS

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. FABIÁN RODRIGO ESPINALES CEDEÑO. MG

DICIEMBRE,2022

CERTIFICACIÓN.

Ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, Mg.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

En mi calidad de director de tesis certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la carrera Ingeniería Hidráulica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, Mg.

C.I: 1306597657

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.

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

(f) _____

Ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, Mg.

Primer lector

(f) _____

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc

Segundo Lector

(f) _____

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, Mg.

Tercer Lector

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.

Este 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 sustento que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

Michael Eduardo Miranda Macías.

Dirección: Portoviejo, San Cayetano y los pinos.

Teléfono: 2580-581

Celular: 0996173682

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.

Michael Eduardo Miranda Macías.

C.I: 1313218792

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mi madre Sanny Payuska Macías Cedeño por ser pieza fundamental en mi vida y en mi carrera profesional, por haber creído en mí y por brindarme su apoyo incondicional, su sacrificio diario para sacarme a delante y siempre estar para ayudarme a cumplir mis metas en la vida.

A mi abuela, Carmen Estupiñan Loor ya que sin su apoyo no lo hubiese logrado, gracias a sus consejos y esfuerzos por verme en esta etapa de mi vida no lo hubiera logrado.

A mi tía, Alda Macías Cedeño, ya que, con su apoyo emocional, con sus consejos y bendiciones puede lograr estar en esta etapa de mi vida.

A mi hermana, Leslie Miranda Macías quien también ha estado de forma directa en esta etapa de mi vida, apoyándome y brindándome su conocimiento y consejos.

MICHAEL MIRANDA MACIAS.

AGRADECIMIENTO

“Al ver el resultado logrado con esta ambiciosa tesis, solo se me ocurre una palabra: ¡Gracias!

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de mi familia, principalmente de Sanny Macías Cedeño, mi madre, Carmen Estupiñan Loor, mi abuela, ya que estuvieron conmigo en los momentos más difíciles de la carrera, tanto con su ayuda emocional y financiera, ya que cuya paciencia fue puesta a prueba en incontables ocasiones.

Gracias, también, a mis tíos, hermana, a mi novia y a mis amigos, que me dieron su apoyo en todos los momentos y nunca dejarme solo y siempre brindarme su apoyo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Manabí por abrirme las puertas de su institución y poder culminar mi carrera universitaria.

Al ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga y al ing. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño, Mg, por compartirme sus conocimientos y con ello poder concluir mi proceso de titulación.

MICHAEL MIRANDA MACIAS.

Resumen

En la presente investigación cuantitativa se analizó la calibración de bandeja de evaporación o tina de clase “A” en el lisímetro donde se encuentra el cultivo de referencia en el campus Lodana de la Universidad Técnica de Manabí, provincia de Manabí, dada la necesidad de establecer el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo de referencia y su factor correctivo para relacionar la tina con el lisímetro. Por tanto, este estudio correlacional y experimental de campo se desarrolló de agosto a septiembre de 2022. Las ecuaciones fueron obtenidas mediante un modelo lineal utilizando datos de evapotranspiración (ET_o) de la tina de evaporación y del lisímetro. Igualmente, los métodos empleados para estimar la ET_o fueron la cubeta evaporímetro y la ecuación del lisímetro. Los resultados de la calibración entre la tina evaporación y el lisímetro muestran un modelo de regresión lineal, donde se observa el valor de la ecuación $y = 0,9279x - 2,2919$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9077. Por consiguiente, “y” corresponde a los datos del lisímetro, “0,9279” es el factor de ajuste del modelo y “x” corresponde la tina de evaporación, lo cual permite constatar que los valores ET_o de la tina y del lisímetro son fiables, ya que son directos y obtienen resultados similares. Es concluyente que la tina de evaporación y el lisímetro son métodos directos que no pueden aplicarse como métodos alternativos para la obtención de ET_o cuando no se disponga de todos los datos agroclimáticos.

Palabras clave: evapotranspiración, tina de evaporación, lisímetro

Abstract

This quantitative research study measured calibration of a Class-A evaporation pan in a lysimeter where the reference crop is located, at the *Lodana Campus, Universidad Técnica de Manabí*, Province of Manabí, regarding the importance of estimating reference crop evapotranspiration behaviour and its correction factor in order to relate the evaporation pan to the lysimeter. Thus, this correlational and experimental field research study was carried out from August through September 2022. Equations were obtained from a linear model using evapotranspiration (ET_o) data from the evaporation pan and lysimeter. Likewise, the methods used to estimate ET_o values were the pan evaporimeter and the lysimeter equation. The calibration findings between the evaporation pan and lysimeter show a linear regression model, where the value of the equation $y = 0.9279x - 2.2919$ has a coefficient of determination (R^2) of 0.9077. Therefore, "y" corresponds to the lysimeter data, "0.9279" is the adjustment factor of the model, and "x" corresponds to the evaporation pan, so that these findings help to confirm that ET_o values from the pan and lysimeter are reliable because they are direct and have similar results. It is conclusive that the evaporation pan and the lysimeter are direct methods that cannot be used as alternative methods for estimating ET_o when all agro-climatic data are not available.

Keywords: evapotranspiration, evaporation pan, lysimeter

Índice de Contenido

CERTIFICACIÓN.....	I
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	II
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	III
DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Introducción.....	1
Metodología de la investigación.....	4
Área de estudio.....	4
Localidad.....	4
Información climatológica.....	5
Materiales	5
Materiales de campo.....	5
Métodos.....	6
Resultados y discusión.....	9
Establecer el comportamiento del cultivo de referencia en la estimación de la evapotranspiración.	9

Calcular el factor correctivo para que se relaciona la tina de evaporación con el

lisímetro.	13
Conclusiones:	16
Bibliografía	17
Anexos:	21

Índice de Ilustración

Ilustración 1: Área de Estudio- Estación meteorológica La Teodomira.....	4
Ilustración 2 Coeficiente K_p , En El Caso De Una Cubeta De La Clase A, Para Diferentes Cubiertas y Niveles De Humedad Relativa Media y Vientos Durante Las 24 Horas (FAO).	25
Ilustración 3 Cultivo De Referencia	30
Ilustración 4 Cultivo De Referencia Con El Lisímetro.....	31
Ilustración 5 Tina De Evaporación Con El Lisímetro y Cultivo De Referencia	32
Ilustración 6 Tina Nivelada.....	33
Ilustración 7 Tina Evaporación Sobre Una Base De Madera	34
Ilustración 8 Tina De Evaporación Cercada Con El Lisímetro y Cultivo De Referencia	35

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos de Volumen Consumido (L).....	8
Tabla 2 Datos de Evaporación y ETo	11
Tabla 3 Datos ETo Cubeta y ETo del Lisímetro.....	12
Tabla 4 ETo Por El Método De La Cubeta.....	15
Tabla 5 Datos del Lisímetro.....	21
Tabla 6 Información Climática Del Mes Agosto.....	22
Tabla 7 Información Climática Del Mes septiembre.....	23
Tabla 8 Tabla De Tiempo De Riego.....	26
Tabla 9 Datos De Lisímetro Ajustado:	27
Tabla 10 Datos Tina Ajustada:	28

Introducción

En la actualidad, el agua es uno de los recursos principales para el riego y debido al cambio climático el riego se enfrenta a una insuficiencia a nivel mundial y nacional, por lo que es necesario hacer un uso más eficiente y controlado (NACIONES UNIDAS, 2020). Para realizar los cálculos de evapotranspiración, basta con medir de manera regular la humedad del suelo. Existen dos tipos de métodos para calcular la evapotranspiración que son: métodos indirectos y métodos directos (Guillermo, 2019).

La evaporación es un proceso que en los suelos involucra el tranporte de agua y calor entre el terreno y la atmósfera. La evaporación es un fenómeno estudiado y de interés de diversas disciplinas como hidrología, meteorología, oceanografía, climatología y medio ambiente. Con la cual se conoce las cantidades de agua que se pierde con este proceso natural debido al factor del medio ambiente (López, 2018).

En la actualidad se consideran muchos estudios realizados para obtener estimaciones precisadas de la evaporación y evapotranspiración y dichas estimaciones son muy importantes en zonas áridas y semiáridas en las que el agua escasea (Achad, 2019). Según Gamboa, (2019) la evaporación se la conoce como el proceso físico por el cual el agua pasa de estar en un estado líquido localizado sobre una superficie la cual al estar en contacto con niveles altos de temperatura esta pasa se convierte en vapor de agua.

El lisímetro es un instrumento que fue diseñado con objetivo principal que es comprobar su funcionalidad para medir la evapotranspiración potencial (ETP). El lisímetro es un instrumento que consta de tres tanques cilíndricos de 57 cm de diámetro y 88 cm. En los tratamientos con los

lisímetros estos se instalan sobre una base metálica (1x0.3 m) estos cuentan con un contenedor para las plantas y otro para la recolección de drenaje (Murillo, 2021).

Según la FAO, (2006), indica que el lisímetro es un dispositivo introducido en el suelo con el mismo relleno del lugar y vegetación. Con este instrumento se puede definir con exactitud la pérdida de agua por periodos de tiempos. Es lisímetro es más utilizado para medir la ETo (evaporación del cultivo de referencia). Por lo tanto, Texeira, (2021) indica que el lisímetro cuando se encuentra con un diseño apropiadamente y operada correctamente establece unos de los métodos más exactos para precisar la ETo. Aunque el lisímetro es unos de los métodos de medición más precisos para la obtención de resultados del ETo, la realización de este método es muy costosas y complicada de realizar (Acuña, 2020).

El lisímetro, este fue diseñado con el objetivo principal de la recolección de agua de infiltración, los lisímetros de drenaje cuentan con una salida en el fondo ya que de esta manera el agua puede filtrarse y esta puede ser recolectada en un recipiente (Ortiz, 2021). Según Nieto, (2018) el lisímetro es unos de los aparatos más usados, de modo general ya que este se utiliza para contrastar formulas empíricas.

Para estos casos la bandeja de evaporación se debe situarlo a 1 m donde se localiza la estación meteorología, la cual se utiliza para mantener un registro de cada una de las principales variables meteorológicas, como sería la humead relativa, la temperatura máxima y mínima y la velocidad del viento (Mendoza, 2010).

La bandeja de evaporación sirve para estimar el consumo de agua de los cultivos, tomando como referencia los factores climáticos que las afectan directamente. Gracias a este proceso físico que puede conocer mejor los datos de una manera más precisa (Pozo, 2017). Según Gil, (2006) la

bandeja de evaporación ha demostrado estimar adecuaciones al ETo, al compararlas con procesos de mediciones de lisímetros, ya que con la bandeja se logra obtener una mayor precisión en función al a velocidad del viento y la humedad relativa.

Con la bandeja de evaporación se trata de medir la evaporación de agua, el cual va a representar la cantidad de agua máxima que se evapora o la cantidad de agua que se puede perder en un cultivo, en este proceso se necesita de la toma de datos diarios para obtener la evapotranspiración de referencia (ETo) , es decir cada veinte y cuatro horas, ya que con esto podremos verificar y conocer los datos de la evaporación por el método de la bandeja (CITRA, 2004).

Según Toledo, (2015) los métodos directos tienen como principal característica medir directamente los consumos por evaporación y para este método requiere de la instalación de aparatos para el cuidado de ello y seguir la metodología paso a paso, por lo que Chile, (2018) nos indica que para los cálculos de evapotranspiración en los métodos directos tenemos, la tina de evaporación, y lisímetro, los cuales son métodos que nos permite medir directamente la evapotranspiración de una capa libre, también nos permite obtener una estimación del ETP.

Con estos antecedentes, la siguiente investigación tiene como objetivo general determinar la calibración de bandeja de evaporación en el lisímetro donde se encuentra el cultivo de referencia, mientras que los objetivos específicos son: Establecer el comportamiento del cultivo de referencia en la estimación de la evapotranspiración y calcular el factor correctivo para que se relaciona la tina de evaporación con el lisímetro.

Metodología de la investigación.

Área de estudio.

Localidad.

La investigación se la va a ejecutar en el Cantón Santa Ana en los predios de la estación meteorológica de la Teodomira que se encuentra en las instalaciones de la Universidad Técnica de Manabí extensión Lodana, dicha estación se encuentra situada geográficamente entre las coordenadas referenciales de latitud $1^{\circ}10'33.71''$ S y longitud $80^{\circ}23'08.16''$ O a una elevación de 59 m. (UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ, 2017).

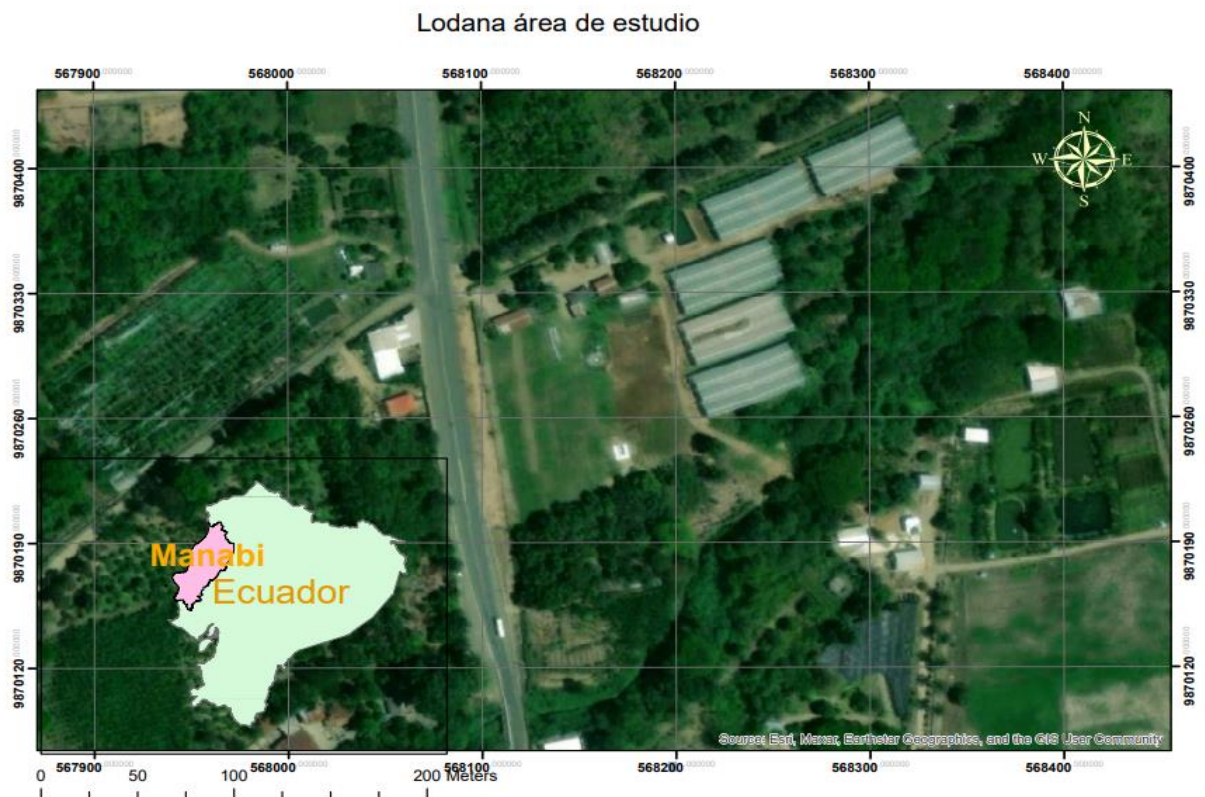


Ilustración 1: Área de Estudio- Estación meteorológica La Teodomira

(GOOGLE EARTH, 2022)

Información climatológica.

El clima del Cantón Santa Ana es trópico seco compuesta de invierno y verano bien diferenciadas; la temperatura promedio del cantón Santa Ana anual es de 26 °C. La temperatura máxima ha alcanzado 37°C y la temperatura mínima a 14°C. Sin embargo, la variación diaria de la temperatura puede alcanzar hasta 10°C. (GAD, 2022).

Materiales

Materiales de campo.

- Bandeja de evaporación estándar.

La bandeja de evaporación es un recipiente que en este caso está construido de acero inoxidable con un diámetro de 120.7 cm y una altura de 25.4 cm, esta estructura se instaló sobre unos apoyos de manera que consta de nueve barrotes de madera de 1.30 cm de largo por 7 cm de ancho, esta bandeja consta de un tazón de reposición de agua y un tazón de recolección de agua. (Gaibor, 2019).

- Lisímetro.

Este lisímetro, contiene una balsa enterrada al nivel del suelo, este consta de una dimensión de 1.92m de ancho por 2.48m de largo y 1m de profundidad, tiene un recolector de drenaje situado al fondo del lisímetro y también tenemos un recipiente de receptores por el cual podremos observar los niveles de drenaje que provienen del riego y de las lluvias. (Ureña, 2017).

Con el uso del lisímetro podremos evaluar el consumo hídrico y esto nos permitirá optimizar el gasto hídrico del cultivo de referencia. Para determinar los parámetros del coeficiente del cultivo (K_c) es necesario obtener dos parámetros, el primero es la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}), que esta la obtenemos mediante el balance de agua en

el lisímetro. Para el funcionamiento del lisímetro es necesario comprender las siguientes variables: precipitación, riego, drenaje y variación de la humedad (Bach & Alegre, 2019).

Métodos.

- La bandeja de evaporación se la instaló encima de una base de madera compuesta de unos tablones de 1.92m de ancho por 2.48m de largo y 1m de profundidad. Esta bandeja contiene dos tazones, un tazón de reposición de agua y un tazón de recolección de agua.
- Una vez instalada la bandeja de evaporación debemos verificar que este nivelado y que se encuentre una zona donde no obstruya el paso de luz y que no existan factores que perjudiquen a la toma de datos.
- Los datos se recolectaron cada 24 horas, con la taza de recolección vamos llenando la bandeja de evaporación, dependiendo de cuánta agua ponemos en la taza se va calculando cuanto se ha evaporado, cada taza equivale a 1 ml de la bandeja de evaporación.
- En el caso del lisímetro este ya está construido y esta posee un Área de $4.8m^2$, lo que debemos hacer es verificar que el cultivo de referencia este en óptimas condiciones para continuar con la recolección de datos. En el lisímetro la parte del cultivo de referencia las medidas son de 2.48m x 1.92m y por 1m de profundidad. Y posee un área de $4.8m^2$.
- Una vez que el cultivo de referencia está en óptimas condiciones tendremos que tener en cuenta algunos parámetros los cuales son; el agua aplicada, el agua drenada y el consumida.
- Teniendo en cuenta los parámetros, los datos que se deben tomar diariamente tales como; el caudalímetro para verificar el agua que se está aplicando, y en este caso para el dato de agua drenada tendremos que ubicarnos a la salida de drenaje y con un balde que marque los ml que se recogieron.

- Para estos procesos de método directo se tomaron datos diarios empezando desde el día 22 de agosto del 2022 y finalizó el día 22 de septiembre del 2022.

Método de la cubeta de evaporación:

$$E_{To} = K_p \times E_p$$

- Donde:
- E_{To} = Evaporación potencial de referencia (mm/día)
- K_p = Coeficiente de la cubeta (tabla 7- coeficiente de K_p)
- E_p = Evaporación de la cubeta (mm/día)
- Con esta fórmula logramos obtener el E_{To} por el método de la bandeja.
- El K_p se logró obtener de la siguiente tabla de coeficiente de K_p :

E_{To} obtenido del lisímetro con la siguiente formula:

$$E_{To} = \text{Volumen consumido} / \text{Área del Lisímetro}$$

Con esta fórmula se pudieron encontrar los datos del E_{To} en el lisímetro.

Con estos también encontramos el volumen de agua consumida con la siguiente formula:

$$\text{Volumen consumido} = \text{volumen aplicado} - \text{volumen drenado}$$

Con esta fórmula se obtuvo el volumen en litros del agua que se utilizó para el cultivo de referencia en el lisímetro.

En la tabla se muestra los valores diarios obtenidos:

Tabla 1 Datos de Volumen Consumido (L)

volumen consumido (L)=	Días
12	1
13	2
12	3
12	4
12	5
10	6
13	7
12	8
12	9
12	10
11	11
13	12
13	13
14	14
11	15
10	16
13	17
12	18
12	19
12	20
10	21
13	22
13	23
11	24
12	25
10	26
12	27
12	28
13	29
12	30

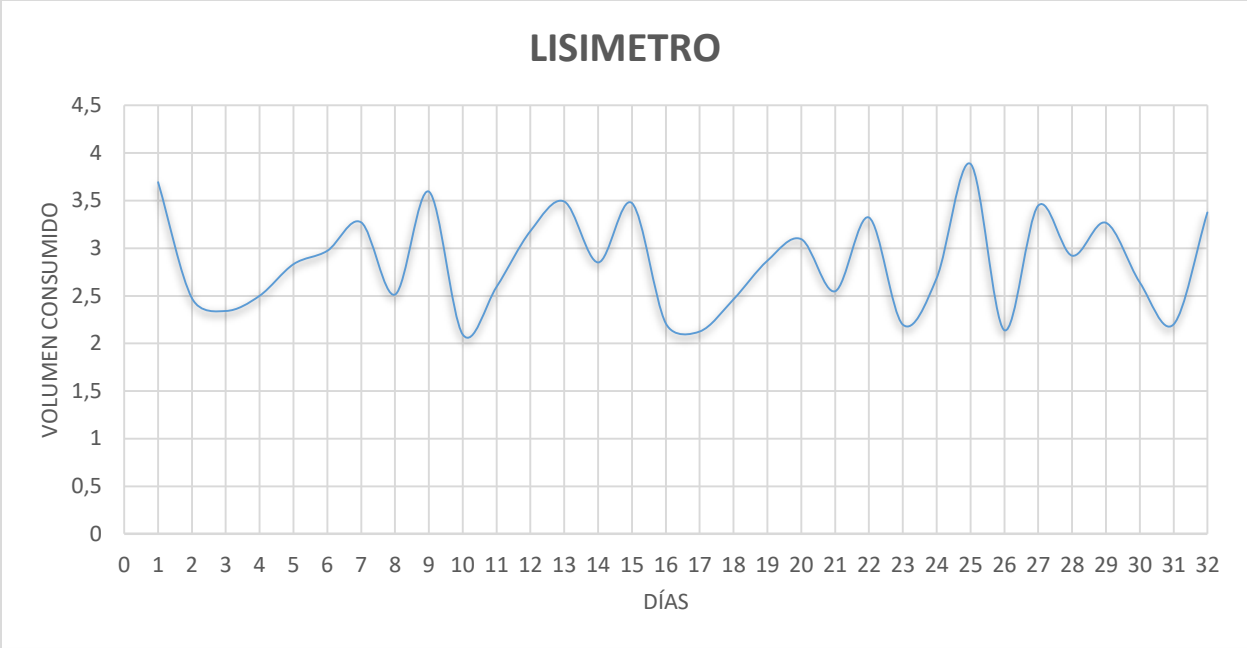
Resultados y discusión.

Establecer el comportamiento del cultivo de referencia en la estimación de la evapotranspiración.

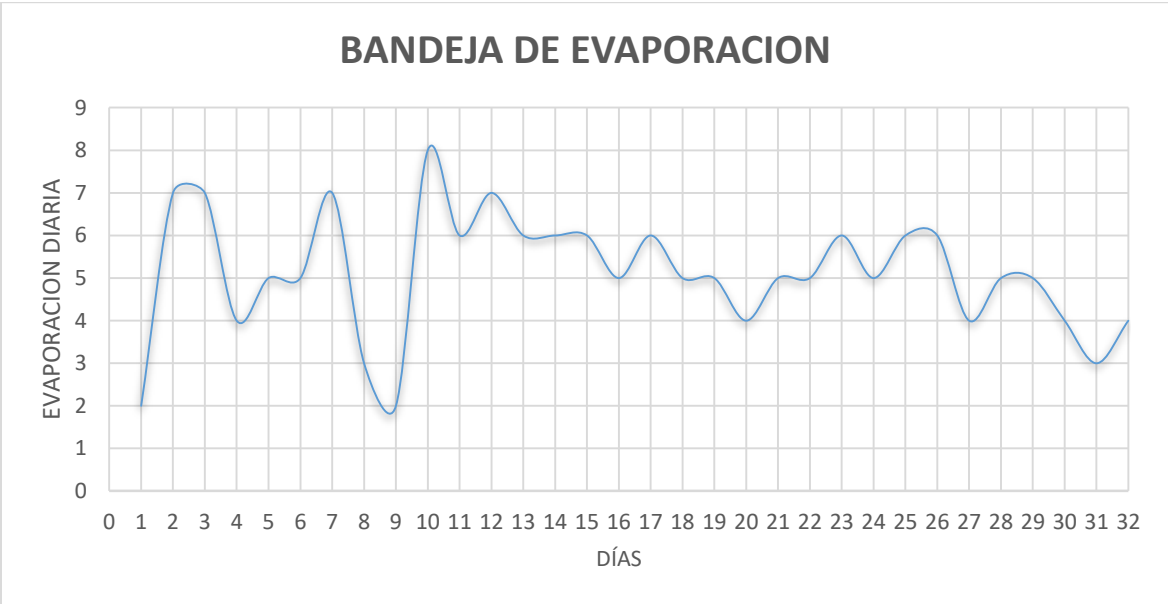
Para el comportamiento de la evapotranspiración con el método de la tina de evaporación en la zona del estudio, se realizó un análisis de datos estadísticos donde se pudo comprobar que como valor del ETo medio es de 3.75 mm/día dicho valor se repitió 10 veces, y como ETo mínimo obtenido un 1.5 mm/día y como valor máximo de ETo fue de 6 mm/día.

Para el comportamiento de la evapotranspiración utilizando el lisímetro de drenaje, se ejecutó un análisis de datos estadísticos dando como resultado que el ETo medio es de 2.5 mm/día dicho valor se repitió 14 veces, su valor mínimo fue de 2.08 mm/día y tuvo un punto máximo de ETo de 2.92 mm/día.

Resultados que difieren con lo manifestado por Contreras (2015), nos indica que tras un estudio que se realizó en el parque nacional Cajas, Azuay se demostró que entre los meses entre julio y agosto del 2015 se observó que los valores que registraron un máximo de ETo fueron en el mes de agosto con un ETo de 2.50 mm y el valor mínimo en julio de ETo de 1.60 mm, este estudio se realizó en tres observatorios meteorológicos ubicados en la microcuenca de río Quinuas.



GRAFICA 1 Relación De Datos Diarios Con El Volumen Consumido Del Lisímetro.



GRAFICA 3 relación de datos diarios con el Evaporación diaria de la bandeja

Tabla 2 Datos de Evaporación y ETo

EVAPORACION (mm)	ETo (mm)
2	1,5
7	5,25
7	5,25
4	3
5	3,75
5	3,75
7	5,25
3	2,25
2	1,5
8	6
6	4,5
7	5,25
6	4,5
6	4,5
6	4,5
5	3,75
6	4,5
5	3,75
5	3,75
4	3
5	3,75
5	3,75
6	4,5
5	3,75
6	4,5
6	4,5
4	3
5	3,75
5	3,75
4	3
3	2,25
4	3

Kp
0,75

Tabla 3 Datos ETo Cubeta y ETo del Lisímetro

Días	ETo Cubeta (mm)	ETo Lisímetro(mm)
lunes, 22 de agosto de 2022	1,5	2,5
martes, 23 de agosto de 2022	5,25	2,71
miércoles, 24 de agosto de 2022	5,25	2,5
jueves, 25 de agosto de 2022	3	2,5
viernes, 26 de agosto de 2022	3,75	2,5
sábado, 27 de agosto de 2022	3,75	2,08
domingo, 28 de agosto de 2022	5,25	2,71
lunes, 29 de agosto de 2022	2,25	2,5
martes, 30 de agosto de 2022	1,5	2,5
miércoles, 31 de agosto de 2022	6	2,5
jueves, 1 de septiembre de 2022	4,5	2,29
viernes, 2 de septiembre de 2022	5,25	2,71
sábado, 3 de septiembre de 2022	4,5	2,71
domingo, 4 de septiembre de 2022	4,5	2,92
lunes, 5 de septiembre de 2022	4,5	2,29
martes, 6 de septiembre de 2022	3,75	2,08
miércoles, 7 de septiembre de 2022	4,5	2,71
jueves, 8 de septiembre de 2022	3,75	2,5
viernes, 9 de septiembre de 2022	3,75	2,5
sábado, 10 de septiembre de 2022	3	2,5
domingo, 11 de septiembre de 2022	3,75	2,08
lunes, 12 de septiembre de 2022	3,75	2,71
martes, 13 de septiembre de 2022	4,5	2,71
miércoles, 14 de septiembre de 2022	3,75	2,29
jueves, 15 de septiembre de 2022	4,5	2,5
viernes, 16 de septiembre de 2022	4,5	2,08
sábado, 17 de septiembre de 2022	3	2,5
domingo, 18 de septiembre de 2022	3,75	2,5
lunes, 19 de septiembre de 2022	3,75	2,71
martes, 20 de septiembre de 2022	3	2,5
miércoles, 21 de septiembre de 2022	2,25	2,5
jueves, 22 de septiembre de 2022	3	2,5

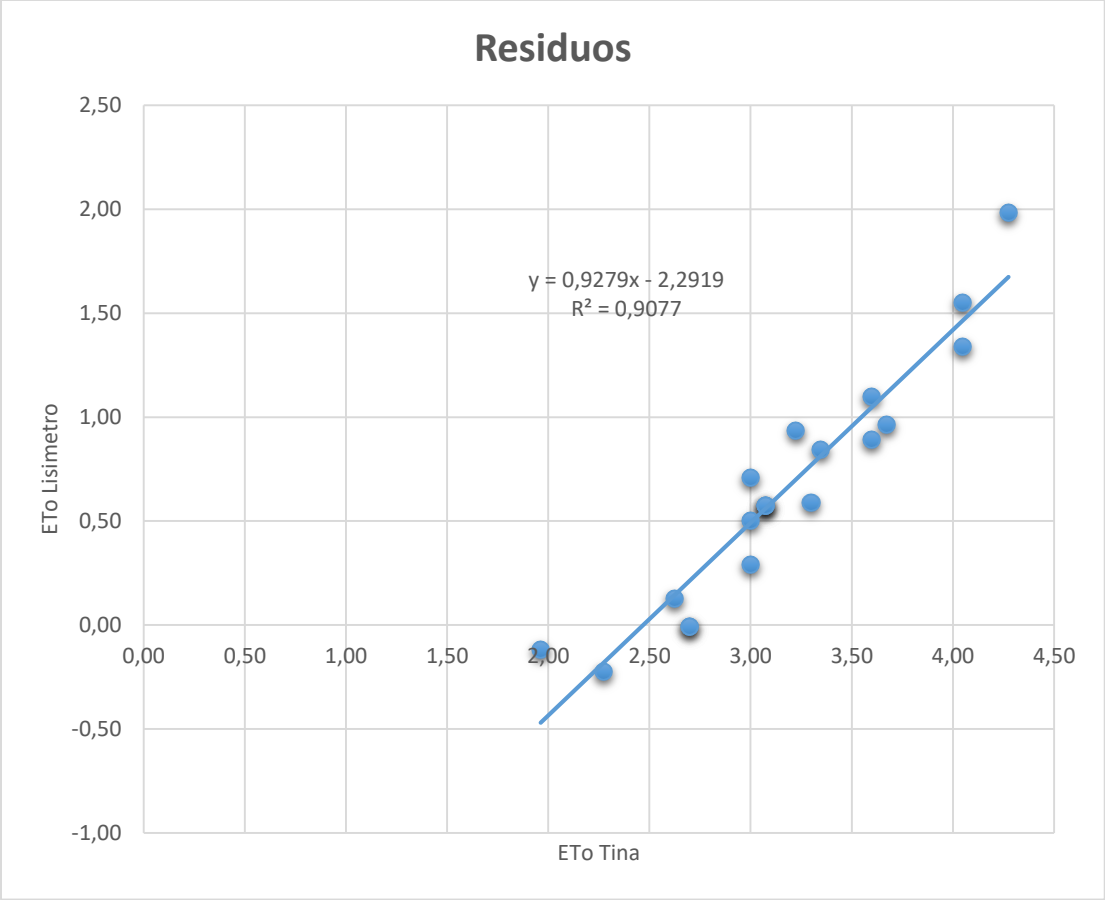
Calcular el factor correctivo para que se relaciona la tina de evaporación con el lisímetro.

Se pudo comprobar el factor correctivo para que se relacionen la tina de evaporación con el lisímetro, esta muestra un modelo de regresión lineal donde se observa que el valor de la ecuación $y = 0,9279x - 2,2919$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9077 por consiguiente “y” corresponde a los datos del lisímetro. “0,9279” es el factor de ajuste del modelo y “x” la tina de evaporación.

Presentado un ajuste entre ambas teniendo en cuenta que la relación lineal se va a basar en el cálculo de la línea que más relaciona con los puntos dados. Por lo que se puede constatar que por cada ml de la ETo de la se aumenta en 0.9279 ml de la ETo del lisímetro.

Resultados difieren con lo manifestado por Argenis (2014), nos indica que entre las correlaciones entre la tina de evaporación y el lisímetro nos muestra un modelo de regresión lineal donde se observó que el resultado de la ecuación , $y = 1.118x + 0.0893$ con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,78

En los siguientes se presentan los gráfico y tablas que se obtuvieron del resultado de la tesis:



GRAFICA 2 Tina Ajustada

Tabla 4 ETo Por El Método De La Cubeta

FECHA	ETO CUBETA ESTANDAR
	(mm/día)
22/8/2022	1,5
23/8/2022	5,25
24/8/2022	5,25
25/8/2022	3
26/8/2022	3,75
27/8/2022	3,75
28/8/2022	5,25
29/8/2022	2,25
30/8/2022	1,5
31/8/2022	6
1/9/2022	4,5
2/9/2022	5,25
3/9/2022	4,5
4/9/2022	4,5
5/9/2022	4,5
6/9/2022	3,75
7/9/2022	4,5
8/9/2022	3,75
9/9/2022	3,75
10/9/2022	3
11/9/2022	3,75
12/9/2022	3,75
13/9/2022	4,5
14/9/2022	3,75
15/9/2022	4,5
16/9/2022	4,5
17/9/2022	3
18/9/2022	3,75
19/9/2022	3,75
20/9/2022	3
21/9/2022	2,25
22/9/2022	3
promedio	3,84375

Conclusiones:

- Tal y como se ha podido comprobar el comportamiento de la bandeja de evaporación en la zona del estudio, se pudo conocer que con datos estadísticos entre los métodos de la bandeja de evaporación y el lisímetro se registraron datos aproximados, por lo tanto, se indica que los estudios brindados de los métodos utilizados son confiables.
- Como factor de ajuste para la tina de evaporación se obtuvo la ecuación a partir del modelo regresión lineal, donde se obtuvo R^2 aceptable. Por lo tanto, el modelo obtenido es fiable y se establece dentro de los rangos establecidos.

Bibliografía

- Achad, M. (2019). *Estimación de la evaporación y la evapotranspiración*. Cordoba. Obtenido de file:///C:/Users/Hp/Downloads/Tesis%20Mariana%20Achad.pdf
- Acuña, M. (2020). *Calibración de las formulas empíricas de evapotranspiración de referencia, respecto a la evaporación del tanque tipo A, en la estación de Purhuay-Huari, periodo 2014-2018*. Tesis, Huaraz Ancash. Obtenido de http://www.repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4225/T033_70298128_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Argenis, M. (2014). *Programación y manejo del riego localizado en invernadero mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en el cultivo de pimentón*. Obtenido de file:///C:/Users/Hp/Downloads/Articulo1.pdf
- Bach, A., & Alegre, J. (2019). “*Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) del cultivo de holerito utilizando el lisímetro*”. Santiago Antúnez De Mayolo.
- Chile, G. (2018). *Uso de la bandeja de evaporación clase A para la programación de riego*. Santiago.
- CITRA. (2004). *Uso de la bandeja de evaporación clase A para la programación del riego*. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3307/1/T-UTEQ-0137.pdf>
- Contreras, J. (2015). *Análisis comparativo de cuatro modelos de evapotranspiración de referencia en la microcuenca del Río Quinuas*. Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21725/1/tesis.pdf>
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. New York: Serie Riego y Drenaje.

- GAD. (2022). *Santa Ana Gad Municipal*. Obtenido de <https://santaana.gob.ec/>
- Gaibor, J. (2019). *Determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris) var. Calima en base al tanque de evaporación tipo A, Y fórmulas empíricas (FAO), en Macaji, Cantón Riobamba provincia de Chimborazo*. Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/12340/1/13T0885.pdf>
- Gamboa, D. (2019). *Cálculo de evapotranspiración para la subzona hidrográfica río Tapias y otros directos al Cauca en el departamento de Caldas, Colombia*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18697/2019wilsongamboa.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Gil, P. (2006). *Programación de riego en remolacha azucarera mediante el método de evaporación de bandeja y el modelo de Penman-Monteith*. Chillan. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Lorenzo-Leon-2/publication/28138690_Programacion_de_riego_en_remolacha_azucarera_mediante_el_metodo_de_evaporacion_de_bandeja_y_el_modelo_de_Penman-Monteith/links/581288c608ae1f5510c2ad66/Programacion-de-riego-en-remol
- GOOGLE EARTH. (2022). *Google Earth*. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Guillermo, S. (2019). *Desarrollo de cálculo de presión de vapor para estimar evapotranspiración con limitación de datos climáticos*. Torreón.
- López, D. (2018). *Análisis numérico y experimental de la evaporación en la interface suelo*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Mendoza, J. (2010). *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior*. Obtenido de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/872/1/184951.pdf>

Murillo, G. (Julio de 2021). *El uso del lísimetro de pesa en clavel*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262021000200012#B20

NACIONES UNIDAS. (26 de Noviembre de 2020). *NACIONES UNIDAS*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>

Nieto, G. (2018). *Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración en una zona árida citrícola del noroeste de México*. Merida. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93917767005.pdf>

Ortiz, R. (2021). *Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco*. Tumbaco. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6538/653868372007/653868372007.pdf>

Pozo, L. (2017). *Efecto del riego por aspersión para la optimización del rendimiento en el cultivo del cacao (Theobroma cacao) variedad CCN-51 en época seca, en el cantón Quinsaloma, provincia de Los Ríos*. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3307/1/T-UTEQ-0137.pdf>

Texeira, P. (2021). *Calibración de la ecuación de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) en Salto, Uruguay*. Tesis, Buenos Aires. Obtenido de <https://rclimatol.eu/wp-content/uploads/2021/06/Articulo21g.pdf>

Toledo, L. (2015). *Evaporación y transpiración*. Obtenido de

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32341/secme-11680.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20consumo%20de%20agua%20por,d e%20alimentaci%C3%B3n%20en%20forma%20autom%C3%A1tica>

UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABÍ. (Agosto de 2017). Obtenido de

<https://utm.edu.ec/sa/?p=4842>

Ureña, G. (2017). *Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (zea mays),*

mediante el lisímetro volumétrico, en el sector El Porvenir perteneciente al sistema de riego campana-malacatos. Loja. Obtenido de

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19355/1/Gabriela%20del%20Cisne%20Ure%c3%b1a%20Ordo%c3%b1ez.pdf>

Anexos:

Tabla 5 Datos del Lisímetro

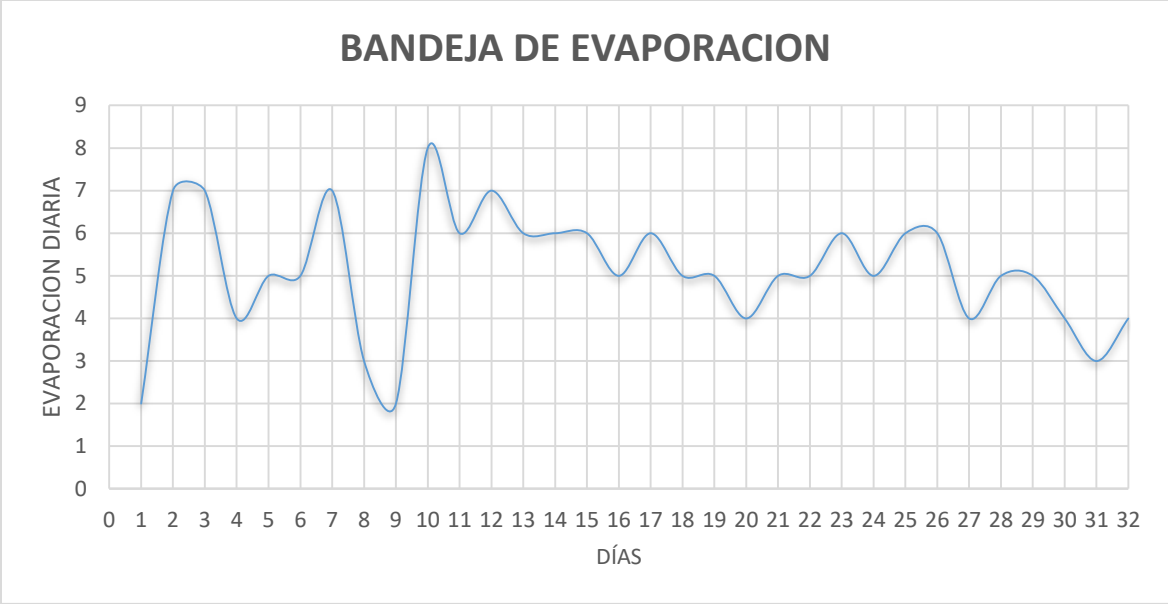
Lisímetro			
FECHA	AGUA REGADA (L)	AGUA DRENADA (L)	ETo(ml)
lunes, 22 de agosto de 2022	12	0	2,50
martes, 23 de agosto de 2022	16	3	2,71
miércoles, 24 de agosto de 2022	16	4	2,50
jueves, 25 de agosto de 2022	15	3	2,50
viernes, 26 de agosto de 2022	15	3	2,50
sábado, 27 de agosto de 2022	15	5	2,08
domingo, 28 de agosto de 2022	15	2	2,71
lunes, 29 de agosto de 2022	15	3	2,50
martes, 30 de agosto de 2022	15	3	2,50
miércoles, 31 de agosto de 2022	15	3	2,50
jueves, 1 de septiembre de 2022	15	4	2,29
viernes, 2 de septiembre de 2022	15	2	2,71
sábado, 3 de septiembre de 2022	15	2	2,71
domingo, 4 de septiembre de 2022	15	1	2,92
lunes, 5 de septiembre de 2022	15	4	2,29
martes, 6 de septiembre de 2022	15	5	2,08
miércoles, 7 de septiembre de 2022	15	2	2,71
jueves, 8 de septiembre de 2022	15	3	2,50
viernes, 9 de septiembre de 2022	15	3	2,50
sábado, 10 de septiembre de 2022	15	3	2,50
domingo, 11 de septiembre de 2022	15	5	2,08
lunes, 12 de septiembre de 2022	15	2	2,71
martes, 13 de septiembre de 2022	15	2	2,71
miércoles, 14 de septiembre de 2022	15	4	2,29
jueves, 15 de septiembre de 2022	15	3	2,50
viernes, 16 de septiembre de 2022	15	5	2,08
sábado, 17 de septiembre de 2022	15	3	2,50
domingo, 18 de septiembre de 2022	15	3	2,50
lunes, 19 de septiembre de 2022	15	2	2,71
martes, 20 de septiembre de 2022	15	3	2,50
miércoles, 21 de septiembre de 2022	15	3	2,50
jueves, 22 de septiembre de 2022	15	3	2,50

Tabla 6 Información Climática Del Mes Agosto

AGOSTO						
Día	T.MAX (°C)	T.MIN (°C)	V.V (m/seg)	HELIOFANIA	EVAPORACION (mm)	Hr (%)
1/8/2022	30,5	21,1	3	2,3	3,26	82
2/8/2022	29,8	19,4	2	2,5	2,86	85
3/8/2022	28	20,7	2	0,6	2,26	83
4/8/2022	31,1	21,1	3	3,9	4,12	86
5/8/2022	28,6	21,8	1	0,1	3,72	87
6/8/2022	33	21,2	2	1,2	4	83
7/8/2022	28	21,2	3	6,3	1,52	86
8/8/2022	27,5	20,4	1	0	1,98	89
9/8/2022	31,1	21,4	1	4,6	4,56	83
10/8/2022	30,2	20,8	1	3	4,13	81
11/8/2022	32	20,8	2	4,4	5,07	80
12/8/2022	30,8	21	2	2,3	4,3	82
13/8/2022	28,5	20	1	0,1	2,6	83
14/8/2022	32	19	2	5,3	3,5	81
15/8/2022	34,5	20	3	8	4,5	77
16/8/2022	29	21	2	2,1	3,5	89
17/8/2022	26	20,2	1	0	2,6	88
18/8/2022	29,2	21	2	1,3	2,5	86
19/8/2022	33	19	2	8,1	3,7	83
20/8/2022	32,5	19,2	2	8,5	5,3	78
21/8/2022	33,5	19	2	8,1	5,9	82
22/8/2022	30	20,6	2	3,5	3,32	79
23/8/2022	30,6	21,6	1	4,6	4,28	81
24/8/2022	30,6	21,8	2	1,9	3,32	81
25/8/2022	30,3	20,9	2	1	3,33	78
26/8/2022	30,4	20,1	1	2,2	5,38	84
27/8/2022	32,5	21,2	2	5,5	5	82
28/8/2022	32,1	20,5	2	6,2	3,2	81
29/8/2022	32,5	21,4	2	3,2	4,85	82
30/8/2022	30,2	20,8	1	1,2	3,18	83
31/8/2022	30	20,9	2	1,9	3,8	82

Tabla 7 Información Climática Del Mes septiembre.

SEPTIEMBRE						
Día	T.MAX (°C)	T.MIN (°C)	V.V (m/seg)	HELIOFANIA	EVAPORACION (mm)	HR (%)
1/9/2022	32,5	21	2	6,3	4,3	89
2/9/2022	32,8	21,1	1	8,9	6,5	83
3/9/2022	27,5	20,2	2	0	3	81
4/9/2022	33,5	21	2	5,7	3,3	80
5/9/2022	35,1	19,1	2	5,5	4,9	82
6/9/2022	33,6	21,6	1	5,7	5,1	83
7/9/2022	28	21,1	2	0,1	3,6	81
8/9/2022	30,5	20,8	3	0,7	5,8	77
9/9/2022	34,9	17,6	2	7,9	4,1	82
10/9/2022	31,6	20	2	6,4	6	85
11/9/2022	32,5	19,8	3	3,7	4,6	83
12/9/2022	31,9	20,2	1	4,5	4,8	86
13/9/2022	32,5	20,4	2	7,2	5,32	87
14/9/2022	31,6	18,2	3	5,2	5,23	83
15/9/2022	32,6	18,8	1	5,6	5,3	86
16/9/2022	32	19,4	1	2,9	4,4	82
17/9/2022	34,5	19,6	1	0,2	5,2	79
18/9/2022	28,6	20	2	5,2	2,6	81
19/9/2022	29,9	21,1	2	1,7	2,8	81
20/9/2022	28,3	21	1	0	3,5	78
21/9/2022	33,1	20,9	2	4,7	5,7	84
22/9/2022	31	20,7	3	3,7	4,1	82
23/9/2022	29,8	20	2	2,2	4	81
24/9/2022	31	20,5	1	1,7	4	82
25/9/2022	32	21	2	2,5	5,4	86
26/9/2022	31	19,8	2	1,9	3,6	89
27/9/2022	31,1	20,2	2	2,9	4,4	83
28/9/2022	33,1	20,6	2	5,1	4,9	81
29/9/2022	33,1	20,8	2	4,5	5,4	80
30/9/2022	33	19,6	1	6,5	5,7	82



GRAFICA 3 relación de datos diarios con el Evaporación diaria de la bandeja

Cubeta clase A	Caso A			Caso B				
	Cubeta rodeada de cubierta verde baja			Cubeta con barbecho de secano				
RH media %		Baja <40	Media 40-70	Alta >70		Baja <40	Media 40-70	Alta >70
Vientos km/día	Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m)				Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m)			
Débiles <175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	1.000	0,5	0,6	0,7
Moderados 175-425	0	0,5	0,6	0,65	0	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1.000	0,7	0,8	0,8	1.000	0,45	0,55	0,6
Fuertes 425-700	0	0,45	0,5	0,60	0	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1.000	0,65	0,7	0,75	1.000	0,4	0,45	0,55
Muy fuertes >700	0	0,4	0,45	0,5	0	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1.000	0,55	0,6	0,65	1.000	0,35	0,4	0,45

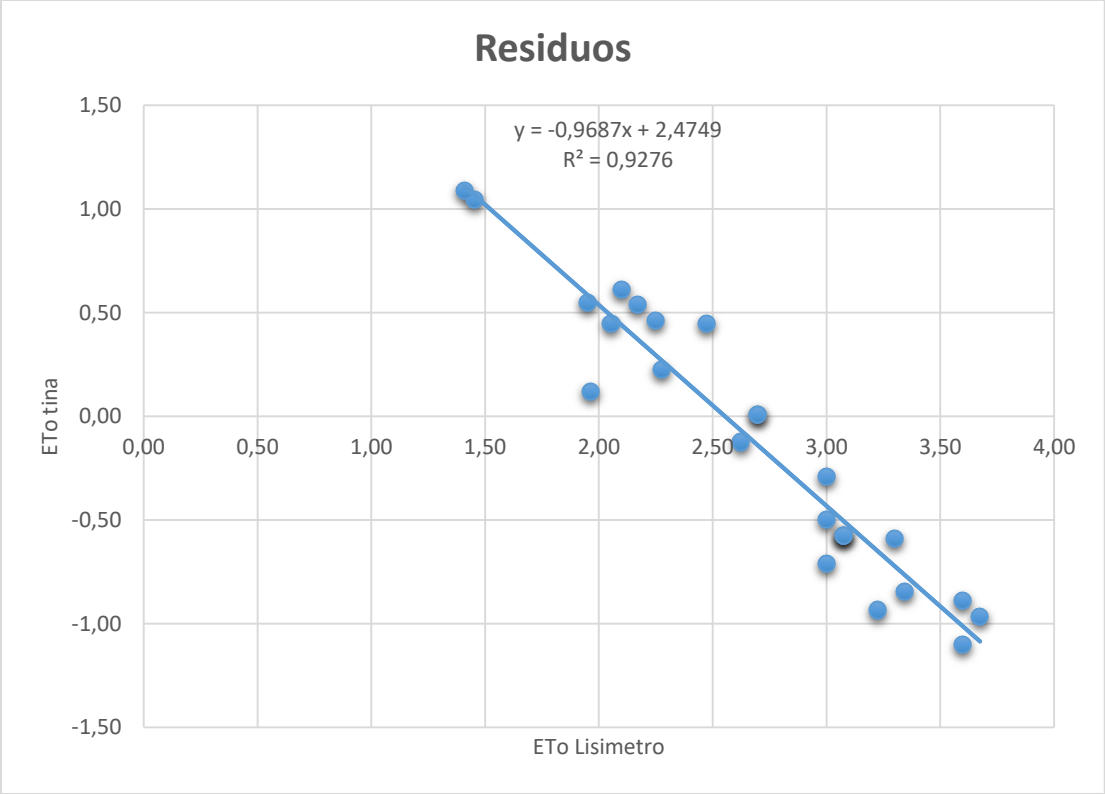
Ilustración 2 Coeficiente K_p , En El Caso De Una Cubeta De La Clase A, Para Diferentes Cubiertas y Niveles De Humedad Relativa Media y Vientos Durante Las 24 Horas (FAO).

Tabla 9 Datos De Lisímetro Ajustado:

FECHA	ETo Lisímetro (mm/día)	ETo Tina clases A (mm/día)	Residuos
30-sep-22	2,292	4,275	-1,98
29-sep-22	2,5	4,05	-1,55
25-sep-22	2,71	4,05	-1,34
22 ago. 2022	2,5	3,60	-1,10
28 sep. 2022	2,71	3,68	-0,97
1 sep. 2022	2,29	3,23	-0,94
12 sep. 2022	2,71	3,60	-0,89
25 ago. 2022	2,5	3,35	-0,85
23 sep. 2022	2,29	3,00	-0,71
27 sep. 2022	2,71	3,30	-0,59
26 ago. 2022	2,5	3,08	-0,58
9 sep. 2022	2,5	3,08	-0,58
22 sep. 2022	2,5	3,08	-0,58
24 sep. 2022	2,5	3,00	-0,50
23 ago. 2022	2,71	3,00	-0,29
20 sep. 2022	2,5	2,63	-0,13
26 sep. 2022	2,71	2,70	0,01
7 sep. 2022	2,71	2,70	0,01
27 ago. 2022	2,08	1,96	0,12
30 ago. 2022	2,5	2,28	0,23
29 ago. 2022	2,5	2,06	0,45
4 sep. 2022	2,92	2,48	0,45
3 sep. 2022	2,71	2,25	0,46
28 ago. 2022	2,71	2,17	0,54
18 sep. 2022	2,5	1,95	0,55
19 sep. 2022	2,71	2,10	0,61
24 ago. 2022	2,5	1,46	1,05
31 ago. 2022	2,5	1,41	1,09

Tabla 10 Datos Tina Ajustada:

FECHA	ETo Tina clases A (mm/día)	ETo Lisímetro (mm/día)	Residuos
30 sep. 2022	4,28	2,292	1,98
29 sep. 2022	4,05	2,5	1,55
25 sep. 2022	4,05	2,71	1,34
22 ago. 2022	3,60	2,5	1,10
28 sep. 2022	3,68	2,71	0,97
1 sep. 2022	3,23	2,29	0,94
12 sep. 2022	3,60	2,71	0,89
25 ago. 2022	3,35	2,5	0,85
23 sep. 2022	3,00	2,29	0,71
27 sep. 2022	3,30	2,71	0,59
26 ago. 2022	3,08	2,5	0,58
9 sep. 2022	3,08	2,5	0,58
22 sep. 2022	3,08	2,5	0,58
24 sep. 2022	3,00	2,5	0,50
23 ago. 2022	3,00	2,71	0,29
20 sep. 2022	2,63	2,5	0,13
26 sep. 2022	2,70	2,71	-0,01
7 sep. 2022	2,70	2,71	-0,01
27 ago. 2022	1,96	2,08	-0,12
30 ago. 2022	2,28	2,5	-0,23
29 ago. 2022	2,055	2,5	-0,45
4 sep. 2022	2,475	2,92	-0,45
3 sep. 2022	2,25	2,71	-0,46
28 ago. 2022	2,171	2,71	-0,54
18 sep. 2022	1,95	2,5	-0,55
19 sep. 2022	2,1	2,71	-0,61
24 ago. 2022	1,455	2,5	-1,05
31 ago. 2022	1,41	2,5	-1,09



GRAFICA 3 Lisímetro Ajustado



Ilustración 3 Cultivo De Referencia

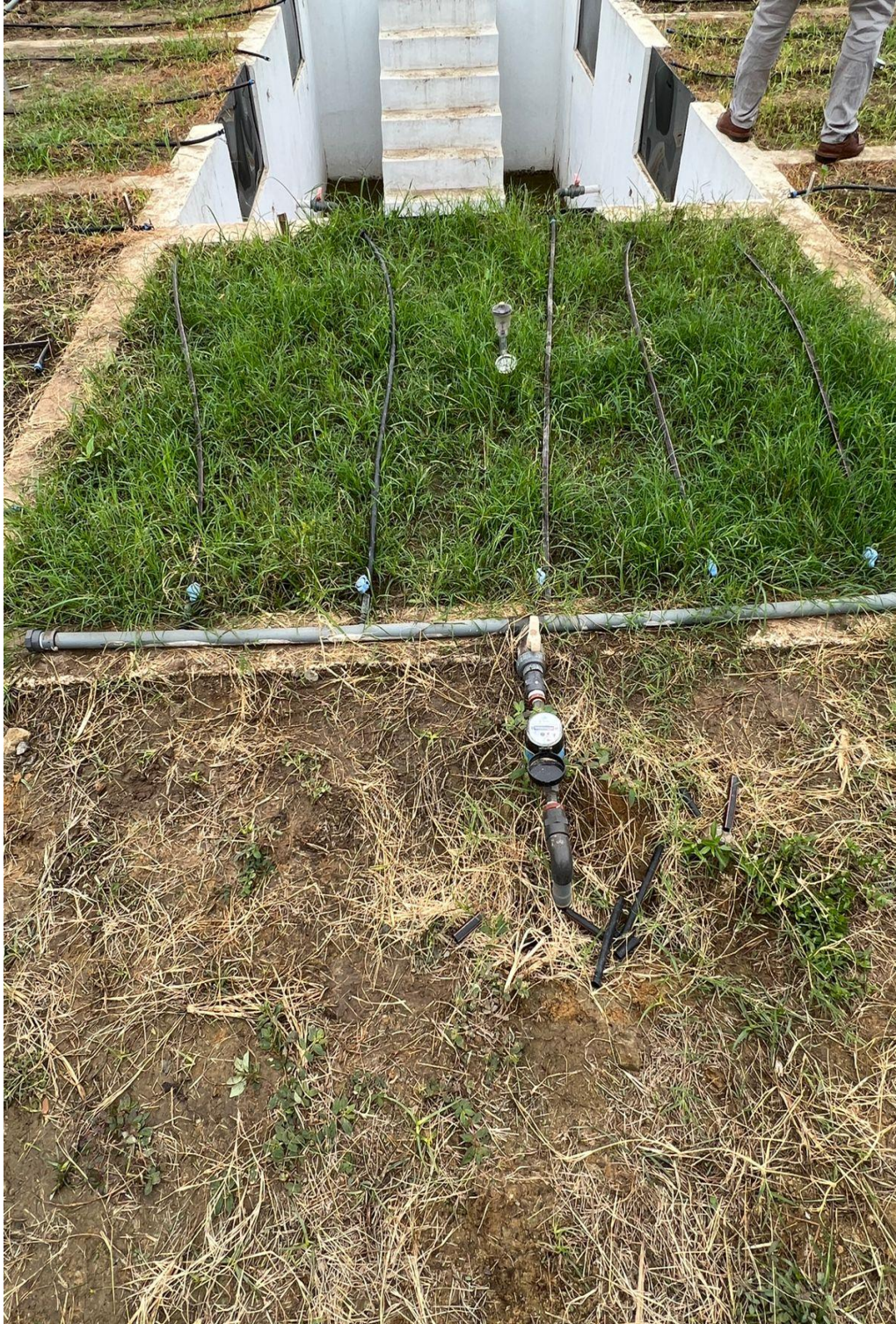


Ilustración 4 Cultivo De Referencia Con El Lisímetro.



Ilustración 5 Tina De Evaporación Con El Lisímetro y Cultivo De Referencia



Ilustración 6 Tina Nivelada



Ilustración 7 Tina Evaporación Sobre Una Base De Madera



Ilustración 8 Tina De Evaporación Cercada Con El Lisímetro y Cultivo De Referencia