



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE HIDRÁULICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN
GARRAPATA, CHONE, DURANTE EL TERCER TRIMESTRE 2023
MEDIANTE MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES**

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICA**

**AUTOR
ANDY RONEY ZAMORA GARCÉS**

**TUTOR
ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARÍA PÁRRAGA, M.Sc.**

PORTOVIEJO, FEBRERO 2025

Certificación de la Tesis

Ing. Jesús Enrique Chavaría Párraga, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

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 Chavaría Párraga, M.Sc.

C.I. 130827219-2

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F)_____

Ing. Jesús Enrique Chavaría Párraga, M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)_____

Ing. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño, M. Sc

Primer Lector

(F)_____

Ing. María Tatiana Ordoñez Zambrano, M. Sc.

Segundo 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 la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autor:

F. _____

Andy Roney Zamora Garcés

Dirección: Chone, parroquia Ricaurte, sitio El Paraíso

E-mail: azamora0262@pucesm.edu.ec

Celular: 099 664 7772

Declaración de Derecho del 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.

Autor:

F. _____
Andy Roney Zamora Garcés
C.I. 1314510262

Agradecimiento

Primero, quiero reconocer a Dios, quien ha sido mi luz en cada paso de este viaje académico. Su presencia me ha dado la fuerza y sabiduría necesaria para afrontar los retos y celebrar los logros con humildad y gratitud.

Este logro tiene como protagonista a mi madre, quien con sacrificio, esfuerzo y amor incondicional me brindó la oportunidad de cumplir este, mi más grande sueño. A ella le debo cada avance en este proceso, su ejemplo de fortaleza ha sido un faro constante que me ha guiado hasta aquí. También quiero agradecer profundamente a mi padre y hermano ya que, sin su aliento y compañía, este camino habría sido mucho más difícil.

Me siento afortunado de haber encontrado en mi hijo, Ignacio Emiliano, mi mayor inspiración. Su existencia ha sido el motor que me ha impulsado a continuar, incluso en los momentos más difíciles. Del mismo modo, el amor inquebrantable de mi esposa ha sido fundamental; su comprensión constante y estímulo diario han aportado equilibrio y fortaleza a este proceso de crecimiento tanto académico como personal.

Agradezco a los profesores de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, cuya enseñanza y dedicación contribuyeron enormemente a mi formación. Su compromiso con la educación ha dejado una huella profunda en mí. Quiero también reconocer a mi compañero Daniel, cuya ayuda y colaboración en la universidad fueron invaluable. Su disposición y compañerismo marcaron una diferencia significativa en mi recorrido académico.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, por su paciencia, orientación y sabiduría a lo largo de este proceso.

Andy Roney Zamora Garcés

Resumen

La presente investigación genera un análisis cuantitativo de la evapotranspiración de referencia en la comunidad Garrapata del cantón Chone durante el tercer trimestre del 2023, comparando la proximidad de respuesta de los métodos indirectos en contraste con un método directo para aportar en la planificación eficiente de los recursos hídricos. Para ello se consideró la parcela experimental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Campus Chone, cercana a la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAHMI) MA0162, la cual posee un lisímetro de drenaje con pasto Tifton como referencia arbustiva, para ello se consideró la lisimetría de Drenaje como método directo, y Penman Monteih FAO56 con la Cubeta evaporimétrica como métodos indirectos. Los resultados de la evapotranspiración de referencia en la zona mediante el método del lisímetro de drenaje arrojó 3.83 mm/día en julio, 2.15 mm/día en agosto y 2.11 mm/día en septiembre; en comparación con la cubeta evaporimétrica, el lisímetro mostró una diferencia de 0.48 mm/día en julio (12.6% más), 0.53 mm/día en agosto (24.7% menos), y 0.79 mm/día en septiembre (37.3% menos); y respecto al método de Penman FAO56, las diferencias fueron de 0.71 mm/día en julio (18.5% más), 0.62 mm/día en agosto (29.0% menos), y 0.75 mm/día en septiembre (35.4% menos). El método de lisimetría de drenaje es más preciso porque capta mejor las condiciones microclimáticas, el de Penman-Monteith FAO56 es adecuado en condiciones variables, pero el de la cubeta evaporimétrica presenta mayores desviaciones debido a la influencia climáticas y de los coeficientes aplicados.

Palabras clave: comparación, precisión, eficiencia, planificación hídrica.

Abstract

This quantitative research analyzes reference evapotranspiration in the Garrapata community of the Chone canton during the third quarter of 2023, comparing the proximity of response of indirect methods versus a direct method to contribute to efficient water resource planning. The study considered an experimental plot at the Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone Campus, near the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAHMI) MA0162 weather station, which has a drainage lysimeter with Tifton grass as a reference shrub. The drainage lysimetry was considered as a direct method, while the Penman-Monteith FAO56 method with the evaporation pan was used as indirect methods. The results of reference evapotranspiration in the area using the drainage lysimeter method showed 3.83 mm/day in July, 2.15 mm/day in August, and 2.11 mm/day in September. Compared to the evaporation pan, the lysimeter showed a difference of 0.48 mm/day in July (12.6% more), 0.53 mm/day in August (24.7% less), and 0.79 mm/day in September (37.3% less); and compared to the Penman FAO56 method, the differences were 0.71 mm/day in July (18.5% more), 0.62 mm/day in August (29.0% less), and 0.75 mm/day in September (35.4% less). The drainage lysimeter method is more accurate because it better captures microclimatic conditions, the Penman-Monteith FAO56 method is suitable for variable conditions, but the evaporation pan method shows greater deviations due to climatic influences and applied coefficients.

Keywords: Comparison, accuracy, efficiency, water planning

Índice

Certificación de la Tesis.....	ii
Aprobación del Tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de Derecho del Autor.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Índice de Figuras	11
Índice de Tablas	12
Índice de Formulas.....	13
Introducción	14
Materiales y Métodos.....	16
Características de la investigación	16
Características del lugar	16
Materiales.....	17
Materiales de campo	17
Materiales de oficina	17
Material biológico	17
Métodos.....	18
Manejo del experimento	18
Dimensiones del campo experimental	19

Método directo para estimar la evapotranspiración de referencia (ET _o)	20
Métodos Indirectos para Estimar Evapotranspiración de Referencia (ET _o)	21
Recolección de datos de la investigación	22
Tratamiento estadístico.....	23
Resultados	24
Información meteorológica	24
Métodos indirectos	25
Método directo	26
Comparativa entre los métodos directos e indirectos.....	26
Discusiones	28
Conclusiones	30
Recomendaciones.....	31
Bibliografía	32
Anexos	37

Índice de Figuras

Figura 1. Localización de la zona de estudio	16
Figura 2. Variación mensual de la Evapotranspiración de referencia.	27
Figura 3. Parcela experimental con el pasto Tifton de referencia.....	43

Índice de Tablas

Tabla 1: Dimensiones del lisímetro de drenaje.	19
Tabla 2: Dimensiones de la parcela	19
Tabla 3: Promedios diarios de información metereológica entre julio y septiembre	24
Tabla 4: Evapotranspiración de referencia estimada a partir de dos métodos indirectos	25
Tabla 5: Evapotranspiración de referencia estimada a partir de un método directo.	25
Tabla 6: Coeficiente Kp de una cubeta para diferentes cubiertas y niveles	37
Tabla 7: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N	38
Tabla 8: Radiación extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes	39
Tabla 9: Lectura metereológicas diarias durante el mes de julio del 2023	40
Tabla 10: Lectura metereológicas diarias durante el mes de agosto del 2023.	41
Tabla 11: Lectura metereológicas diarias durante el mes de septiembre del 2023	42

Índice de Formulas

Fórmula 1. Evapotranspiración del cultivo mediante lisímetría de drenaje.....	20
Fórmula 2. Precipitación efectiva	20
Fórmula 3. Evapotranspiración del cultivo mediante cubeta evaporimétrica.....	21
Fórmula 4. Evapotranspiración del cultivo mediante Penman Monteith.....	21
Fórmula 5. Suma estadística	23
Fórmula 6. Media Estadística	23

Introducción

La evapotranspiración de referencia es una variable climatológica que influye en la conservación de los recursos hídricos, favoreciendo mediante su análisis a los sectores agrícolas, hidrológicos e hidráulicos, ya que se usa en la planificación de cultivos, programaciones de riego, modelos de cambios climáticos orientados hacia la conservación del agua, entre otros (Rivas, 2005). Este factor señala el volumen de agua perdido por la evaporación directa y la transpiración en un espacio de suelo cubierto por un cultivo de referencia, el cual puede ser una gramínea que forma parte de una estimación teórica bajo condiciones óptimas (Martínez y Garbi, 2020).

En regiones áridas y semiáridas la evapotranspiración de referencia representa pérdidas considerables de agua a la atmósfera, resultando necesario cuantificarlas, pero las pocas estaciones meteorológicas cercanas a la región hacen complejo generar mediciones directas de esta variable (Mendoza *et al.*, 2019). En Ecuador la estimación de mediciones mensuales precisas de la evapotranspiración se ve obstaculizada, lo cual es evidente en las zonas costeras donde la falta de datos y estudios contribuyen a la poca fiabilidad de estos valores, a pesar de su importancia directa en la planificación de la gestión del agua (Ortíz y Chile, 2020).

Según Zúniga y Mendoza (2021), esta problemática podría acarrear consecuencias sobre el uso ineficiente del agua, pérdidas económicas para los agricultores, daños ambientales, y la degradación del suelo, siendo crucial estimar con precisión la evapotranspiración, para lo cual se deben emplear datos de estaciones meteorológica certificadas, implicando usar metodologías directas, como micro lisímetros, lisímetros de drenaje, tanques de evaporación, sistemas de flujos turbulentos y Bowen, o indirectas como la cubeta evaprimétrica, Penman-Monteith FAO56, Hargreaves-Samani, Turc, Blannet Criddle, entre otros, en correspondencia de las condiciones específicas en cada lugar y de los datos disponibles para su estimación (Chérrez, 2015).

Al mencionar los métodos directos nos topamos con el lisímetro de drenaje, el cual posee gran aceptación por la comunidad científica por su precisión en resultados, basado en usar un recipiente cuadrado llamado lisímetro con aristas de 1 metro, relleno de grava y arena fina con una malla en su base que permite drenar el agua aplicada después de un riego en un periodo específico de tiempo (Vera, 2023). Dentro de los métodos indirectos tenemos la cubeta evaporimétrica donde se usa un recipiente lleno de agua para registrar la cantidad evaporada en un intervalo de tiempo; y Penman Monteith FAO56 que utiliza una fórmula diseñada para integrar parámetros meteorológicos de temperatura máxima y mínima, precipitación, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y evaporización (Sánchez, 2022a; Treviño, 2004).

Los desafíos en la estimación de la evapotranspiración de referencia en zonas como la comunidad de Garrapata en Chone, podría generar incertidumbres en la planificación agrícola y en la gestión del agua, empeorando los problemas existentes por el aumento en la vulnerabilidad de los agricultores y el limitado crecimiento económico. Es crucial estimar con precisión la evapotranspiración de referencia en esta zona agrícola con potencial de desarrollo para determinar las necesidades hídricas de los cultivos, por tanto, se destaca la importancia de utilizar técnicas que aprovechen mejor los recursos disponibles y ofrezcan resultados más fiables para la planificación agrícola y la gestión del agua (Pilar *et al.*, 2012; Vega, 2011).

En base a esta problemática se propone la investigación que busca analizar la evapotranspiración de referencia en el sector Garrapata durante el tercer trimestre del 2023 mediante métodos directos e indirectos, apoyado en estimar la evapotranspiración de referencia mediante el método directo del lisímetro de drenaje; y mediante los métodos indirectos de Penman Monteith FAO56 y la Cubeta Evaporimétrica, para posteriormente comparar los resultados de la evapotranspiración de referencia entre el método directo y los indirectos.

Materiales y Métodos

Características de la investigación

La investigación aplicada se centra en la resolución de problemas específicos (Ortega, 2021) mediante un enfoque descriptivo que observa y describe características o fenómenos sin alterarlos. Además, incorpora un enfoque experimental al manipular variables controladas para analizar sus causas y efectos, respaldándose en datos cuantitativos (Velázquez, 2022).

Características del lugar

Se genera considerando durante el tercer trimestre del 2023 en una parcela de la finca PUCEM de Chone, junto a la estación metereológica MA0162 U. Católica del INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI] (2023).

Figura 1

Localización de la zona de estudio.



Fuente: GOOGLE EARTH, (2024).

Materiales***Materiales de campo***

Lisímetro de drenaje.

Depósito para agua drenada (botella de 20 lt).

Probeta plástica de 250 ml.

Machete.

Flexómetro.

Materiales de oficina

Lapiceros.

Hojas.

Impresora.

Microsoft Excel.

Microsoft Word.

Microsoft PowerPoint.

Material biológico

Obtenido del pasto tifton.

Métodos

Manejo del experimento

A continuación, se detallan los procesos involucrados en la implantación de la parcela experimental y los procedimientos realizados para obtener las muestras de datos necesarias para aplicar los métodos de cálculo propuestos.

Preparación del lisímetro.

Se limpia la parcela experimental, considerando la eliminación de maleza y reparación del lisímetro de drenaje.

Siembra.

Se siembra cepas del pasto Tifton en las áreas circundantes de 9 m² y dentro del lisímetro con un área de 1 m².

Control de malezas.

Se realiza un control mensual de malezas para prevenir la absorción de agua y fertilizantes aplicados al cultivo.

Fertilización.

Se aplicó 5 gramos de fertilizante foliar por litro de agua. El fertilizante foliar es formulado a base de micronutrientes. Para su aplicación se utilizó una bomba manual de 4 litros, la cual se aplicó todo su volumen al pasto tifton.

Riego.

Se repone manualmente el nivel de agua en el lisímetro de drenaje según la evaporación diaria registrada en la tina evaporimétrica de la estación meteorológica, considerando el uso de

tensiómetros agrícolas para controlar la humedad del suelo durante el desarrollo experimental (Reyes, 2023).

Dimensiones del campo experimental

Tabla 1

Dimensiones del lisímetro de drenaje.

Descripción	Medida
Ancho	1 m
Largo	1 m
Profundidad	1 m
Volumen	1 m ³

Tabla 2

Dimensiones de la parcela.

Descripción	Medida
Ancho	2,50 m
Largo	2,50 m
Volumen	6,25 m ³
Plantas	6 hileras cada 30 x 30 cm

Método directo para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o)

Lisímetria de Drenaje (ET_o).

Es un método basado en medir la cantidad de agua que se pierde por evaporación y drenaje en un recipiente denominado lisímetro (Sandobal, 2011). En su estimación se usa la fórmula indicada por Garay (FAO, 2008).

$$ET_o = (R + P. \text{efc.}) - AD$$

Fórmula 1. Evapotranspiración del cultivo mediante lisímetria de drenaje.

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

R = Agua de riego o por precipitaciones (mm).

P. eft. = precipitación efectiva (mm).

AD = Agua drenada durante el periodo de análisis (mm).

Precipitación Efectiva.

$$Pe = 0.8 * P - 25 \quad P > 75 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.6 * P - 10 \quad P < 75 \text{ mm}$$

Fórmula 2. Precipitación efectiva

Donde:

Pe= Precipitación efectiva (mm).

P= Precipitación (mm).

Métodos indirectos para estimar evapotranspiración de referencia (ET_o)

Cubeta Evaporimétrica.

Este método implica emplear una cubeta o tanque lleno de agua, en el cual se registra la cantidad de agua evaporada durante un intervalo de tiempo específico (Sandobal , 2014), donde según Ortiz y Chile (2020), tiende a subestimar sus variables en climas húmedos por la limitada exposición al viento y la mayor humedad relativa, y a sobreestimarla en climas secos por la mayor radiación solar y la baja humedad relativa que aumentan la evaporación. En su estimación se usar la fórmula propuesta por la FAO (2008):

$$ET_o = E_p * K_p$$

Fórmula 3. Evapotranspiración del cultivo mediante cubeta evaporimétrica.

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

E_p = Evaporación de la cubeta (mm/día)

K_p = Coeficiente de la cubeta que depende del clima (ver en anexos tabla 6).

Penman FAO56.

Se centra en un enfoque que utiliza datos meteorológicos específicos de la zona en estudio, teniendo una gran aceptación por su precisión y capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y geográficas. Para su estimación se emplea la fórmula propuesta por las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en su publicación número 56 (FAO, 2008).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + y \frac{900}{T + 273} U 2(e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0,34 * u_2)}$$

Fórmula 4. Evapotranspiración del cultivo mediante Penman Monteith.

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2/día$)

G = Flujo del calor de suelo ($MJ/m^2/día$)

T = Promedio diario de la temperatura del aire medio a 2 m de la altura ($^{\circ}C$)

U_2 = Velocidad del viento medio a 2 m de la altura (m/s-1).

e_s = Presión de vapor de saturación (KPa)

e_a = Presión real de vapor (KPa)

$e_s - e_a$ = Déficit de presión de vapor (KPa)

Δ = Pendiente de curva de presión de vapor en función a temperatura del aire (K Pa/ $^{\circ}C$)

γ = Constante psicométrica (K Pa/ $^{\circ}C$)

Recolección de datos de la investigación**Información de la estación meteorológica.**

Se levanta la información meteorológica diaria desde la estación del INAMHI cercana a la parcela experimental, considerando los factores de: temperatura máxima y temperatura mínima, precipitación, humedad relativa, radiación solar, evaporización, y velocidad del viento (Santillán y Zamora, 2021).

Lisímetros de Drenaje.

Se considera el uso de un lisímetro de drenaje, el cual es un dispositivo diseñado para estimar de forma precisa el balance hídrico de un cultivo, posibilitando mediciones de los volúmenes y flujos de agua dentro del suelo (León y León, 2023). Se mide el agua que drena a las 24 horas posterior al riego, mediante un recipiente de recolección en su base conectado mediante

una tubería PVC de 50 mm, respecto a las características físicas del dispositivo este cuenta con dimensiones en largo, ancho y alto de 1 m, con un fondo constituido por una malla con pequeños orificios, y relleno de varias capas de grava fina y gruesa (Vera, 2023).

Tratamiento estadístico.

Se lleva a cabo un análisis estadístico descriptivo, identificando datos atípicos para determinar su relevancia en la investigación, según el enfoque propuesto por Pérez (2019). Además, se empleará la suma estadística (formula 5) y la media estadística (formula 6) para calcular los valores mensuales de evapotranspiración de referencia para cada método, según lo señala Martínez (2019).

$$\sum_{i=1}^n xi = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$$

Fórmula 5. Suma estadística.

Donde:

Σ = Símbolo de sumatoria, indicando que se deben sumar todos los términos.

xi = Valor individual en el conjunto.

$i=1$ = Es el índice que indica el punto de inicio de la sumatoria.

n = Número total de valores en el conjunto.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$$

Fórmula 6. Media estadística.

Donde:

$\bar{x}$ = Media estadística.

Σxi = Suma de todos los valores individuales del conjunto de datos.

n = Número total de valores en el conjunto de datos.

Resultados

Información meteorológica

Se aprecia que durante el levantamiento de la información meteorológica desde la estación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] MA0162 PUCE U. Católica durante los meses de julio a septiembre del 2023, en julio la temperatura máxima alcanzó los 30.73 °C, la mínima descendió a 21.83 °C, la humedad relativa promedio fue del 85%, con una velocidad promedio del viento de 0.90 m/s, se registró una evaporación total de 122.15 mm/mes y una precipitación de 249.90 mm/mes, con un total de 107.30 horas de sol (ver en anexos tabla 9).

En agosto la temperatura máxima llegó a los 30.88 °C, mientras que la mínima descendió a 21.50 °C, la humedad relativa promedio fue del 86%, con una velocidad promedio del viento de 0.73 m/s, se registró una evaporación total de 97.75 mm/mes y una precipitación de 12.05 mm/mes, con un total de 76.66 horas de sol (ver en la sección de anexos tabla 10).

En septiembre la temperatura máxima llegó a los 30.27 °C, mientras que la mínima descendió a 21.02 °C, la humedad relativa promedio fue del 83%, con una velocidad promedio del viento de 0.91 m/s, se registró una evaporación total de 102.25 mm/mes y una precipitación de 0.00 mm/mes, con un total de 57.91 horas de sol (ver en la sección de anexos tabla 11).

Tabla 3

Promedios diarios de información meteorológica entre julio y septiembre del 2023

Mes	Temp. Max	Temp. Min	HR (%)	VV (m/s)	Evap. cubeta (mm/mes)	Precipitación (mm/mes)	Insolación (horas/mes)
Julio	30.73	21.83	85	0.90	122.15	249.90	107.30
Agosto	30.88	21.50	86	0.73	97.75	12.50	70.66
Septiembre	30.27	21.02	83	0.91	102.25	0.00	57.91

Métodos indirectos

Se evaluó la evapotranspiración de referencia mediante los métodos indirectos de Penman Monteith FAO56 y la cubeta evaporimétrica, considerando para ello la información climatológica obtenida en la sección anterior resumida en la tabla 3. Mediante el método de la cubeta evaporimétrica se estimó un valor en julio de 3.35 mm/día, en agosto de 2.68 mm/día y en septiembre de 2.90 mm/día; y con el método de Penman Monteith FAO56 se estimaron valores de 3.12 mm/día en julio, 2.77 mm/día en agosto y 2.86 mm/día en septiembre (ver tabla 4). En la comparativa de ambos métodos, en julio Penman FAO56 presentó una diferencia negativa de 0.23 mm/día respecto al método de la cubeta evaporimétrica (10.80% menos), en agosto presentó una diferencia positiva de 0.09 mm/día (3.20% más), y en septiembre presentó una diferencia negativa de 0.04 mm/día (1.40 % menos).

Tabla 4

Evapotranspiración de referencia estimada a partir de dos métodos indirectos.

Mes	ETo. Cubeta Evaporimétrica (mm/día)	ETo. Penman Monteith FAO56 (mm/día)
Julio	3.35	3.12
Agosto	2.68	2.77
Septiembre	2.90	2.86

Método directo

Se estimó mediante el método directo del lisímetro de drenaje la evapotranspiración de referencia en la zona, obteniendo valores de 3.83 mm/día durante julio, 2.15 mm/día en agosto, y 2.11 mm/día en septiembre como se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Evapotranspiración de referencia estimada a partir de un método directo.

Mes	ETo. Lisimetría de drenaje (mm/día)
Julio	3.83
Agosto	2.15
Septiembre	2.11

Comparativa entre los métodos directos e indirectos

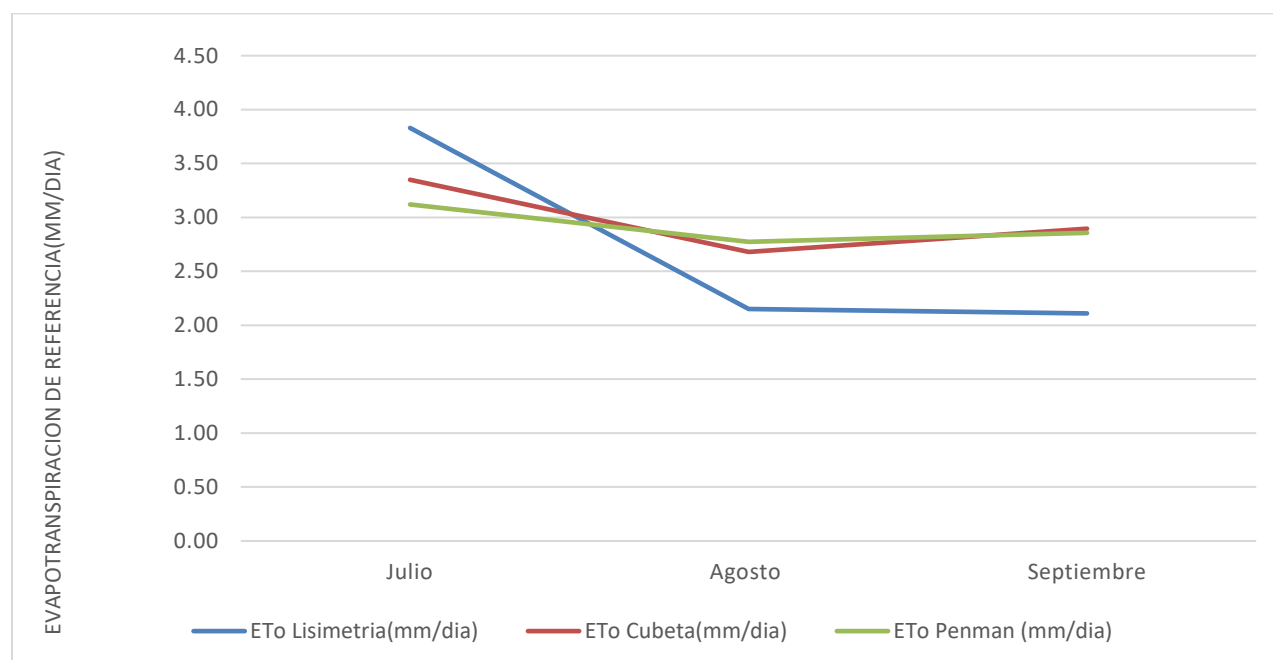
En la comparativa de ambos métodos, en julio la lisimetría de drenaje presentó una diferencia positiva de 0.48 mm/día respecto al método de la cubeta evaporimétrica (12.6% más), en agosto presentó una diferencia negativa de 0.53 mm/día (24.7% menos), y en septiembre presentó una diferencia negativa de 0.79 mm/día (37.3 % menos); las diferencias entre métodos reflejan cómo la lisimetría capta mejor la evapotranspiración real en condiciones de mayor demanda hídrica, mientras que la cubeta evaporimétrica subestima en climas húmedos o con menor radiación, destacando la influencia de factores climáticos en sus estimaciones.

Respecto al método indirecto de Penman FAO56, el método directo de lisimetría de drenaje presentó en julio una diferencia positiva de 0.71 mm/día (18.50% más) bajo alta radiación y viento; en agosto, una diferencia negativa de 0.62 mm/día (29.0% menos); y en septiembre, una

diferencia negativa de 0.75 mm/día (35.4% menos) debido a los efectos de la humedad residual y las condiciones del suelo y la vegetación. Estas diferencias se deben a la sensibilidad del método Penman FAO56 a variables climáticas generales, mientras que el lisímetro de drenaje mide directamente la evapotranspiración real.

Figura 2

Variación mensual de la Evapotranspiración de referencia.



Discusiones

Los resultados meteorológica guardan relación con la investigación de agroclimatología de Portilla (2018), quien confirman las características generales del clima costero, con temperaturas cálidas entre 21.02 °C y 30.88 °C, baja precipitación que disminuye progresivamente (249.90 mm en julio a 0 mm en septiembre), y vientos moderados (0.73-0.91 m/s); sin embargo, la humedad relativa registrada (83%-86%) es más alta de lo esperado para esta temporada, lo que puede estar influenciado por la proximidad al mar, reflejando las condiciones típicas de verano.

Los resultados de los métodos indirectos para estimar la evapotranspiración de referencia coinciden con los criterios establecidos por Navejas *et al.* (2011) y Villazón *et al.* (2021), quienes realizaron sus investigaciones en Cuba y México respectivamente, donde compararon métodos empíricos para la estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o), observando que el método FAO Penman-Monteith es el más preciso porque incluye un mayor número de variables climáticas; en contraste, el método de cubeta, aunque fácil de implementar, presenta menor precisión debido a su tendencia a sobreestimar la evapotranspiración en climas áridos, influenciado por las condiciones microclimáticas.

La comparativa entre el método directo de lisimetría de drenaje versus el método indirecto de la cubeta evaporimétrica concuerdan con el criterio señalado por Muñoz (2022) y Sentelhas *et al.* (2010), quienes indican que el método del lisímetro de drenaje es más preciso debido a su capacidad para captar directamente las pérdidas de agua por evapotranspiración bajo condiciones microclimáticas específicas, ya que la cubeta evaporimétrica proporciona una medición indirecta de la evaporación sensible a las condiciones meteorológicas, lo que conlleva a una menor precisión debido a la falta de variables climáticas.

Al comparar el método directo de lisimetría de drenaje versus el método indirecto Penman Monteih FAO56, concuerda con lo señalado por Arauzo *et al.* (2017) y Rios (2015), quienes afirman que el método indirecto de Penman FAO56 y la lisimetría de drenaje, como el Lisímetro Pasivo Capilar de Gee, proporcionan mediciones directas y continuas del drenaje en un área específica, ambos métodos presentan resultados similares, con bajas diferencias entre ellos.

Conclusiones

Respecto al objetivo específico que indica estimar la evapotranspiración de referencia a través del método directo de lisimetría de drenaje, se concluye que el método directo de lisimetría de drenaje muestra mayor precisión en la estimación de la evapotranspiración de referencia, obteniendo valores más altos en julio en comparación con los métodos indirectos, sin embargo, en agosto y septiembre los valores fueron menores, lo cual se debe a como relacionan las condiciones microclimáticas para captar con precisión la dinámica de la evapotranspiración en campo.

En relación con el objetivo específico que menciona calcular la evapotranspiración de referencia mediante métodos indirectos como Penman Monteith FAO56 y Cubeta Evaporimétrica, se puede concluir que el método indirecto de Penman-Monteith FAO56 mostró resultados más consistentes al método directo a lo largo de los tres meses, lo que sugiere una buena adaptabilidad y precisión en condiciones variables, pero el método de la cubeta evaporimétrica mostró valores más distantes, debido a que su precisión está influenciada por las condiciones climáticas y los coeficientes aplicados.

En cuanto al objetivo específico que establece comparar los resultados de la evapotranspiración de referencia entre el método directo y los indirectos, se llega a la conclusión de que, al comparar los resultados entre los métodos directos e indirectos, se observa que los métodos indirectos proporcionan valores semejantes entre ellos al estimar la evapotranspiración de referencia, pero el método directo capta de manera precisa las condiciones del entorno.

Recomendaciones

Se debe utilizar el método directo de lisimetría de drenaje en proyectos agrícolas donde sea necesaria la precisión de las condiciones específicas del clima, las características del suelo y la cobertura vegetal, especialmente en cultivos sensibles, permitiendo mediante este enfoque un monitoreo detallado de las necesidades hídricas para optimizar el riego en zonas críticas.

Los métodos indirectos como Penman-Monteith FAO56 y la Cubeta Evaporimétrica son ideales para estimar la evapotranspiración de referencia en zonas con datos meteorológicos confiables, facilitando la planificación hídrica en áreas extensas con menores requerimientos específicos, destacándose que el método de Penman-Monteith FAO56 es el que mejor se ajusta a los resultados que se puedan obtener mediante el uso de métodos directos como el lisímetro de drenaje.

Se establece la importancia de seleccionar métodos adecuados según las características del área de estudio, sentando bases para futuras investigaciones en cultivos sensibles y su manejo hídrico, donde se sugiere explorar tecnologías complementarias como sensores de humedad y drones multiespectrales.

Bibliografía

- Arauzo, M., Díez, J., Martínez, J., Valladolid, M., y Hernáiz, P. (2017). *Comparación de un método directo y un método indirecto para la estimación del drenaje y el balance hídrico en la zona no saturada*. Obtenido de estudios de la zona no saturada del suelo, volumen 7.
- Chérrez, T. (2015). *Análisis Comparativo en la aplicación de diversos métodos para el cálculo de la evapotranspiración en un mismo escenario*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89838/D-70122.pdf>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. (2008). *Evapotranspiración del cultivo (No 8)*. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- GOOGLE EARTH. (2024). *Ubicación geográfica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, Campus Chone*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-0.63099404,-80.03701319,32.01283979a,477.53869495d,35y,0h,0t,0r>
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (2023). *Publicaciones metereológica*. Obtenido de biblioteca INAMHI: <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- León, J., y León, J. (2023). *Evapotranspiración de cultivos y lisimetría*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador: http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-Evaporacio%CC%81n_de_los_cultivos.pdf
- Martínez, C. (2019). *Estadística Básica Aplicada. Capítulo 2. Investigación estadística*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WlckEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=e>

stad%C3%ADstica+b%C3%A1sica+&ots=n8QUwbbrqj&sig=DIus737MvOZvUB8U_i67
cVU3OMg#v=onepage&q=estad%C3%ADstica%20b%C3%A1sica&f=false

Martínez, S., y Garbi, M. (2020). *Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícolas del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario*. Obtenido de Universidad Nacional de La Plata, Argentina:

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/67875/mod_resource/content/1/08%20-%20Unidad%20tem%C3%A1tica%20E%20-%20Evapotranspiraci%C3%B3n%20y%20balance%20hidrológico%20del%20suelo.pdf

Mendoza, C., Ojeda, W., Sifuentes, E., Quevedo, A., Flores, H., Ramírez, C., y Ascencio, R.

(2019). Estimación de la evapotranspiración de referencia mediante atmómetro con fines de calendarización de riego. Obtenido de Revista Scielo, volumen 37:

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000400065>

Muñoz, D. (2022). *Determinación de la evapotranspiración de referencia diaria bajo invernadero con el empleo de métodos directos e indirectos, en el periodo agosto-octubre, Hcda. El Prado*. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas Ecuador:

<https://repositorio.espe.edu.ec/items/7dd01974-8fde-49f8-b666-928fe950d660>

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 Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems:

<https://www.redalyc.org/pdf/939/93917767005.pdf>

Ortega, C. (2021). *Investigación comparativa: Qué es y cómo llevarla a cabo*. Obtenido de

QuestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-comparativa/>

- Ortíz, R., y Chile, M. (2020). *Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador:
<https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Pérez, L. (2019). *Valores atípicos en los datos, ¿Cómo identificarlos y manejarlos?. Introducción*. Obtenido del Revista del Jardín Botánico Nacional, volumen 40:
<https://www.jstor.org/stable/26937051>
- Pilar, M., Zorrilla, D., y Flores, S. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad del cantón Chone*. Obtenido de Centro del Agua y Desarrollo Sustentable CADS - ESPOL:
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56772.pdf>
- Portilla, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador:
[https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17047/1/Agroclimatologia%20del%](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17047/1/Agroclimatologia%20del%20Ecuador.pdf)
- Reyes, K. (2023). *Estimación de la evapotranspiración de referencia en el sitio Garrapata del cantón chone mediante lisimetría de drenaje. (Tesina de titulación no publicada)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Rios, M. (2015). Determinación experimental de la curva del coeficiente de cultivo (kc) para el cultivo de Cúrcuma (*Cúrcuma Longa*) en el corregimiento “El Limonar” del municipio de Dagua, Valle del Cauca. Obteniod de Universidad del Valle, Colombia.
- Rivas, R. (2005). *Propuesta de un modelo operativo para la estimación de la evapotranspiración*. Obtenido de Revista Dialnet, volumen 42:
<https://www.tdx.cat/handle/10803/10336;jsessionid=93D960549A9DF0CE64F2A5DDF41DDA70#page=1>

- Sánchez, F. (2022b). *Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. Obtenido del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca, España: https://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf
- Sánchez, M. (2022a). *Métodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile*. Obtenido de Revista de Geografía Norte Grande: <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/download/46563/37421/124631#:~:text=Los%20m%C3%A1s%20utilizados%20en%20Chile,y%20el%20Blaney%20y%20el%20Penman-Monteith%20de%20la%20FAO%20para%20estimar%20la%20evapotranspiraci%C3%B3n%20de%20suelo.Image.Marked.pdf>
- Sandobal, D. (2011). *Análisis de la evapotranspiración del suelo en sistemas de micro riego*. Obtenido de Universidad de Concepción, Chile: <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/9976/1/Tesis%20Análisis%20de%20la%20evapotranspiraci%C3%B3n%20de%20suelo.Image.Marked.pdf>
- Sandobal, J. (2014). *Necesidades hídricas de pastura con manejo orgánico en la zona de influencia del canal de riego Cayambe - Pedro Moncayo*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7519/1/UPS-YT00220.pdf>
- Santillán, K., y Zamora, B. (2021). *Análisis climático y de cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19899/1/UPS%20-%20TTS293.pdf>
- Sentelhas, P., Gillespie, T., y Santos, E. (2010). *Evaluación de la metodología Penman-Monteith de la FAO y métodos alternativos para estimar la evapotranspiración de referencia con*

- datos faltantes en el sur de Ontario, Canadá*. Obtenido de Agricultural Water Management, volumen 97: <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2009.12.001>.
- Treviño, E. (2004). *Estimación de la evapotranspiración real en cultivos hortícolas bajo condiciones de invernadero*. Obtenido de Centro De Investigación en Química Aplicada: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/366/1/Eduardo%20Alfonso%20Trevi%C3%B1o%20Lopez.pdf>
- Vega, E. (2011). *Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa y Región Andina) del Ecuador*. Obtenido de Universidad Técnica de Manabí: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6087704.pdf>
- Velázquez, A. (2022). *Investigación experimental: Qué es, tipos y cómo realizarla*. Obtenido de QuestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/>
- Vera, K. (2023). *Lisimetría de drenaje en la estimación de la Evapotranspiración de Referencia para el segundo trimestre del 2023. (Tesina de titulación no publicada)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Villazón, J., Noris, P., Vázquez, R., Martín, J., y Cobo, J. (2021). Comparación de métodos empíricos para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Holguín, Cuba. Obtenido de Revista Scielo, Idesia, volumen 39: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292021000300103
- Zúniga, D., y Mendoza, R. (2021). *Gestión y manejo del agua en la agricultura*. Obtenido de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA): <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19866/CDHN22038298e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos

Tabla 6

Coefficiente Kp de una cubeta para diferentes cubiertas y niveles.

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

Fuente: FAO, (2008).

Tabla 7

Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes.

<i>Latitud</i>												
<i>Norte</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>May.</i>	<i>Jun.</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>
<i>Latitud</i>												
<i>Sur</i>	<i>Jul.</i>	<i>Ago.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Dic.</i>	<i>Ene.</i>	<i>Feb.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Abr.</i>	<i>May.</i>	<i>Jun.</i>
50°	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48°	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46°	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44°	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42°	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
40°	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35°	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30°	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25°	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20°	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15°	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13,0	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10°	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
05°	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
00°	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

Fuente: FAO, (2008).

Tabla 8

Radiación extraterrestre (R_a) para diferentes latitudes expresados en ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)²

Northern Hemisphere												Lat.	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	deg.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0	70	41.4	28.6	15.8	4.9	0.2	0.0	0.0	2.2	10.7	23.5	37.3	45.3
0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0	68	41.0	29.3	16.9	6.0	0.8	0.0	0.0	3.2	11.9	24.4	37.4	44.7
0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1	66	40.9	30.0	18.1	7.2	1.5	0.1	0.5	4.2	13.1	25.4	37.6	44.1
1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6	64	41.0	30.8	19.3	8.4	2.4	0.6	1.2	5.3	14.4	26.3	38.0	43.9
2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3	62	41.2	31.5	20.4	9.6	3.4	1.2	2.0	6.4	15.5	27.2	38.3	43.9
3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2	60	41.5	32.3	21.5	10.8	4.4	2.0	2.9	7.6	16.7	28.1	38.7	43.9
4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1	58	41.7	33.0	22.6	12.0	5.5	2.9	3.9	8.7	17.9	28.9	39.1	44.0
5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2	56	42.0	33.7	23.6	13.2	6.6	3.9	4.9	9.9	19.0	29.8	39.5	44.1
6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2	54	42.2	34.3	24.6	14.4	7.7	4.9	6.0	11.1	20.1	30.6	39.9	44.3
7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4	52	42.5	35.0	25.6	15.6	8.8	6.0	7.1	12.2	21.2	31.4	40.2	44.4
8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5	50	42.7	35.6	26.6	16.7	10.0	7.1	8.2	13.4	22.2	32.1	40.6	44.5
10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7	48	42.9	36.2	27.5	17.9	11.1	8.2	9.3	14.6	23.3	32.8	40.9	44.5
11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9	46	43.0	36.7	28.4	19.0	12.3	9.3	10.4	15.7	24.3	33.5	41.1	44.6
12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1	44	43.2	37.2	29.3	20.1	13.5	10.5	11.6	16.8	25.2	34.1	41.4	44.6
13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4	42	43.3	37.7	30.1	21.2	14.6	11.6	12.8	18.0	26.2	34.7	41.6	44.6
15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6	40	43.4	38.1	30.9	22.3	15.8	12.8	13.9	19.1	27.1	35.3	41.8	44.6
16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8	38	43.4	38.5	31.7	23.3	16.9	13.9	15.1	20.2	28.0	35.8	41.9	44.5
17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1	36	43.4	38.9	32.4	24.3	18.1	15.1	16.2	21.2	28.8	36.3	42.0	44.4
18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3	34	43.4	39.2	33.0	25.3	19.2	16.2	17.4	22.3	29.6	36.7	42.0	44.3
19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5	32	43.3	39.4	33.7	26.3	20.3	17.4	18.5	23.3	30.4	37.1	42.0	44.1
21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8	30	43.1	39.6	34.3	27.2	21.4	18.5	19.6	24.3	31.1	37.5	42.0	43.9
22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0	28	43.0	39.8	34.8	28.1	22.5	19.7	20.7	25.3	31.8	37.8	41.9	43.6
23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2	26	42.8	39.9	35.3	29.0	23.5	20.8	21.8	26.3	32.5	38.0	41.8	43.3
24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3	24	42.5	40.0	35.8	29.8	24.6	21.9	22.9	27.2	33.1	38.3	41.7	43.0
25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5	22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6	20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8	18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9	16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9	14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0	12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0	10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0	8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9	6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9	4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8	2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	35.2	37.1	37.7	37.0	36.4
36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6	0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

Fuente: Sánchez, (2022b).

Tabla 9

Lectura metereológicas diarias durante el mes de julio del 2023.

Fecha	PP (mm)	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evap (mm/dia)	Insolación (horas)
01/07/23	0.00	30.20	22.00	83	1.33	3.00	6.30
02/07/23	0.00	30.20	22.00	85	0.67	2.50	2.50
03/07/23	2.40	31.80	22.00	92	0.67	2.90	4.50
04/07/23	3.80	30.80	22.00	89	0.67	2.80	4.80
05/07/23	0.00	32.80	22.20	90	0.67	4.00	3.80
06/07/23	6.80	31.00	22.00	91	0.67	3.05	4.50
07/07/23	39.50	27.40	22.00	92	0.67	2.50	0.10
08/07/23	3.40	32.20	22.00	80	2.00	1.90	6.90
09/07/23	0.50	30.20	21.40	81	0.67	3.50	0.00
10/07/23	5.50	32.00	22.00	82	1.33	2.00	2.70
11/07/23	87.50	32.00	20.00	86	1.33	30.00	4.60
12/07/23	10.90	32.80	23.20	81	1.33	4.90	2.60
13/07/23	0.00	29.80	21.20	82	0.67	3.00	0.40
14/07/23	9.40	29.20	20.40	82	1.33	2.40	0.30
15/07/23	5.20	29.10	20.40	59	0.67	3.45	5.90
16/07/23	2.80	29.00	23.00	87	0.67	3.30	3.10
17/07/23	2.60	30.20	22.60	87	0.67	3.10	1.10
18/07/23	0.30	31.20	22.20	87	0.67	3.30	1.00
19/07/23	66.50	31.80	22.00	87	0.67	2.50	2.60
20/07/23	1.80	30.00	22.20	89	0.67	2.80	1.10
21/07/23	0.40	32.80	22.20	82	0.67	3.15	4.00
22/07/23	0.00	30.20	22.20	85	1.33	3.00	2.90
23/07/23	0.40	30.20	22.40	82	0.67	2.65	0.30
24/07/23	0.00	29.80	22.00	87	0.67	2.75	0.80
25/07/23	0.00	31.00	22.00	89	0.67	2.75	1.90
26/07/23	0.20	32.00	22.20	87	1.33	4.20	7.00
27/07/23	0.00	28.40	21.40	89	0.67	3.25	7.00
28/07/23	0.00	29.20	22.00	90	0.67	2.00	1.00
29/07/23	0.00	30.40	22.00	79	1.33	2.50	6.60
30/07/23	0.00	33.00	20.60	81	1.33	4.50	8.90
31/07/23	0.00	32.00	21.00	86	0.67	4.50	8.10

Tabla 10

Lectura metereológicas diarias durante el mes de agosto del 2023.

Fecha	PP (mm)	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evap (mm/dia)	Insolación (horas)
01/08/23	0.00	30.20	21.20	86	0.00	3.50	1.38
02/08/23	3.30	31.80	22.00	88	0.67	3.80	3.25
03/08/23	0.80	33.00	21.20	87	1.33	3.55	4.13
04/08/23	0.00	30.00	22.00	86	0.00	3.25	0.50
05/08/23	0.00	29.00	21.40	86	0.67	2.50	2.38
06/08/23	0.00	30.00	22.00	88	0.00	3.00	----
07/08/23	0.00	30.00	22.00	91	0.67	2.75	2.31
08/08/23	0.00	31.40	22.00	82	0.67	3.50	3.81
09/08/23	0.00	31.20	22.00	86	1.33	3.50	1.19
10/08/23	0.00	30.00	22.00	88	0.67	2.50	1.20
11/08/23	0.00	32.00	22.00	92	0.67	3.75	4.10
12/08/23	0.00	30.00	22.00	85	0.67	3.00	1.20
13/08/23	0.00	32.80	20.40	82	1.33	3.50	5.30
14/08/23	0.00	31.40	21.20	85	0.67	4.25	5.85
15/08/23	0.40	30.00	21.20	83	0.67	3.40	1.13
16/08/23	0.20	32.80	21.20	87	0.67	4.45	6.12
17/08/23	0.00	31.00	21.20	90	1.33	4.00	2.94
18/08/23	0.00	27.80	21.20	87	0.67	2.50	0.25
19/08/23	0.50	29.80	21.00	83	1.33	2.50	0.30
20/08/23	0.20	30.00	21.00	85	0.67	2.70	1.13
21/08/23	0.00	31.80	21.20	89	0.67	3.50	2.94
22/08/23	0.80	30.90	22.00	89	0.67	3.55	0.31
23/08/23	1.50	30.00	21.40	89	0.67	2.00	0.35
24/08/23	0.00	32.80	21.40	88	1.33	4.50	6.38
25/08/23	0.80	32.00	21.00	87	0.67	2.80	2.44
26/08/23	3.30	30.20	21.00	88	0.67	0.30	3.90
27/08/23	0.00	33.20	22.00	86	0.67	2.75	----
28/08/23	0.70	29.20	21.00	83	0.67	2.45	1.00
29/08/23	0.00	32.80	21.20	82	0.67	3.25	2.75
30/08/23	0.00	30.20	22.00	80	0.67	3.25	0.81
31/08/23	0.00	30.00	22.00	82	0.67	3.50	1.31

Tabla 11

Lectura metereológicas diarias durante el mes de septiembre del 2023.

Fecha	PP (mm)	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evp (mm/dia)	Insolación (horas)
01/09/23	0.00	32.40	22.00	87.00	0.67	3.00	3.31
02/09/23	0.00	32.20	21.20	85.00	1.33	4.00	----
03/09/23	0.00	32.00	20.40	63.00	1.33	4.25	2.91
04/09/23	0.00	29.80	21.00	88.00	0.67	2.00	1.14
05/09/23	0.00	31.00	21.20	85.00	0.67	3.50	1.49
06/09/23	0.00	31.20	21.00	85.00	0.00	3.50	2.91
07/09/23	0.00	29.40	21.00	79.00	0.00	3.00	0.00
08/09/23	0.00	32.80	21.00	84.00	0.67	4.00	2.46
09/09/23	0.00	34.20	21.00	80.00	2.00	5.00	4.06
10/09/23	0.00	32.00	20.40	86.00	0.67	4.25	----
11/09/23	0.00	29.00	21.00	83.00	0.67	3.00	0.00
12/09/23	0.00	21.80	21.00	85.00	0.67	4.00	0.92
13/09/23	0.00	24.80	22.00	82.00	1.33	6.00	6.10
14/09/23	0.00	27.20	21.20	85.00	1.33	3.00	0.00
15/09/23	0.00	29.80	21.00	83.00	0.67	2.50	0.11
16/09/23	0.00	28.80	21.00	89.00	0.67	2.50	1.02
17/09/23	0.00	32.80	20.80	90.00	0.67	-4.00	3.14
18/09/23	0.00	30.00	21.00	80.00	0.67	2.50	0.00
19/09/23	0.00	28.80	21.20	83.00	0.67	3.25	0.00
20/09/23	0.00	21.20	21.40	81.00	0.67	3.50	1.37
21/09/23	0.00	33.00	22.00	80.00	1.33	4.75	2.91
22/09/23	0.00	31.80	20.60	79.00	0.67	3.75	2.63
23/09/23	0.00	32.20	21.00	85.00	1.33	3.00	2.97
24/09/23	0.00	26.80	20.20	82.00	0.67	2.50	0.00
25/09/23	0.00	33.40	21.00	80.00	1.33	4.50	4.87
26/09/23	0.00	33.00	21.00	85.00	1.33	4.00	3.31
27/09/23	0.00	32.40	21.00	84.00	1.33	4.50	2.17
28/09/23	0.00	34.00	20.00	84.00	1.33	7.50	6.80
29/09/23	0.00	28.00	21.00	87.00	0.67	2.50	0.00
30/09/23	0.00	32.40	21.00	79.00	1.33	2.50	1.31

Figura 3

Parcela experimental con el pasto Tifton de referencia.

