



Comparación de cuatro métodos para estimar la evapotranspiración del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones tropicales.

Comparison of four methods for estimating evapotranspiration of rice (*Oryza sativa* L.) under tropical conditions.

Marlon Fernando Monge-Freile^{1*} , Martin Adrian Mendoza-Laaz¹ , John Jairo Pinargote-Alava² ,

Darío Fernando Herrera-Jácome¹

RESUMEN

La estimación precisa de la demanda hídrica resulta esencial para una gestión eficiente del riego en los cultivos agrícolas. En consecuencia, esta investigación evaluó la demanda hídrica del cultivo de arroz en el cantón Mocache, Ecuador, empleando cuatro métodos de estimación. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: T1 (lisímetro de drenaje), T2 (Penman-Monteith), T3 (tanque evaporímetro tipo A) y T4 (Hargreaves). El estudio se desarrolló durante 10 semanas, efectuándose tres mediciones semanales en los tanques experimentales. El análisis estadístico comprendió un ANOVA y la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Los resultados evidenciaron que el lisímetro de drenaje registró una evapotranspiración acumulada de 208.34 mm a lo largo del periodo experimental, desde la fase de desarrollo de la panícula hasta la maduración. Asimismo, el método Penman-Monteith presentó una estimación similar (212.54 mm), mientras que los métodos de Hargreaves y del tanque evaporímetro tipo A no mostraron diferencias estadísticas significativas respecto a los anteriores. Además, se determinaron los coeficientes de cultivo (K_c), los cuales oscilaron entre 0.94 en la semana 9 y 1.23 en la semana 13, disminuyendo posteriormente a 1.01 en la semana 18, en concordancia con los valores de referencia establecidos por la FAO. Por lo tanto, se concluye que el lisímetro de drenaje proporciona la estimación más precisa de la demanda hídrica del arroz.

Palabras clave: demanda hídrica, arroz, evapotranspiración, coeficiente de cultivo, gestión del agua.

ABSTRACT

Accurate estimation of water demand is essential for the efficient management of irrigation in agricultural crops. Consequently, this study evaluated the water demand of rice cultivation in the Mocache canton, Ecuador, using four estimation methods. A completely randomised design was employed with four treatments: T1 (drainage lysimeter), T2 (Penman-Monteith), T3 (Class A evaporation pan), and T4 (Hargreaves). The experiment was conducted over a 10-week period, with three weekly measurements performed on the experimental tanks. Statistical analysis included ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). The results showed that the drainage lysimeter recorded a cumulative evapotranspiration of 208.34 mm throughout the experimental period, from panicle development to maturation. Likewise, the Penman-Monteith method produced a similar estimate (212.54 mm), while the Hargreaves and Class A evaporation pan methods did not show significant statistical differences compared to the former. Additionally, crop coefficients (K_c) ranged from 0.94 in week 9 to 1.23 in week 13, then decreased to 1.01 in week 18, consistent with the FAO reference values. Therefore, it is concluded that the drainage lysimeter provides the most accurate estimation of rice water demand.

Keywords: water demand, rice, evapotranspiration, crop coefficient, water management.

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

²Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

*Autor de correspondencia. E-mail: mmongef@uteq.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

Oryza sativa L. es una gramínea de gran relevancia alimentaria, económica y sociocultural a nivel mundial, siendo una de las gramíneas más comercializadas (Farah et al., 2022; Lombeida García et al., 2022; Merino-Murillo et al., 2022). Este cultivo prospera especialmente en climas tropicales, donde su producción constituye un pilar fundamental para la seguridad alimentaria (Mohidem et al., 2022; Rezvi et al., 2023). En Ecuador, el arroz representa uno de los principales productos básicos de la dieta nacional y constituye una fuente importante de ingresos para miles de familias rurales vinculadas al sector agrícola. Además, su cadena productiva genera empleo directo e indirecto en actividades de cultivo, cosecha, procesamiento y comercialización, siendo estratégica para la economía agroalimentaria del país (INEC, 2022).

La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) evidencia que el país mantiene autosuficiencia en arroz, lo que le permite satisfacer la demanda interna e incluso mantener un leve margen exportable (Orbe & Cuichán, 2022). Asimismo, el Ministerio de Agricultura y Ganadería reportó que, durante 2022, el arroz ocupó el tercer puesto entre los alimentos de mayor producción nacional (SIPA, 2022), destacando la provincia de Guayas como la principal zona productora de arroz, con un 65% de la producción total, seguida de Los Ríos con un 24.4%, mientras que el resto de las provincias aportaron un 10.6% en el mismo año. En 2022, se cultivaron 337 823 hectáreas de arroz, generando una producción total de 1 561 271 toneladas (SIPA, 2022).

La eficiencia en la utilización del recurso hídrico resulta determinante para el desarrollo y la productividad del cultivo de arroz. Sin embargo, el manejo inadecuado del agua, debido a prácticas desmedidas o poco sostenibles, genera impactos ambientales significativos (Zhang et al., 2020). La optimización del uso del agua en el arrozal puede lograrse mediante la aplicación de parámetros como la evapotranspiración potencial y real, junto con el coeficiente de cultivo (K_c), los cuales permiten

calcular con precisión la lámina de riego necesaria (Neira et al., 2020; Ruiz-Sánchez et al., 2016).

En este contexto, es fundamental evaluar métodos que permitan estimar la demanda hídrica del arroz de manera precisa y eficiente. Dentro de las técnicas más aplicadas se destacan los métodos indirectos, entre ellos el modelo de Penman-Monteith, Hargreaves y el uso del tanque evaporímetro tipo A (Villazón et al., 2021), así como el método directo del lisímetro de drenaje (Moreno-Poveda et al., 2021). Cada uno de estos enfoques considera diferentes parámetros para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo).

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la demanda hídrica del cultivo de arroz y cuál de los diferentes métodos empleados es más preciso. En particular, se buscó identificar cuál de ellos se aproximó más a la realidad, destacando las limitaciones de los métodos indirectos, que tienden a sobrestimar o subestimar los valores, frente a la precisión del método directo con lisímetro de drenaje.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se desarrolló en el Campus Universitario La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicado en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo – El Empalme, dentro del recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos. El sitio experimental se localizó a una altitud de 73 m s. n. m., con coordenadas geográficas de 01°08'37" de latitud sur y 79°50'22" de longitud oeste. La zona de estudio correspondió a un clima tropical húmedo, registrando una temperatura media anual de 24.87 °C, una precipitación acumulada anual de 2223.85 mm, así como una humedad relativa del 85,48%. De igual manera, se contabilizó en promedio 898.66 horas de brillo solar anuales. En cuanto a las características edáficas, el suelo presentó topografía plana, textura franco-limosa y un pH medio de 5.5 según datos reportados por el INIAP (2019).

Diseño experimental y manejo del experimento

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos: T1 (lisímetro de drenaje), T2 (Penman-Monteith), T3 (tanque evaporímetro clase A) y T4 (Hargreaves), cada uno con 30 repeticiones. El estudio se extendió por 10 semanas, evaluando desde la semana 9 a la 18 de cultivo. Durante este período, los tanques experimentales se drenaron tres veces por semana.

El lote experimental abarcó un lote de 2016 m² con 12 parcelas distribuidas aleatoriamente. Cada parcela constó de 42 plantas, con líneas de riego separadas por 80 metros y aspersores a 6 metros entre sí. Se aplicaron 4 tratamientos en áreas de 81 m², cada uno con 30 repeticiones, asegurando condiciones controladas para el análisis estadístico. La preparación del terreno para la siembra incluyó actividades como el arado, la eliminación de maleza, la desinfección y el trazado del área. Posteriormente, se procedió a sembrar las semillas, manteniendo un espaciamiento de 20 cm entre plantas y 80 cm entre hileras. Durante la siembra, se realizaron agujeros con una profundidad de hasta 2 cm.

Métodos evaluados

a) Método del tanque evaporímetro clase A

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, se utilizó el método del tanque evaporímetro clase A, que considera las mediciones de evaporación del tanque (E_{Tan}) y el respectivo coeficiente de corrección (K_{Tan}). Los valores de K_{Tan} se establecieron en función de la humedad relativa promedio y de la velocidad del viento (Tabla 1). La ecuación empleada fue:

$$E_{To} = E_{Tan} * K_{Tan}$$

donde E_{Tan} es la evaporación del tanque (mm/día), K_{Tan} el coeficiente del tanque, y E_{To} la evapotranspiración de referencia (mm/día). (Villazón Gómez et al., 2021a).

b) Método del lisímetro de drenaje

Las mediciones se realizaron tres días por semana, registrando diariamente la humedad del suelo mediante el método gravimétrico. A partir de estos

datos, se calculó el porcentaje de humedad utilizando la siguiente fórmula (Monge-Freile et al., 2022):

$$ET_c = R + P - D \pm \Delta SW$$

Dónde:

R : Agua aportada por el riego (mm)

P : Agua aportada por la precipitación (mm)

D : Percolación profunda (mm)

ΔSW : Variación de la humedad del suelo.

c) Método de Hargreaves

El método de Hargreaves constituye una alternativa práctica y de amplia aplicación para estimar la evapotranspiración de referencia (E_{To}), en particular en áreas donde los registros meteorológicos son escasos o inexistentes. La ecuación se expresa como:

$$E_{To} = 0,0023 * (T_{ayg} + 17,8) * (T_{max} - T_{min}) * 0,5 * RA$$

Donde E_{To} es la evapotranspiración de referencia (mm/día), T_{ayg} la temperatura media diaria (°C), T_{max} y T_{min} las temperaturas máxima y mínima diarias (°C), y RA la radiación solar extraterrestre (MJ/m²/día), calculada en función de la latitud y la fecha. (Almorox et al., 2012).

d) Método de Penman-Monteith

La estimación de la evapotranspiración de referencia (E_{To}) en el presente estudio se realizó aplicando la ecuación de Penman-Monteith, utilizando los registros meteorológicos de la Estación Experimental Tropical Pichelingue (EETP) del INIAP. Para ello, se consideraron datos diarios de radiación solar, temperaturas máxima y mínima, humedad relativa (máxima y mínima), además de la velocidad del viento durante el período de evaluación. La fórmula empleada fue la siguiente:

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

Donde E_{To} es la evapotranspiración de referencia (mm/día); Δ , la pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C); R_n , la radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día); G , el flujo de calor del suelo (MJ/m²/día); γ , la constante psicrométrica (kPa/°C);

T , la temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 , la velocidad del viento a 2 m (m/s); e_s , la presión de vapor de saturación (kPa); y e_a , la presión real de vapor (kPa). (Allen et al., 2006).

Variables evaluadas

Evapotranspiración potencial (E_t)

Los datos necesarios para este método directo fueron obtenidos a partir del análisis de la información recolectada durante el ensayo (Tabla 1).

Tabla 1. Tanque evaporímetro tipo A.

Viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)	Húmeda relativa media (%)		
		Baja (<40)	Media (40-70)	Alta (>70)
Baja (< 2)	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
Modera- do (2 – 5)	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
	1000	0,70	0,80	0,80
Alta (5 – 8)	1	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
	1000	0,65	0,70	0,75
Muy alta (>8)	1	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,55	0,60	0,65

Evapotranspiración del cultivo (mm)

Las mediciones se realizaron en el sitio experimental empleando el lisímetro de drenaje como herramienta principal. Este método fue contrastado con otros enfoques ampliamente aceptados, como el tanque evaporímetro clase A, el método de Penman-Monteith y el de Hargreaves, con el objetivo de evaluar su precisión y eficacia.

Coefficiente del cultivo (k_c)

La determinación del coeficiente de cultivo (K_c) se efectuó a partir de la relación entre la evapotranspiración

del cultivo (E_{tc}) y la evapotranspiración de referencia (E_{to}). El procedimiento se basó en la siguiente expresión:

$$E_{tc} = E_{to} * K_c \rightarrow K_c = \frac{E_{tc}}{E_{to}}$$

Donde E_{tc} corresponde a la evapotranspiración del cultivo (mm/día) y E_{to} a la evapotranspiración de referencia o potencial. (Allen et al., 2006).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), y para la comparación entre promedios, la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Cabe destacar que, previo a la aplicación del ANOVA se realizó el análisis normalidad y homocedasticidad para comprobar que se cumplan dichos supuestos.

III. RESULTADOS

Evapotranspiración del cultivo de arroz (E_{tc}) utilizando el método directo del lisímetro de drenaje

En la Figura 1, se muestra la evolución de la evapotranspiración del cultivo de arroz a lo largo de las semanas, de acuerdo con las etapas definidas. Los datos indican un incremento constante en la evapotranspiración conforme avanzaba el desarrollo del cultivo. Cabe resaltar que la evapotranspiración acumulada alcanzó los 21.73 mm en la semana 9, mientras que en la semana 18 el valor acumulado fue de 208.34 mm.

Los resultados evidenciaron que, en la fase reproductiva, el E_{tc} máximo alcanzó los 9.19 mm/día, mientras que en la etapa final se registró un valor promedio de 5.02 mm/día con un pico de 1.35 mm/día. El E_{tc} acumulado fue de 658.23 mm. En cuanto a los coeficientes de cultivo (K_c), los valores inicial, intermedio y final se situaron aproximadamente en 0.90; 1.70 y 0.84 respectivamente.

La Tabla 2 muestra que el lisímetro (116.71) tiene una diferencia significativa respecto a los otros métodos, mientras que Penman (124.48), Tanque A (125.48) y Hargreaves (132.33) no presentan diferencias

significativas entre sí, pero sí con el lisímetro.

Tabla 2. Comparación entre métodos en la Etc.

Tratamientos	Media de ET
Lisímetro	116.71 a
Penman	124.48 ab
Tanque A	125.48 b
Hargreaves	132.33 b

Comparación de diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración de cultivo (ETc)

Durante las semanas 9 a 18, la evapotranspiración estimada por el método de Lisímetro aumentó de 21.73 mm a 208.34 mm, mientras que el método de Tanque evaporímetro tuvo un incremento de 18.03 mm a 214.03 mm. El método Penman presentó valores que variaron de 23.46 mm a 212.54 mm, y el método Hargreaves de 31.50 mm a 212.57 mm (Figura 2).

Comparación de diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración potencial

La Figura 3 muestra que la evapotranspiración potencial (ETo) aumentó progresivamente entre las semanas 9 y 18 del cultivo. El método Penman presentó los valores más altos, alcanzando 190.88 al final, mientras que Hargreaves reporta los más bajos, llegando a 175.23 mm. El método de Tanque A se sitúa en un rango intermedio, con un valor final de 190.88 mm.

Tal y como se muestra en la Tabla 3, los métodos Penman (100.92 mm), Tanque A (108.99 mm) y Hargreaves (109.29 mm) mostraron estimaciones similares de ETo sin diferencias estadísticas significativas.

Tabla 3. Comparación entre métodos en la Eto

Tratamientos	Comparación entre métodos
Penman	100.92 a
Tanque A	108.99 a
Hargreaves	109.29 a

Coefficiente del cultivo (Kc) de arroz

La Figura 4 muestra la evolución de los coeficientes de cultivo del arroz en función de la edad de las plantas durante el período de investigación. Este comenzó en la semana 9 con un coeficiente de 0.94, que incrementó progresivamente hasta alcanzar su valor máximo de 1.23 en la semana 13, coincidiendo con la etapa de llenado de granos. Posteriormente, en la semana 18, el coeficiente disminuyó drásticamente, llegando a 0.01.

La Figura 5 presenta la comparación entre los valores del coeficiente de cultivo (Kc) del arroz propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y los obtenidos en el presente estudio mediante el uso de un lisímetro de drenaje. Los resultados mostraron que los valores de Kc oscilaron entre 0.94 y 1.23 en el lisímetro, mientras que para los estimados por la FAO se ubicaron en un rango de 1.04 a 1.20.

Tal y como se muestra en la Tabla 4, el método de lisímetro de drenaje (1.09) y los valores de la FAO (1.10) mostraron estimaciones similares de Kc sin diferencias estadísticas significativas.

Tabla 4. Comparación entre métodos en la ETo

Tratamientos	Comparación
Kc Lisímetro	1.09 a
Kc FAO	1.10 a

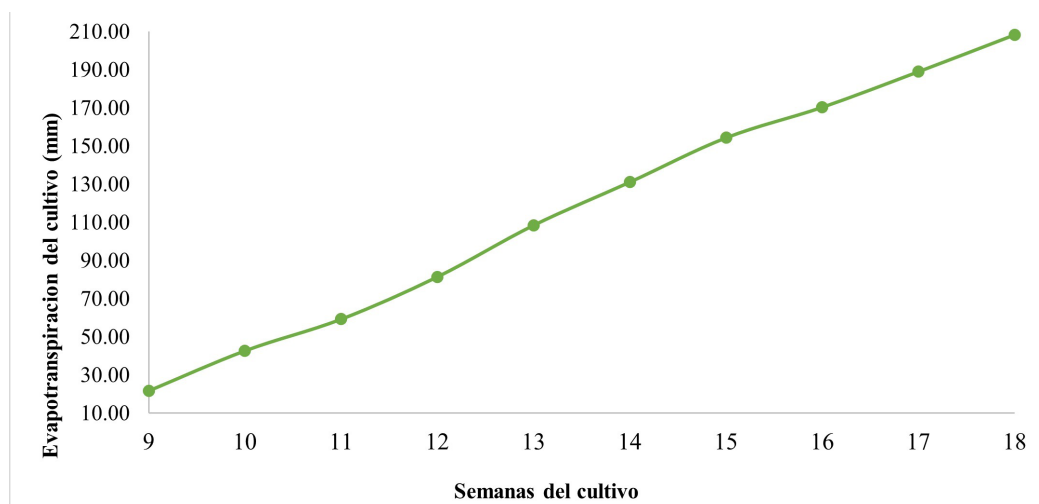


Figura 1. Evapotranspiración cultivo de arroz con lisímetro de drenaje

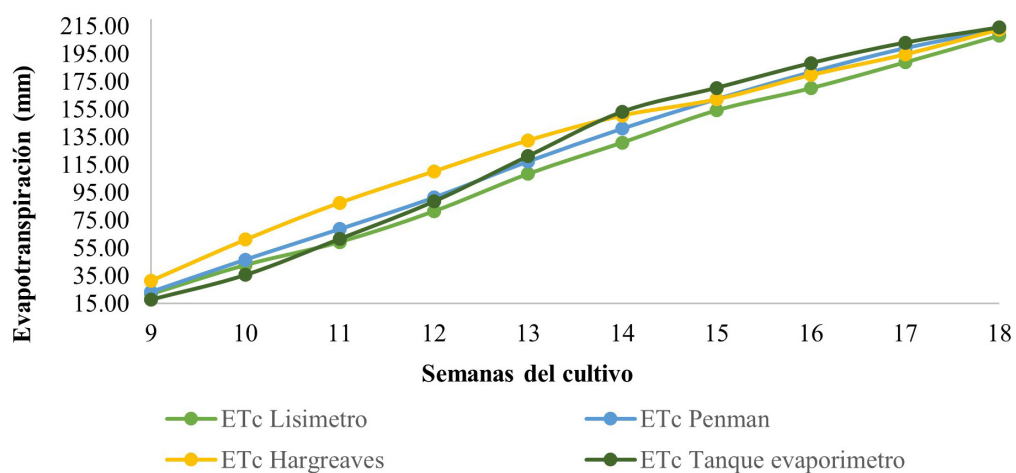


Figura 2. Evapotranspiración del cultivo (ETc) de arroz por cada método

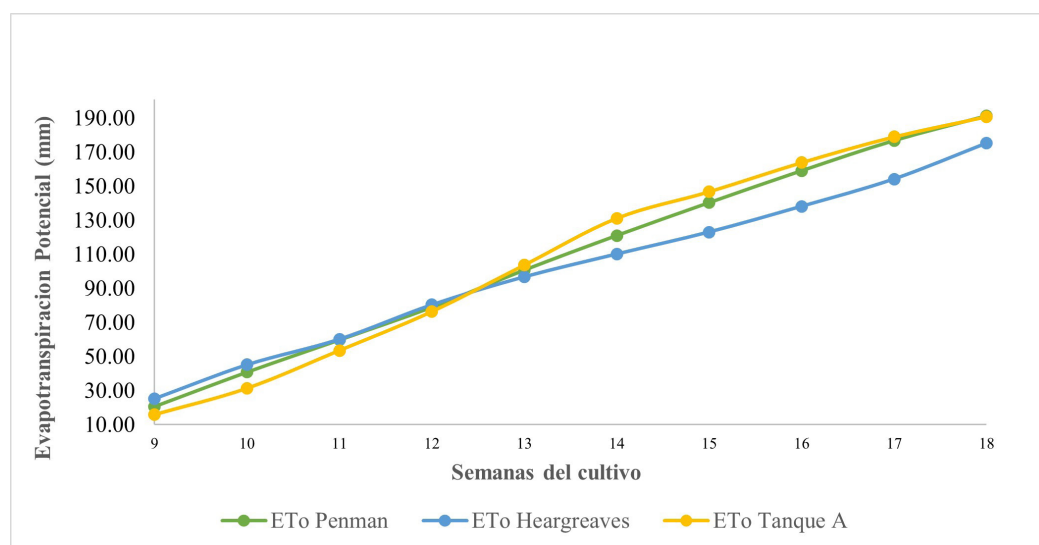


Figura 3. Evapotranspiración potencial del cultivo de arroz por cada método

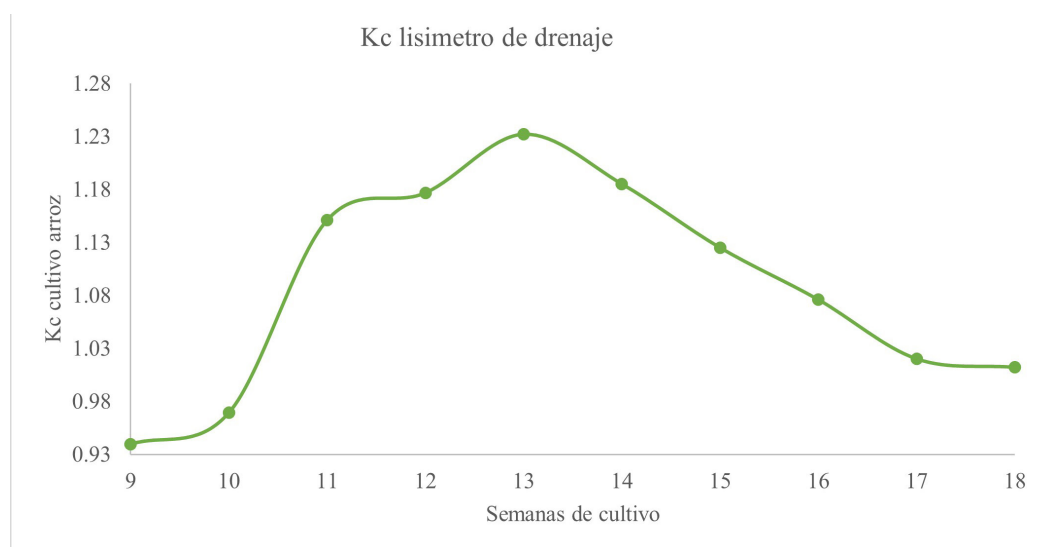


Figura 4. Coeficiente del cultivo (K_c) de arroz con lisímetro de drenaje

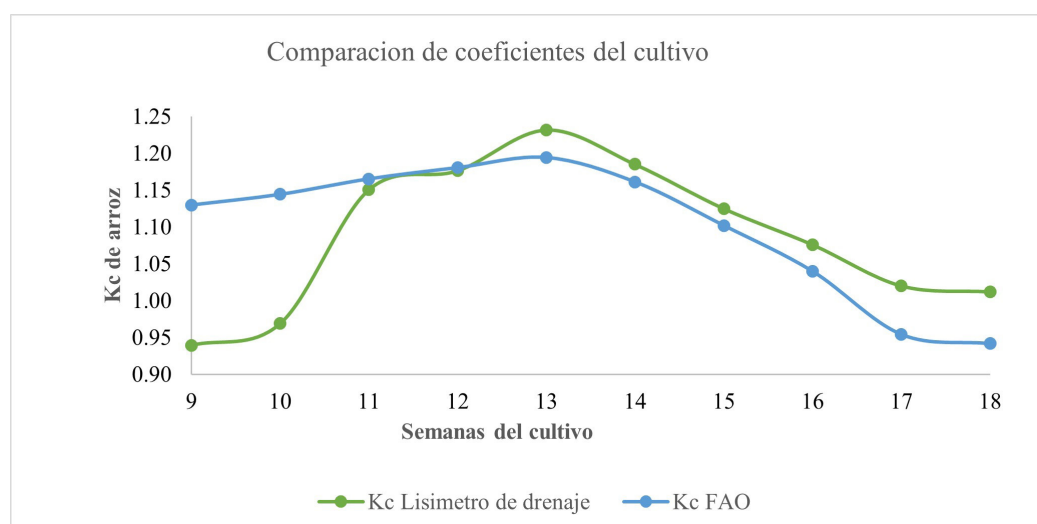


Figura 5. Coeficiente del cultivo (K_c) de arroz por cada método

IV. DISCUSIÓN

Los valores del método directo con lisímetro de drenaje en este estudio fueron significativamente menores que los estimados por los métodos indirectos, lo cual coincide con hallazgos de estudios recientes que muestran que los métodos basados en modelos tienden a sobreestimar la evapotranspiración en algunos contextos (Abeyasiriwardana et al., 2022).

El método de Penman-Monteith equation (PM) es aún considerado como estándar para la estimación de la evapotranspiración de referencia (E_{To}) debido a que integra tanto el balance de energía como el transporte turbulento de vapor, ofreciendo alta

precisión cuando los datos meteorológicos son completos (Abeyasiriwardana et al., 2022). En climas tropicales húmedos, estudios recientes han señalado que la precisión del PM puede depender de la calidad y resolución de los datos diarios de viento, humedad y radiación solar, lo cual puede explicar diferencias frente a mediciones directas locales (Man et al., 2025).

El método del tanque evaporímetro tipo A ofrece una opción más simple y práctica, pero su fiabilidad depende del coeficiente de corrección aplicado (K_{Tan}) y de las condiciones locales de viento y humedad; esto puede generar estimaciones intermedias entre las más

complejas y las más simples. Estudios comparativos recientes recalcan que la transferencia de energía en un tanque no siempre reproduce la dinámica del cultivo real, lo cual puede inducir sesgos sistemáticos (Temeepattanapongsa & Theprasit, 2015).

El método de Hargreaves equation, que requiere datos mínimos (temperaturas máxima y mínima y radiación estimada), resulta atractivo en contextos de escasez de datos, pero varias investigaciones recientes advierten que puede sobrestimar la ETo en climas húmedos sin calibración local (Man et al., 2025).

En este estudio, los métodos indirectos (PM, Tanque A, Hargreaves) no mostraron diferencias estadísticas entre sí pero sí diferenciaron del lisímetro, lo que sugiere un sesgo sistemático hacia valores mayores. Esto concuerda con resultados de otros estudios donde los métodos indirectos evidenciaron sobreestimación cuando se aplicaron sin ajuste local en cultivos de arroz o contextos similares (Liu et al., 2023). El coeficiente de cultivo (K_c) calculado a partir de la medición de lisímetro resultó aproximadamente 1.09, el cual no difirió significativamente de los valores de referencia de la Food and Agriculture Organization (FAO) (≈ 1.10). Esto sugiere que, para este cultivo y condiciones tropicales los valores estándar pueden ser apropiados siempre que se verifiquen con mediciones locales. Estudios recientes en arroz en climas similares han señalado la necesidad de valores específicos para la variedad, riego y ambiente, aunque los rangos de la FAO siguen siendo útiles como punto de partida (Liu et al., 2023).

La evolución del K_c , con valores iniciales, intermedios y finales correspondientes a las etapas vegetativa, llenado de granos y maduración respectivamente, refleja lo esperado: mayor área foliar y transpiración en la fase intermedia, seguida de reducción en la etapa final. Esta tendencia es respaldada por estudios que desagregan la E_{Tc} en arroz con diferentes sistemas de cultivo (Liu et al., 2023).

Para la gestión del riego en arroz bajo condiciones

tropicales, la combinación de mediciones directas (lisímetro) con la calibración de modelos indirectos aparece como la mejor estrategia: permite ajustar los coeficientes y corregir sesgos, lo que reduce el riesgo de sobreriego y mejora la eficiencia hídrica. Estudios recientes apoyan este enfoque de combinación híbrida (Nasir et al., 2025).

V. CONCLUSIONES

El método de Penman-Monteith presenta la mayor precisión para estimar la evapotranspiración en el cultivo de arroz, al integrar de forma equilibrada las variables climáticas que determinan el intercambio hídrico. En comparación, Hargreaves ofrece resultados aceptables, aunque con menor exactitud en condiciones de alta variabilidad atmosférica. Los valores obtenidos mediante lisímetro confirman la validez del modelo de Penman-Monteith como referencia para la estimación confiable de la demanda hídrica del cultivo.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de interés que hayan podido influir en los resultados ni en la interpretación de este estudio.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

M. F. M. -F.: Conceptualización, Metodología, Diseño experimental, Supervisión, Administración del proyecto, Curación de datos, Análisis formal, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. M. A. M.-L.: Trabajo de campo, Manejo de instrumentos experimentales, Curación de datos, Visualización (gráficos, tablas, esquemas), Interpretación de resultados, Redacción – revisión y edición. J. J. P.-Á.: Gestión de recursos, Validación, Control de calidad de datos, Análisis estadístico, Visualización comparativa, Redacción – revisión y edición. D. F. H.-J.: Apoyo en trabajo de campo, Medición y registro de datos, Curación de datos, Participación en discusiones metodológicas, Redacción – revisión y edición.

VI. REFERENCIAS

- Abeyesiriwardana, H. D., Muttill, N., & Rathnayake, U. (2022). A Comparative Study of Potential Evapotranspiration Estimation by Three Methods with FAO Penman–Monteith Method across Sri Lanka. *Hydrology*, 9(11), 206. <https://doi.org/10.3390/hydrology9110206>
- Farah Asang, S., Reyes Borja, W., Cobos Mora, F., & Andrade Alvarado, P. (2022). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción arroceras en la zona de Yaguachi, Ecuador. *Journal of Science and Research*, 7, 177–200.
- INEC. (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Liu, B., Hou, J., Ge, H., Liu, M., Shi, L., Li, C., & Cui, Y. (2023). Comparison of Evapotranspiration Partitioning and Dual Crop Coefficients of Direct-Seeded and Transplanted Rice in the Poyang Lake Basin, China. *Agronomy*, 13(5), 1218. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051218>
- Lombeida García, E. D., Medina Litardo, R., Uvidia Vélez, M., & Pazmiño Pérez, Á. (2022). Caracterización de un sistema de producción de arroz (*Oriza sativa* L.) en el cantón Babahoyo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(2), 39–47. <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.686>
- Man, R., Pan, Y., & Lv, Y. (2025). Estimation of Actual Evapotranspiration and Its Components at Hourly and Daily Scales Using Dual Crop Coefficient Method for Water-Saving Irrigated Rice Paddy Field. *Agronomy*, 15(9), 2133. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092133>
- Merino-Murillo, J. L., Mora-Alvarado, J. P., & Jiménez-Benítez, J. (2022). Emprendimiento de comunidades rurales y desarrollo local. *Dominio de Las Ciencias*, 8(1), 57–80.
- Mohidem, N. A., Hashim, N., Shamsudin, R., & Che Man, H. (2022). Rice for food security: Revisiting its production, diversity, rice milling process and nutrient content. *Agriculture*, 12(6), 741. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060741>
- Monge-Freile, M. F., Álvarez-Sánchez, A. R., Batista-Casaco, A. R., & Santana Alvarado, W. H. (2022). Necesidades hídricas del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) variedad Williams. *Ciencia y Tecnología*, 15(2), 20–24. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.581>
- Moreno-Poveda, G. A., Flórez-Roncancio, V. J., & González-Murillo, C. A. (2021). El uso del lisímetro de pesada en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) genera ahorro en fertirriego. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1940>
- Nasir, M. A. M., Harun, S., Zainuddin, Z. M., Kamal, M. R., & Rose, F. Z. C. (2025). Machine learning techniques for reference evapotranspiration and rice irrigation requirements prediction: a case study of Kerian irrigation scheme, Malaysia. *Paddy and Water Environment*, 23(4), 671–683. <https://doi.org/10.1007/s10333-025-01040-9>
- Neira Huamán, E., Ramos Fernández, L., & Razuri

- Ramírez, L. R. (2020). Coeficiente del cultivo (Kc) del arroz a partir de lisímetro de drenaje en La Molina, Lima-Perú. *Idesia (Arica)*, 38(2), 49–55. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200049>
- Rezvi, H. U. A., Tahjib-Ul-Arif, Md., Azim, Md. A., Tumpa, T. A., Tipu, M. M. H., Najnine, F., Dawood, M. F. A., Skalicky, M., & Brestič, M. (2023). Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. *Food and Energy Security*, 12(1), 1–17. <https://doi.org/10.1002/fes3.430>
- Ruiz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Dell'Amico, J., & Polón-Pérez, R. (2016). Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 178–186.
- SIPA. (2022). *Información Productiva Territorial*. MAG.
- Temeeppattanapongsa, S., & Thepprasit, C. (2015). Comparison and Recalibration of Equations for Estimating Reference Crop Evapotranspiration in Thailand. *Kasetsart Journal*, 49, 772–784.
- Villazón Gómez, J. A., Noris Noris, P., Vázquez Montenegro, R. J., Martín Gutiérrez, G., & Cobo Vidal, Y. (2021). Comparación de métodos empíricos para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Holguín, Cuba. *Idesia (Arica)*, 39(3), 103–109. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000300103>
- Zhang, S., Rasool, G., Guo, X., Sen, L., & Cao, K. (2020). Effects of Different Irrigation Methods on Environmental Factors, Rice Production, and Water Use Efficiency. *Water*, 12(8), 2239. <https://doi.org/10.3390/w12082239>