



**UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y**  
**VETERINARIA**



**CARRERA DE AGRONOMIA**

**TRABAJO DE TITULACION**

Componente practico del examen de carácter Complexivo,  
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como  
requisito previo para obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO**

**TEMA:**

Importancia del cálculo de evapotranspiración en el manejo de riego a  
nivel parcelarios.

**AUTOR:**

Juvenal Yixon Cerezo Alcívar

**TUTOR:**

Ing.Agr. Marlon Víctor Hugo Pazos Roldan, MSc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

**2024**

## RESUMEN

El cálculo de la evapotranspiración es importante para que la gestión del riego aumente la eficiencia y la productividad agrícola, la evapotranspiración (ET) es un proceso importante en el ciclo hidrológico que vincula la transpiración de agua a través del suelo y el cambio de vegetación, es importante para optimizar el uso del agua y el crecimiento de las plantas, con la ET podemos estimar cuánta agua necesita una planta para mantenerse en buenas condiciones, evitando así la escasez de agua y el exceso de riego. Este trabajo de investigación tiene como objetivo analizar la importancia del cálculo de evapotranspiración en el manejo de riego a nivel parcelarios. La metodología fue basada en investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados. Teniendo como resultados la importancia de calcular la evaporación de los cultivos ETC utilizando los métodos de Penman-Monteith y Blaney-Criddle radica en la estimación precisa de las necesidades de agua de los cultivos. Los cálculos son cruciales para una eficiente gestión del riego, optimizando el uso del agua y mejorando la productividad agrícola, un cálculo preciso de la ETC permite desarrollar estrategias de riego que aseguren el suministro adecuado de agua. Concluyendo que el cálculo de la ETC permite determinar los requerimientos hídricos del cultivo según el clima, el manejo del cultivo, el tipo de cultivo y suelo, permitiendo de esta manera hacer un uso eficiente y eficaz del agua al aplicar la lámina correcta en el momento de riego.

**Palabras claves:** Ecuaciones, evapotranspiración, hidrológico, riego, sostenibilidad.

## SUMMARY

The calculation of evapotranspiration is important for irrigation management to increase agricultural efficiency and productivity, evapotranspiration (ET) is an important process in the hydrological cycle that links the transpiration of water through the soil and vegetation change, It is important to optimize water use and plant growth. With ET we can estimate how much water a plant needs to stay in good condition, thus avoiding water shortages and excess irrigation. This research work aims to analyze the importance of calculating evapotranspiration in irrigation management at the plot level. The methodology was based on non-experimental bibliographic research using the analysis technique, magazines, current texts, articles, synthesis and summary of the collected data. Having as results the importance of calculating the evaporation of ETC crops using the Penman-Monteith and Blaney-Criddle methods lies in the accurate estimation of the water needs of the crops. The calculations are crucial for efficient irrigation management, optimizing water use and improving agricultural productivity. An accurate calculation of the ETC allows the development of irrigation strategies that ensure adequate water supply. Concluding that the calculation of the ETC allows determining the water requirements of the crop according to the climate, crop management, type of crop and soil, thus allowing efficient and effective use of water by applying the correct sheet at the time. irrigation.

**Keywords:** equations, evapotranspiration, hydrological, irrigation, sustainability

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	II
SUMMARY .....	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. Líneas de investigación.....	4
2. DESARROLLO .....	5
2.1 Marco conceptual.....	5
2.1.1 Origen del Cálculo de la Evapotranspiración .....	5
2.1.2. Generalidades de la Evapotranspiración .....	6
2.1.4. Importancia en el manejo del riego.....	10
2.1.5. Beneficios del Método Penman-Monteith .....	11
2.1.6. Adaptabilidad a Diferentes Condiciones Climáticas según Penman-Monteith.....	11
2.1.7. Base para el Desarrollo de Modelos de Riego según Penman-Monteith.....	12
2.1.8. Utilidad en Planificación Agrícola a nivel parcelario según Penman-Monteith .....	13
2.1.9. Beneficios del Método Blaney-Criddle .....	14
2.1.10. Adaptabilidad a Diferentes Condiciones Climáticas según Blaney-Criddle .....	14
2.1.11. Base para el Desarrollo de Modelos de Riego según Blaney-Criddle.....	15
2.1.12. Utilidad en Planificación Agrícola a nivel parcelario según Blaney-Criddle.....	16
2.2. Marco metodológico .....	17
2.3. Resultados .....	17
2.4 Discusión de resultados.....	18
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
3.1. Conclusiones .....	20
3.2. Recomendaciones .....	20
4.REFERENCIAS Y ANEXOS .....	21
4.1. Referencias bibliográficas.....	21
4.2. Anexos.....	27
.....	27

## Tabla de Figuras

Figura 1: Representación esquemática de la variación diurna sobre una superficie transpirante con suficiente cantidad de agua en un día soleado.....	
Figura 2: Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración de un cultivo anual.....	
Figura 3: Requerimientos de agua .....	

# 1.CONTEXTUALIZACIÓN

## 1.1. Introducción

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola y ganadera en ambientes de clima mediterráneo limitación que, ante las previsiones de cambio climático global realizadas por organismo internacionales, serán mucho mayores en los próximos años en este escenario, la eficiencia en el uso de los recursos hídricos debe ser un aspecto transversal de las políticas públicas que debe, por tanto, ser afrontado desde diversos puntos de vista en este sentido, uno de los temas claves a considerar es la eficiencia con la que las plantas usan el agua (Medrano *et al.* 2007).

Dada la importancia que reviste la radiación solar en el proceso de transpiración o consumo de agua de las plantas se procurará cubrir, así sea someramente, ese tópico el consumo de agua por las plantas (transpiración- evapotranspiración) es un proceso primordialmente controlado por la energía solar, pero modificado por la planta, el suelo y factores atmosféricos que rigen la absorción y distribución de energía en las superficies de evaporación (hojas, superficie del suelo adyacente) y por el flujo de agua y vapor de agua hacia y desde estas superficies, respectivamente (Grillo 1971).

La transpiración consiste en la vaporación del agua líquida constantes en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmosfera, por la abertura estomática, casi toda el agua adsorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales, en la evapotranspiración (ET), la evaporación y la transpiración ocurre simultáneamente y si no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos, aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie se este, esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el terreno (Muñoz 2023).

Esta investigación tiene como finalidad dar a conocer la importancia del cálculo de evapotranspiración en el manejo de riego a nivel parcelario, es el proceso mediante el cual el agua se transfiere desde la superficie de la tierra a la atmósfera, en este proceso incluye dos componentes principales la evaporación que es la transformación del agua desde superficie líquida como lagos, ríos, suelos húmedos; en vapor de agua y la transpiración es la liberación de vapor de agua desde la planta, durante la fotosíntesis, las plantas absorben agua del suelo a través de sus raíces y la transportan a sus hojas, donde se evapora a través de pequeños poros llamados estomas

## **1.2. Planteamiento del problema**

Las pérdidas por manejo se producen durante la distribución del agua, por causas atribuibles a errores del manejo del sistema, como en la mayoría de los distritos de riego el agua se distribuye de acuerdo a la demanda, es necesario hacer un programa para solicitar el agua de las fuentes de abastecimiento; en estos programas se consideran factores de pérdida que varían de acuerdo al estado de la red de distribución, sin embargo, lo más común es que se consideren constantes y mayores que los reales, lo que propicia desperdicios, ya que se solicitan volúmenes mayores que los necesarios, otros factores que inciden en estas pérdidas, son el aprovechamiento deficiente de los volúmenes almacenados en los vasos de los canales de riego y las variaciones en carga sobre las compuertas que también propician desperdicios de agua en la red ( Palacios 1991).

La disponibilidad de agua en zonas áridas y semiáridas es altamente crítica, el sector agrícola requiere de grandes volúmenes de agua para satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos, a pesar de la adquisición de sistemas de riego para tener un manejo eficiente del agua, la mayor parte de las zonas agrícolas cuentan con tecnología de riego inadecuada que genera pérdidas en la conducción y distribución del agua, el riego por gravedad a nivel parcelario tiene una baja eficiencia en su aplicación y además, no existe una programación y medición del riego para satisfacer las demandas de los cultivos en términos de oportunidad y eficiencia (Flores *et al.* 2014).

La falta de conocimiento sobre la importancia del cálculo de la evapotranspiración para cultivos parcelarios puede generar varias problemáticas que afectan negativamente la agricultura, tales como ineficiencia en el uso del agua,

reducción de la productividad agrícola, problemas del suelo, impacto ambiental negativo, aumento de costos operativos, desafíos en la gestión de recursos hídricos, la falta de datos precisos sobre la evapotranspiración dificulta la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos a nivel local y regional, lo que puede llevar a conflictos entre usuarios del agua y problemas de sostenibilidad a largo plazo.

### **1.3. Justificación**

La aportación de regadío a nivel de exportación agraria basta decir que por término medio una hectárea de regadío produce seis veces más que una hectárea de secano y genera una renta cuatro veces más superior, en las zonas de regadío en el mediterráneo y atlántico sur estas diferencias son muy superiores lo que explica a la fuerte exportación de regadío privado durante los 25 años (Canales y Martínez 2020).

El siguiente estudio es realizado con la finalidad de demostrar que los agricultores comprendan la importancia de calcular la evapotranspiración en cultivos parcelarios y utilicen herramientas y técnicas adecuadas para medirla y aplicarla en sus prácticas de riego, los beneficios de importancia que tendrán como resultado la investigación de la evapotranspiración es que proporciona datos útiles para adaptar las prácticas de riego a las condiciones climáticas cambiantes, mejorando la resiliencia de los sistemas agrícolas, es importante desde un punto científico ya que con información precisa sobre la evapotranspiración, los agricultores pueden planificar mejor sus calendarios de riego, ajustándolos a las necesidades específicas de los cultivos en diferentes etapas de crecimiento.



## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar la importancia del cálculo de evapotranspiración en el manejo de riego a nivel parcelarios.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Fundamentar la importancia del cálculo de evapotranspiración del cultivo por los métodos de Penman-Monteith; Blaney-Criddle.
- Describir los beneficios de los métodos estudiados dentro de la gestión del agua de riego a nivel parcelario.

## **1.5. Líneas de investigación**

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: Importancia del cálculo de evapotranspiración en el manejo de riego a nivel parcelarios". "En este contexto, la línea específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Conservación de suelos y agua.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Marco conceptual**

#### **2.1.1 Origen del Cálculo de la Evapotranspiración**

El estudio de la evaporación se inició a principios del siglo XX; En 1948, el físico estadounidense Howard Penman desarrolló la fórmula de Penman, que combina factores atmosféricos para calcular el cambio potencial, este modelo combina la radiación de la red, la temperatura del aire, la humedad y la velocidad del viento para predecir la evaporación. (Penman 1948).

El método de Penman fue mejorado aún más por John Monteith en 1965 y las estomas y la resistencia aerodinámica se incluyeron en el cálculo de la evaporación (ET<sub>o</sub>). La relación Penman-Monteith es el estándar para estimar la ET<sub>o</sub> y es ampliamente utilizada por organizaciones internacionales como la FAO. (Monteith 1965).

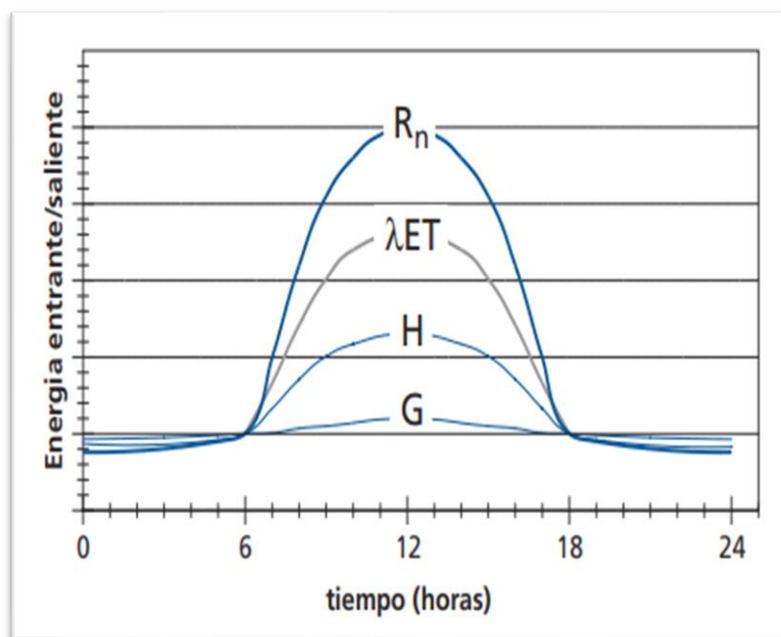
En 1998, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) adoptó la ecuación de Penman-Monteith como el método estándar para calcular la evapotranspiración de referencia, publicando directrices detalladas en el "Manual FAO 56" (Allen *et al.* 1998).

### **Aplicación de la Evapotranspiración en el Manejo de Riego**

El uso de la evapotranspiración (ET) en la gestión del riego permite determinar con precisión las necesidades de agua de las plantas que utilizan el agua de manera eficiente. Al calcular la ET, los agricultores pueden planificar el riego en el momento adecuado, reducir el desperdicio de agua y mejorar los sistemas de riego para lograr rendimientos mayores y más sostenibles (Chaves 2013).

Además, la ET ayuda a ajustar los patrones de riego a las condiciones climáticas diarias, asegurando que las plantas reciban agua óptima en cada etapa de su crecimiento. Esto no sólo mejora la vida vegetal, sino que también ayuda a conservar el agua, un recurso cada vez más escaso (Chaves 2013). En la Figura 1, se muestra la representación esquemática de la variación diurna de los

componentes del balance de energía sobre una superficie transpirante con suficiente cantidad de agua en un día soleado.



**Figura 1:** Representación esquemática de la variación diurna sobre una superficie transpirante con suficiente cantidad de agua en un día soleado.

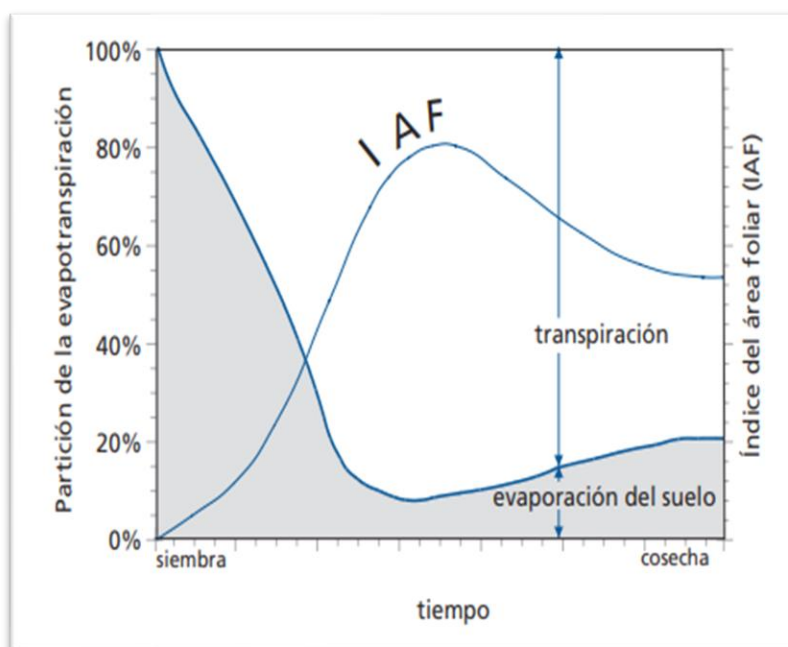
**Fuente:** Allen (2006)

### 2.1.2. Generalidades de la Evapotranspiración

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c aj}$ ).  $ET_0$  es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera,  $ET_c$  se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas,  $ET_c$  requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo ( Allen *et al.* 2006 ).

## Importancia del cálculo de ETc

La evaporación (ETc) es el proceso dual de pérdida de agua debido a la absorción desde la superficie del suelo y la transpiración hacia la planta, ocurre en condiciones estándar independientemente de las enfermedades de las plantas, la fertilización adecuada y las buenas condiciones del suelo y el agua, y puede lograr el máximo en su producción con las condiciones climáticas del sitio, ETc toma en cuenta datos climáticos y factores relacionados con cada producto, como la reflectividad y la resistencia al viento activadas en el método Penman-Monteith, porque en ocasiones falta de información del producto, como son datos sobre velocidad del viento, estructura de drenaje, contenido de agua del suelo, índice de área foliar, altura de la planta y estructura que pueden determinar su efecto, este método se utiliza en el cálculo de la ETo. En la Figura 2, se muestra la repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual.



**Figura 2:** Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración de un cultivo anual

**Fuente:** Allen (2006)

### 2.1.3. Métodos de Cálculo de ETc

#### Método de Penman-Monteith

Un panel de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman Monteith como nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y se aconseja sobre los procedimientos para el cálculo de los varios parámetros que la formula incluye. La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento.

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

Fuente: (Butrón 2017).

Dónde,  $ET_o$  es la Evapotranspiración de referencia ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),  $R_n$  representa la radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ),  $R_a$  es la radiación extraterrestre ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),  $G$  es el flujo del calor de suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ),  $T$  es la temperatura media del aire a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  representa a la velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $(e_s)$  es la presión de vapor de saturación (kPa),  $(e_a)$  es la presión real de vapor (kPa),  $(e_s - e_a)$  es el déficit de presión de vapor (kPa),  $\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$  es la constante psicométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), esta ecuación determina la evapotranspiración de una superficie hipotética de referencia y proporciona un valor estándar con el cual se puede comparar la evapotranspiración de otros cultivos en diversos periodos del año o en otras regiones, no obstante, esta ecuación requiere de datos meteorológicos que muchas veces no están disponibles para su uso. Por ello se opta por otras metodologías que, aunque no son tan precisas presentan una correlación muy grande con la metodología FAO Penman-Monteith (Butrón 2017).

## Método de Blaney-Criddle

La forma general de la formula FAO Blaney-Criddle es:

$$ET_o = a + b * [p * (0,46 * T + 8,13)] * [1 + 0,1 * (\frac{Elev}{1000})]$$

**Fuente:** (Romero *et al.* 2019).

Dónde: a y b = las variables a y b son factores de corrección para ajustar la estimación de la evapotranspiración; P = es el porcentaje mensual de horas de luz con respecto a latitud y mes del año; T= es la temperatura media diaria, °C, para el período considerado; Elev = es la elevación del sitio, msnm (Romero *et al.* 2019).

El factor a es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$a = 0,0043HR_{min} - N_{ratio} - 1,41$$

Dónde: HRmin= es la humedad relativa mínima, %; Nratio= es la fracción de insolación actual sobre posibles horas de brillo solar.

El factor b puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación de regresión:

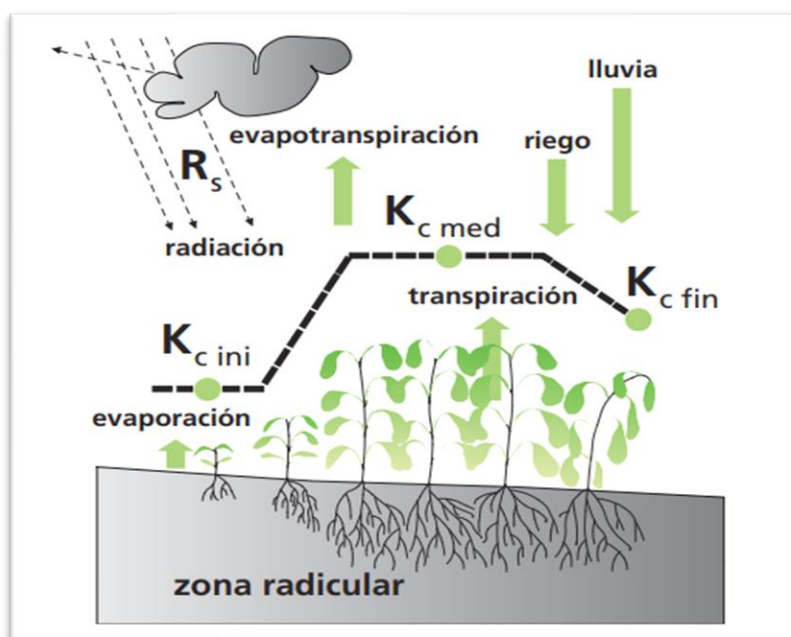
$$b = 0,81917 - 0040922HR_{min} + 1,0705N_{ratio} + 0,065649U_{dia} - 0,0059684HR_{min}N_{ratio} - 0,0005967HR_{min}U_{dia}$$

Dónde: U<sub>dia</sub>= velocidad media del viento durante el día, m. s<sup>-1</sup>; a 2 m de altura.

Además de estos métodos también para calcular la (ETC) también existen los siguientes métodos; Método de Hargreaves, Método de Thornthwaite, Método de Makkink, Método de Jensen-Haise

#### 2.1.4. Importancia en el manejo del riego

Controlar el riego equilibra el crecimiento y la reproducción de las plantas, ya que el potencial de crecimiento es perjudicial para la composición química de algunos cultivos. Además, el agua se ha vuelto más importante con el tiempo porque es un recurso muy limitado y no siempre está disponible. Actualmente, existen mayores restricciones en el uso de esta agua, el tratamiento de riego puede ahorrar un 50% de agua y el agua de riego puede afectar la altura de las plantas, el estado de las hojas, el peso y la calidad de los frutos en un 10-15%, con el paso de los años, las investigaciones sobre el agua La eficiencia en el uso ha aumentado y las inversiones en investigación para desarrollar planes y sistemas de riego que mejoren la producción de alimentos y la gestión de los recursos hídricos (Deaquiz *et al.* 2014). En la Figura 3, se muestra los requerimientos de agua del cultivo.



**Figura 3:** requerimientos de agua

**Fuente:** Allen (2006)

Con el riego suplementario es posible incrementar la productividad en hasta un 50 %, por lo que su implementación evita buena parte de los riesgos de la producción agrícola durante los largos periodos de sequía que suele sufrir el territorio nacional, para la utilización de este tipo de riego sustentable son necesarias las adaptaciones por zona, contar con personal capacitado y con una fuerte intervención pública (Marano *et al.* 2023).

### **2.1.5. Beneficios del Método Penman-Monteith**

El método Penman-Monteith es conocido por su alta eficiencia en la estimación de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>). Este método proporciona una estimación precisa de la ET<sub>o</sub> en diferentes estaciones combinando información meteorológica detallada como la radiación solar, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento (López *et al.* 2009).

La confiabilidad del método Penman-Monteith está comprobada por su capacidad de adaptarse a diferentes condiciones climáticas y topográficas; Esto ha sido confirmado por muchos estudios, demostrados por la aplicación continua y resultados consistentes utilizando el método por parte de organizaciones internacionales como la FAO, hace recomendaciones como estándar para la gestión del agua en la agricultura (Braun y Cob 2000).

El uso generalizado del método Penman-Monteith se debe a sus principios físicos que garantizan resultados precisos y reproducibles, aunque se necesitan datos meteorológicos precisos, su precisión para predecir ET<sub>o</sub> supera a otros métodos más simples, lo que lo convierte en una herramienta importante para la gestión del agua en sistemas agrícolas. (Ortega *et al.* 1996).

### **2.1.6. Adaptabilidad a Diferentes Condiciones Climáticas según Penman-Monteith.**

El método Penman-Monteith es altamente adaptable a diferentes condiciones climáticas, lo que lo convierte en una herramienta útil para la gestión del agua agrícola, ambiente, su flexibilidad es crucial para su papel en el mundo. (Lujano *et al.* 2019).

La capacidad del método Penman-Monteith para adaptarse a diferentes climas depende de tener en cuenta factores como la radiación solar, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, que son factores importantes en el cálculo de la ET<sub>o</sub> para cada región, para poder utilizar el método correctamente. disponible. En áreas tan diversas como desiertos cálidos y zonas costeras, este enfoque integral garantiza la confiabilidad de los patrones visibles en diferentes elevaciones (Valdivieso 2017).



Estudios recientes han demostrado que el método Penman-Monteith sigue siendo preciso en climas extremos, por ejemplo, estudios en regiones áridas y semiáridas han confirmado la utilidad de este método para estimar la  $ET_0$ , que es crucial para la planificación del riego en estas áreas, esta variante permite a los agricultores hacer esto mejorando el uso del agua y mejorando la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de riego (Herrera 2018).

Además, el método Penman-Monteith es compatible con diferentes dimensiones temporales y espaciales, puede utilizarse tanto a nivel de campo como en estudios regionales, facilitando la gestión del agua en diversas áreas de la agricultura, la capacidad de integrar información específica mejora las predicciones, permitiendo utilizar diferentes métodos de gestión del agua en la agricultura. (Celi y Chavez 2022).

#### **2.1.7. Base para el Desarrollo de Modelos de Riego según Penman-Monteith**

La ecuación de Penman-Monteith es una estimación clave de la evapotranspiración ( $ET_0$ ) realizada por los agrónomos, una parte importante de la planificación del riego. Al integrar factores climáticos como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la velocidad del viento, esta fórmula proporciona una base precisa para diseñar sistemas de riego que optimicen el uso del agua (Castro *et al.* 2008).

La información precisa y actualizada es crucial para obtener una mayor exactitud de la ecuación de Penman-Monteith, una medición bastante exacta de estas variables permite obtener una  $ET_0$  muy cercana a la real, lo que permite que los sistemas de riego se satisfagan las necesidades de los cultivos con bastante exactitud, aumentando la productividad de los cultivos (García 2022).

Implementar una programación de riego basado en la ecuación de Penman-Monteith implica evaluar las propiedades del suelo y las plantas, se deben tener en cuenta factores como la capacidad de retención de agua y la resistencia de las plantas, de esta manera, se puede diseñar un sistema de riego que ahorre agua y fomente una mejor producción (Castro *et al.* 2008).

### **2.1.8. Utilidad en Planificación Agrícola a nivel parcelario según Penman-Monteith.**

El método Penman-Monteith es invaluable en la planificación agrícola a nivel de campo debido a su precisión en la estimación de la evapotranspiración ( $et_0$ ), al analizar diversos parámetros como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la velocidad del viento, los agricultores pueden calcular con precisión la cantidad de agua que necesitan, esta comprensión es importante al diseñar un sistema de riego que ahorre agua y aumente la productividad (Muños 2024).

La capacidad del método Penman-Monteith para combinar información específica del microclima de un campo agrícola permite el ajuste en tiempo real de los procesos de riego esto asegura que cada planta reciba la cantidad adecuada de agua, mejorando su crecimiento y desarrollo, este ajuste también ayuda a prevenir el riego excesivo o insuficiente, lo que puede tener un impacto negativo en la salud del suelo y de las plantas (Muños 2024).

Al planificar a nivel de parcela, el método Penman-Monteith también facilita la implementación de tecnologías de riego como el riego y los sistemas automáticos, al proporcionar información precisa sobre las necesidades de agua de los cultivos, los sistemas de riego pueden diseñarse para distribuir el agua de manera eficiente y en el momento adecuado, reduciendo el desperdicio y los costos operativos, esto es especialmente útil en áreas de bajos ingresos (Oleas 2024).

Finalmente, el uso del método Penman-Monteith en la planificación agrícola a nivel de campo contribuye a la protección del medio ambiente. Cambiar el uso del agua y reducir la dependencia de los recursos hídricos reduce el impacto ambiental de la agricultura, esto es importante para proteger la salud a largo plazo de las especies locales y garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola (Oleas 2024).

### **2.1.9. Beneficios del Método Blaney-Criddle**

El método Blaney-Criddle proporciona una alternativa sencilla y útil al pronóstico aéreo de la vegetación, especialmente en regiones donde los datos meteorológicos son limitados, este método utiliza datos básicos como la temperatura promedio diaria y la duración del día, lo que facilita su implementación sin la necesidad de equipos costosos o estaciones meteorológicas complejas (Ortega *et al.* 1997).

Además de su simplicidad, el método Blaney-Criddle se adapta a una variedad de climas y tipos de cultivos, el cambio de método permite a los agricultores y planificadores rotar cultivos en diferentes etapas de desarrollo, mejorando efectivamente la tasa de riego y contribuyendo a una gestión eficiente del agua (Ortega *et al.* 1997).

El uso del método Blaney-Criddle promueve la agricultura sostenible al desviar el agua utilizada para el riego, al proporcionar una herramienta práctica y rentable, este sistema facilita el riego eficiente, reduce el desperdicio de agua y aumenta la productividad agrícola en áreas con recursos hídricos limitados (Romero *et al.* 2019).

### **2.1.10. Adaptabilidad a Diferentes Condiciones Climáticas según Blaney-Criddle.**

El método Blaney-Criddle destaca por su adaptabilidad a diferentes climas, lo que lo hace adecuado para muchas zonas agrícolas, con base en datos básicos como la temperatura promedio diaria y la duración del día, se puede utilizar para la temporada de palmeras, el área de palmeras, la humedad y la temperatura, lo que la convierte en una excelente herramienta de gestión (Piñas 2017).

Este ajuste permite a los agricultores modificar los cultivos según las condiciones locales, mejorando efectivamente las estimaciones de evapotranspiración, por ejemplo, en climas áridos los coeficientes pueden ajustarse para reflejar niveles más altos de aireación, mientras que en regiones húmedas el ajuste puede tener en cuenta la necesidad de menos ventilación y la temperatura del suelo (Piñas 2017).

Además, el método Blaney-Criddle se adapta bien a los cambios estacionales y a los patrones climáticos, los agricultores pueden recalculan los programas de riego de cultivos en función de los cambios de temperatura y duración del día a lo largo del año, asegurando que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua en cada etapa de su crecimiento (Viera y gallardo 2019).

La capacidad de adaptarse a diferentes climas y condiciones hace que el método Blaney-Criddle sea una herramienta útil para la planificación a largo plazo en la agricultura, ayuda a los administradores del agua y a los agricultores a desarrollar estrategias de riego sostenibles que utilicen el agua de manera más eficiente, reduzcan el impacto ambiental y aumenten la resiliencia al cambio climático (Viera y gallardo 2019).

#### **2.1.11. Base para el Desarrollo de Modelos de Riego según Blaney-Criddle**

Además, el método Blaney-Criddle proporcionan bases sólidas se adapta bien a los cambios estacionales y a los patrones climáticos, los agricultores pueden recalculan los programas de riego de cultivos en función de los cambios de temperatura y duración del día a lo largo del año, asegurando que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua en cada etapa de su crecimiento (Chicaiza 2020).

Al aplicar modelos de riego basados en Blaney-Criddle, es importante adaptar el coeficiente de rendimiento ( $K_c$ ) a las condiciones locales y a los diferentes tipos de cultivos, estos coeficientes varían según el desarrollo de la vegetación y las características climáticas específicas de la región, el cambio climático indica que las necesidades hídricas de los cultivos están bien cubiertas, el agua se utiliza eficientemente y se promueve la agricultura sostenible (Chicaiza 2020).

La simplicidad de la ecuación de Blaney-Criddle también facilita su integración en sistemas de riego y su adaptación a agricultores con diferente experiencia. La facilidad con la que se pueden calcular e interpretar los resultados permite a los agricultores ajustar las prácticas de riego de forma rápida y eficiente, esto da como resultado mejoras significativas en la eficiencia del agua, reducción del desperdicio y aumento de la productividad de los cultivos (Ramírez 2015).

El desarrollo de sistemas de riego basados en Blaney-Criddle es beneficioso para la gestión del agua a nivel regional y nacional. Al proporcionar a los planificadores herramientas confiables y fáciles de usar, pueden planificar mejores programas de riego. Esto es particularmente importante en regiones con escasez de agua donde una buena gestión del riego puede tener un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la protección ambiental (Ramírez 2015).

#### **2.1.12. Utilidad en Planificación Agrícola a nivel parcelario según Blaney-Criddle.**

El método Blaney-Criddle es útil para la planificación agrícola a nivel de campo debido a su simplicidad y flexibilidad, basándose en datos básicos, como la temperatura diaria promedio y la duración del día, los agricultores pueden estimar las tasas de evaporación de referencia ( $ET_0$ ) sin la necesidad de herramientas complejas, esto cambia el uso del agua disponible, facilitando la implementación de sistemas de riego para pequeñas y medianas explotaciones (Aman 2022).

Este método es especialmente valioso en áreas de bajos ingresos, su uso no requiere conocimientos significativos, lo que lo hace adecuado para agricultores en áreas remotas o con infraestructura deficiente, al proporcionar una herramienta fácil de usar, Blaney-Criddle ayuda a los agricultores a gestionar mejor el riego, garantizando un mejor riego de los cultivos (Aman 2022).

A nivel de planificación, la capacidad de Blaney-Criddle para adaptarse a diferentes tipos de plantas y climas es importante, los agricultores pueden ajustar los coeficientes según las necesidades específicas de sus cultivos, esto permite una mejor gestión del riego, una mayor producción y productividad y un uso más eficiente de los recursos hídricos (Hernández 2015).

Además, el método Blaney-Criddle facilita la toma de decisiones durante el crecimiento del cultivo, los agricultores pueden planificar mejor su riego proporcionando estimaciones de las necesidades de riego en diferentes etapas de desarrollo, esto es importante para prevenir el estrés hídrico y garantizar que las plantas reciban el agua que necesitan en situaciones críticas. (Hernández 2015).

Finalmente, aplicar el método Blaney-Criddle a nivel de parcela contribuye a la agricultura sostenible. Mejorar el uso del agua reduce el desperdicio y mejora la

conservación de recursos importantes, esto es especialmente importante en zonas con escasez de agua donde una buena gestión del riego puede mejorar significativamente la producción agrícola sostenible a largo plazo (Zapara 2014).

## **2.2. Marco metodológico**

Para el presente documento se reúne información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación.

Se identificaron temas relevantes en la importancia del cálculo de evapotranspiración en el manejo de riego a nivel parcelario. Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados.

## **2.3. Resultados**

La importancia de calcular la evaporación de los cultivos ETC utilizando los métodos de Penman-Monteith y Blaney-Criddle radica en la estimación precisa de las necesidades de agua de los cultivos.

Los resultados de estos cálculos son cruciales para una eficiente gestión del riego, optimizando el uso del agua y mejorando la productividad agrícola, un cálculo preciso de la ETC permite desarrollar estrategias de riego.

La alta resolución de Penman-Monteith permite una gestión eficiente de los recursos hídricos, garantizando que cada ubicación reciba exactamente la cantidad de agua que necesita, esto reduce el desperdicio de agua y mejora los sistemas de riego.

Blaney-Criddle es útil en áreas donde el acceso a información científica detallada es limitado, su simplicidad y facilidad de uso lo hacen ideal para agricultores que necesitan una estimación rápida y confiable de las necesidades de agua de sus cultivos.

## 2.4 Discusión de resultados

La importancia de la evaporación de cultivos (ETC) y los métodos de Penman-Monteith y Blaney-Criddle radica en su capacidad para proporcionar estimaciones precisas de las necesidades de agua de los cultivos. Estos resultados coinciden con lo dicho por (Chaves 2013), el uso de la evapotranspiración (ETC) en la gestión del riego permite determinar con precisión las necesidades de agua de las plantas que utilizan el agua de manera eficiente, al calcular la ETC, los agricultores pueden planificar el riego en el momento adecuado, reducir el desperdicio de agua y mejorar los sistemas de riego para lograr rendimientos mayores y más sostenibles.

El método Blaney-Criddle es sencillo, es adecuado para áreas con datos limitados, su simplicidad permite a los agricultores obtener estimaciones confiables de ETC sin la necesidad de equipos avanzados. Concuerdando con (Ortega *et al.* 1997), el método Blaney-Criddle proporciona una alternativa sencilla y útil especialmente en regiones donde los datos meteorológicos son limitados, este método utiliza datos básicos como la temperatura promedio diaria y la duración del día, lo que facilita su implementación sin la necesidad de equipos costosos o estaciones meteorológicas complejas.

Los métodos de Penman-Monteith y Blaney-Criddle son esenciales para una gestión eficaz del agua de riego a gran escala, con su alta resolución, la cantidad de agua según las necesidades de las plantas, elegir el área de uso y reducir el desperdicio. Esto se concuerda con lo dicho por (Chicaiza 2020), al aplicar modelos de riego basados en Blaney-Criddle y Penman-Monteith, es importante adaptar el coeficiente de rendimiento ( $K_c$ ) a las condiciones locales y a los diferentes tipos de cultivos, estos coeficientes varían según el desarrollo de la vegetación y las características climáticas específicas de la región, el cambio climático indica que las necesidades hídricas de los cultivos están bien cubiertas, el agua se utiliza eficientemente y se promueve la agricultura sostenible.

Blaney-Criddle, por otro lado, es útil en regiones donde los datos meteorológicos son limitados, su facilidad de uso y su bajo requerimiento de conocimientos lo hacen accesible a muchos agricultores, permitiendo una adecuada planificación del riego sin necesidad de equipos complejos. Esto

concuenda con lo dicho por (Ramírez 2015), el desarrollo de sistemas de riego basados en Blaney-Criddle es beneficioso para la gestión del agua a nivel regional y nacional. Al proporcionar a los planificadores herramientas confiables y fáciles de usar, pueden planificar mejores programas de riego. Esto es particularmente importante en regiones con escasez de agua donde una buena gestión del riego puede tener un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la protección ambiental.



## **3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **3.1. Conclusiones**

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo permite determinar los requerimientos hídricos del cultivo según el clima, el manejo y el tipo de cultivo, permitiendo de esta manera hacer un uso eficiente y eficaz del agua al aplicar la lámina correcta en el momento pertinente de riego.

Los métodos de Penman-Monteith y Blaney-Criddle son importantes para gestionar el riego en los cultivos. La ecuación de Penman-Monteith destaca por su alta adaptabilidad para el cálculo de la Etc, mientras que Blaney-Criddle es ideal para agricultores que no pueden obtener información meteorológica detallada.

Los beneficios de utilizar las ecuaciones para el cálculo de la Etc, son: entregan valores de ETC cercanos al real, por lo tanto, puedo aplicar la lámina de riego que satisfaga los requerimientos del cultivo y en el momento oportuno, que permitiendo satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

### **3.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar los cálculos de la ETC ya que nos proporciona datos cercanos a los requerimientos hídricos que necesitan los cultivos, para satisfacer de una manera eficiente el riego, evitando aplicar en exceso o en déficit.

Se recomienda el método Penman-Monteith por su versatilidad y confiabilidad en el cálculo de la transpiración del cultivo (ETC), este método combina muchos factores meteorológicos como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar con la vegetación y el suelo.

Sin embargo, también se recomienda el método Blaney-Criddle por su simplicidad y accesibilidad, especialmente en áreas donde el acceso a información científica detallada es limitado, este método utiliza sólo la temperatura y la duración del día para estimar la transpiración del cultivo (ETC), lo que lo hace simple y fácil de implementar.

## 4.REFERENCIAS Y ANEXOS

### 4.1. Referencias bibliográficas

- Allen, R. G; Pereira, L. S.; Raes, D; Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 . Rome: FAO. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Brau, L.; Cob, M. 2000. Evaluacion lisimetrica de la evapotranspiracion de referencia semihoraria calculada con el metodo FAO Penman-Monteith. In Congresos y Jornadas-Junta de Andalucia (Espana). (en línea).18(8)40-78. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://agris.fao.org/search/es/records/6473614753aa8c89630b0d73>
- Butrón Mamani, C. 2017. Calibración de la ecuacion FAO Penman-Monteith para calcular la evapotranspiracion de referencia Eto en condiciones de invernadero en el Centro Experimental Cota. (en línea). Master en ingenieria de riego. La paz. Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.98 p. Consultado el 8 de junio 2024. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15245/TM-2461.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Canales, A; Martínez, M. 2020. Automatización y telecontrol de sistemas de riego. (en línea) Murcia. España. Marcombo. 37 p. Consultado el 20 de mayo 2024. Disponible en <https://bit.ly/4aBlvyC>
- Castro Popoca, M; Águila Marín, F. M; Quevedo Nolasco, A; Kleisinger, S; Tijerina Chávez, L; Mejía Sáenz, E. 2008. Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. (en línea). Agricultura técnica en México, 34(4):459-470. Consultado en 14 de junio 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n4/v34n4a9.pdf>
- Celi, K. D; Chávez, J. A. 2022. El índice de penman como alternativa en mejora de la productividad agrícola frente al cambio climático.: the turc index as an alternative in improving agricultural productivity in the face of climate change.

(en línea) Tse'De, 5(1):89-120. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/123>

Chávez-Ramírez, E; González-Cervantes, G; González-Barríos, J. L; Dzul-López, E; Sánchez-Cohen, I; López-Santos, A; Chávez-Simental, J. A. 2013. Uso de estaciones climatológicas automáticas y modelos matemáticos para determinar la evapotranspiración. (en línea). *Tecnología y ciencias del agua*, 4(4):115-126. Consultado el 14 de junio 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n4/v4n4a7.pdf>

Deaquiz, Y. A; Álvarez-Herrera, J. G; Pinzón-Gómez, L. P. 2014. Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria* sp.). (en línea). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 8(2):192-205. Consultado el 8 de junio 2024. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a03.pdf>

Flores, H; Sifuentes, E; Flores, M; Ojeda, W; Ramos, R. 2014. Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. (en línea) *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 5(2): 241-252. Consultado el 20 de mayo 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n2/v5n2a6.pdf>

G Allen, R; S Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. (en línea). Roma. Italia. 323 p. Consultado el 8 de junio 2024. Disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/ac9a7957-fed8-42e1-91d6-26a8f89660b1/content>

García Cusichi, K. H. 2022. Diseño de un Sistema de Riego Automático Bajo la Metodología Penman Monteith Para Reducir el Dispendio Hídrico en Vilcacoto. (en línea). *Ing mecanico*. Huancayo. Peru. universidad nacional del centro del Perú. 125 p. Consultado el 14 de junio 2024. Disponible en [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8322/T010\\_75308518\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8322/T010_75308518_T.pdf?sequence=1)

Grillo, M. 1971. Consumo de agua por las plantas. (en línea) *Acta Agronómica*, 21(2): 87-91. Consultado el 14 de mayo 2024. Disponible en

[https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/48537/49732](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48537/49732)

Hernández Pérez, J. M. 2015. *Efecto del cambio climático sobre la evapotranspiración real estimada y rendimiento de caña de azúcar. (en línea). Master en ciencia. Veracruz. Mexico. Colegio de posgraduados. 72p. Consultado el 16 de junio 2024. Disponible en [http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3397/Hernandez\\_Perez\\_JM\\_MC\\_Agroecosistemas\\_Tropicales\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3397/Hernandez_Perez_JM_MC_Agroecosistemas_Tropicales_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)*

Herrera Gómez, S. S. 2018. El riego en la horticultura ante el cambio climático. Doctor en ciencias. Montecillo. México. Colegio de postgraduados. 101 p. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en [http://193.122.196.39:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3044/Herrera\\_Gomez\\_SS\\_DC\\_Hidrociencias\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://193.122.196.39:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3044/Herrera_Gomez_SS_DC_Hidrociencias_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

López-Moreno, J. I; Hess, T. M; White, S. 2009. Estimation of reference evapotranspiration in a mountainous mediterranean site using the Penman-Monteith equation with limited meteorological data. (en línea).12(4):12-31. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://digital.csic.es/handle/10261/19497>

Lujano, A, Quispe, J. P; Lujano, E. 2019. Métodos alternativos de estimación de evapotranspiración de referencia en la estación de Yauri-Cusco, Perú. (en línea). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3):215-224. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v21n3/a07v21n3.pdf>

Marano, R. P; Martellotto, E; Salinas, A. I. 2023. Riego suplementario, importancia de una tecnología estratégica. (en línea). Ediciones INTA. 3(1);43-47. Consultado el 8 de junio 2024. Disponible en [https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15522/publicidad23\\_ano3\\_n1\\_septiembre-p.43-47.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15522/publicidad23_ano3_n1_septiembre-p.43-47.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Martín Clemente, C. R; Sosa Ramírez, J; Maass Moreno, M; Luna Ruíz, J. D. J; Meráz Jiménez, A. D. J; Flores Ancira, E. 2015. Comparación de métodos

- para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales. (en línea). *Terra latinoamericana*, 33(1):17-26. Consultado el 16 de junio 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n1/2395-8030-tl-33-01-00017.pdf>
- Medrano, H; Bota, J; Cifre, J; Flexas, J; Ribas, M; Carbó, M; Gulías, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. (en línea) Alicante, España, 43(3): 63-84. Consultado el 14 de mayo 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/176/17604304.pdf>
- Mena Zapata, M. A. 2014. Diseño de un sistema de riego parcelario para el sistema de riego Pastora Alomia, en el Cantón Montufar, parroquia La Paz. (en línea). ING Ambiental. Tulcán. Ecuador. universidad internacional sek. Consultado el 16 de junio 2024. Disponible en <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/964/1/TESIS%20MARCO%20MENA.pdf>
- Montealegre González, C. 2021. Modelamiento de la evapotranspiración de cultivo utilizando índices de vegetación obtenidos por sensores remotos Sentinel 2.(en línea). Magíster en Teledetección. Manizales. Colombia. Universidad Católica de Manizales. 92 p. Consultado el 8 de junio 2024. Disponible en <https://bit.ly/4bRdHKu>
- Monteith, J. L. 1965. Evaporation and environment. (en línea). *Symposia of the Society for Experimental Biology* 8(3):205-234. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19651403322>
- Muñoz Lema, S. R. 2024. Diseño agronómico de un sistema de riego parcelario para el Módulo 7 del Proyecto Chambo-Guano. (en línea). Magíster en riegos. Riobamba. Ecuador. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 91 p. consultado el 15 de junio 2024. Disponible en <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/20165/1/20T01845.pdf>
- Muñoz, M. 2023. Tendencia de la evapotranspiración en Cuautitlán Izcalli, México y su importancia en las actividades agrícolas. (en línea). ING Agrónomo. Cuautitlán Izcalli. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 64 p. Consultado el 14 de mayo 2024. Disponible en

<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000847753/3/0847753.pdf>

- Oleas Basantes, E. F. 2024. Diseño agronómico de un sistema de riego parcelario para el Proyecto Chambo–Guano. (en línea). Magíster En Riegos. Riobamba. Ecuador. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 114 p. Consultado el 15 de junio 2024. Disponible en <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/20486/1/20T01863.pdf>
- Ortega, S. O; Cuenca, R.; Soliz, B; Ortiz, C. 1996. Evaluacion del calor latente usando la ecuacion de Penman-Monteith, con un valor variable de la resistencia cubierta vegetal a la transferencia de vapor de agua. (en línea). *Ciencia e Investigacion Agraria (Chile)*. 23(2):67-95. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://agris.fao.org/search/en/providers/122491/records/64722e3e2c1d629bc9789c2f>
- Ortega, S. O; Cuenca, R.; Soliz, B; Ortiz, C. 1997. Evaluación de cinco métodos para estimar la evapotranspiración potencial en la provincia de Talca. (en línea). *Ciencia e Investigacion Agraria (Chile)*. 23(5):67-95. Consultado el 15 de junio 2024. Disponible en <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/523>
- Palacios, E. 1991. La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego. (en línea). Montecillo. México. 23(2): 65-87. Consultado el 20 de mayo 2024. Disponible en <https://bit.ly/3QRwTza>
- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. (en línea). Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 2(3):120-145. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/98290>
- Piñas, J. 2017. Demanda de Agua para Riego en la Sierra. (en línea). *Universidad Nacional de Huancavelica-Facultad de Ciencias Agrarias*. 1(1):1-160. Consultado el 15 de junio 2024. Disponible en <https://bit.ly/4c45eDK>
- Quinga Aman, E. A. 2022. *Diseño de un sistema de distribución de agua agrícola en las comunidades La Dolorosa y El Panecillo*. (en línea). ING agrónomo. Quito. Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. 148p. Consultado el 16

de junio 2024. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23945/1/MSQ481.pdf>

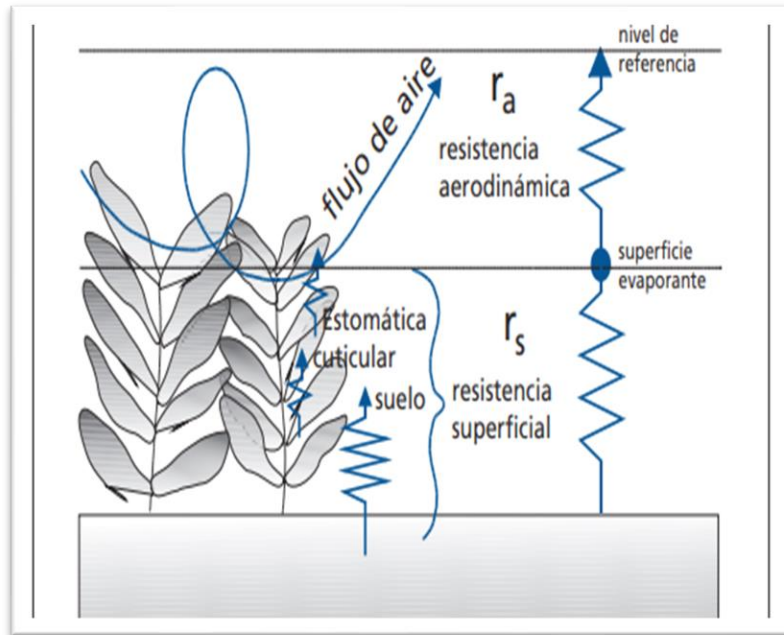
Romero-Palomares, J; Trezza, R; Araque, Y. 2019. Métodos Penman modificado, Radiación, Blaney-Criddle y Hargreaves-Samani en relación al método FAO-Penman-Monteith, bajo condiciones del municipio Colón, estado Zulia, Venezuela. (en línea). Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC). 3(2):83-93. Consultado el 8 de junio 2014. Disponible en <https://convite.cenditel.gob.ve/publicaciones/revistaclic/article/view/965/935>

Valdivieso López, C. S. 2017. Optimización de la asignación del agua de riego para los cultivos del área de influencia del sistema Carrizal-Chone.(en línea). Master en ingeniería hidráulica y medio ambiente. Chone. Ecuador. Universidad politécnica de valencia.130 p. Consultado el 10 de junio 2024. Disponible en <https://bit.ly/45AbXTH>

Viera Díaz, J. C; Amaya Gallardo, L. A. 2019. Cálculo de los requerimientos hídricos para el cultivo de caña de azúcar y ajuste del KC utilizando imágenes satelitales Sentinel-2 en el distrito de Cayaltí, Lambayeque.(en línea). ING Agrícola. Lambayeque. Peru. universidad nacional "pedro ruíz gallo". 162p. consultado el 15 de junio 2024. Disponible en <file:///C:/Users/User/Downloads/BC-TES-3554%20VIERA%20DIAZ%20-%20AMAYA%20GALLARDO.pdf>

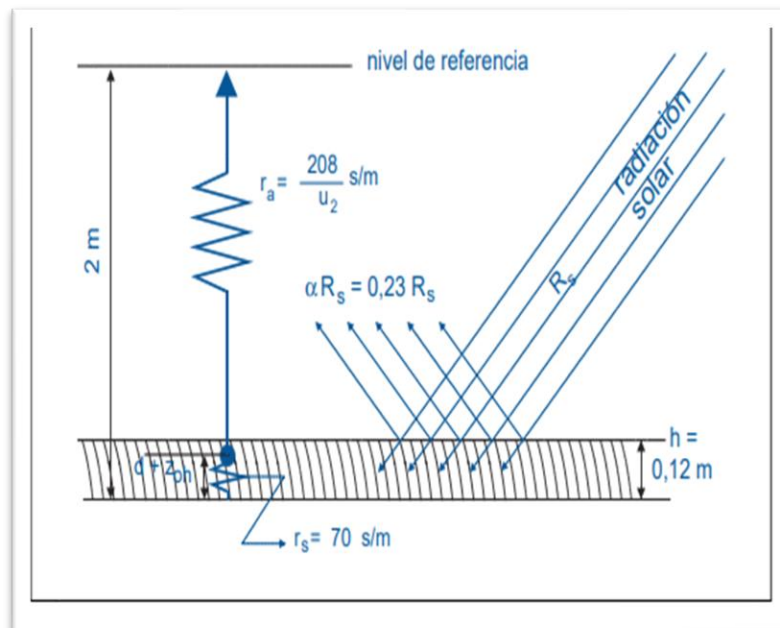
Yauli Chicaiza, G. E. 2020. Aplicación de la metodología de Blaney-Criddle para el uso eficiente del agua de riego en los principales cultivos agrícolas del nororiente de la Parroquia Alaquez. ING agrónomo. Puyo. Ecuador. UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA. 75 p. Consultado el 16 de junio 2024. Disponible en <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/1117/1/borrador%20tesis%20empast.pdf>

## 4.2. Anexos



**Anexo1:** Representación simplificada de la resistencia superficial total y de la resistencia aerodinámica al flujo de vapor de agua.

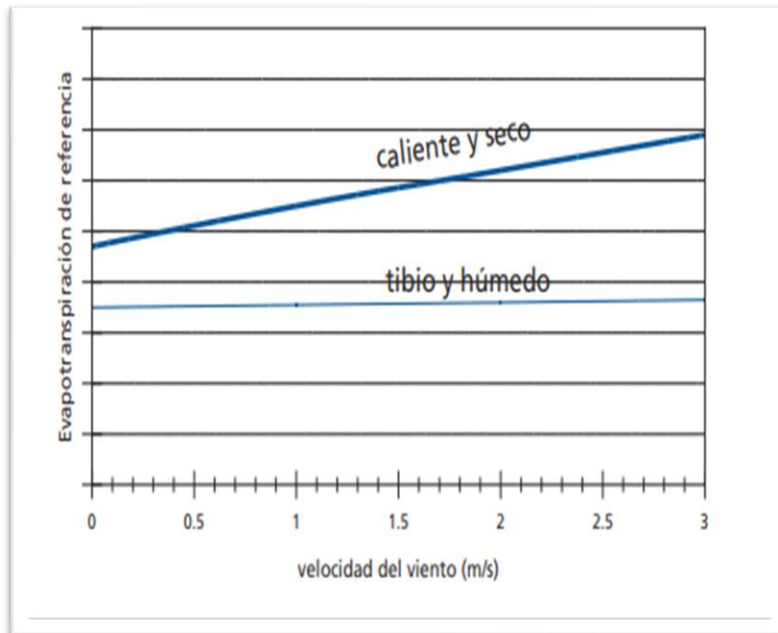
**Fuente:** Allen (2006)



**Anexo 2:** características del cultivo hipotético de referencia

**Fuente:** Allen (2006)





**Anexo 3:** ilustración del efecto de la velocidad del viento sobre la evapotranspiración en condiciones secas y caliente comparadas con condiciones húmedas y tibias.

**Fuente:** Allen (2006)