

REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DE PIMIENTO (CAPSICUM ANNUUM L.), CON LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE AGUA CALCULADAS POR TRES MÉTODOS MATEMÁTICOS

WATER REQUIREMENTS OF THE PEPPER CROP (CAPSICUM ANNUUM L.), WITH THE APPLICATION OF WATER LAYERS CALCULATED BY THREE MATHEMATICAL METHODS

Walter Andrés Pendolema Jaramillo¹
 Marlon Víctor Hugo Pazos Roldan²
 Diana Valeria Sotomayor Padilla³
 Mario Fernando Quispe Sandoval⁴
 Alejandro Jair Coello Mieles⁵

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los requerimientos hídricos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), con la aplicación de láminas de agua calculadas por tres métodos matemáticos. Se utilizó como material experimental el Pimiento híbrido Nathalie. Los tratamientos estuvieron conformados por los métodos de Penman, Blaney-Cridle y Tanque FAO. Se utilizó el diseño experimental de Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres tratamientos y cinco repeticiones. Para realizar la comparación de las medias de los tratamientos se utilizará la prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5 % de significancia. Se realizaron los métodos para calcular láminas de agua y fórmulas utilizadas de Penman, Blaney-Cridle y Tanque evaporímetro, por un método de trasplante a sitio definitivo. Los datos evaluados fueron las láminas de agua calculada por los métodos, altura de planta, ancho y largo de la hoja, número de hojas y flores, circunferencia del tallo, número, circunferencia y largo de frutos y peso de 10 frutos. Por los resultados obtenidos se determinó que el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento demostró resultados favorables ante la aplicación de láminas de agua calculadas por tres métodos diferentes; la mayor altura de planta en todas las evaluaciones se registró cuando se utilizó el método de Tanque FAO; el ancho y largo de la hoja reportó diferencias altamente significativas en la primera y segunda evaluación,

Recepción: 4 de Marzo de 2024 / Evaluación: 9 de Abril de 2024 / Aprobado: 6 de mayo de 2024

¹ Ingeniero Agrónomo por la Universidad Técnica de Babahoyo. Candidate de la Maestría en Agronomía mención en Protección Vegetal por la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. FUNGISAGRO S.A.S, Ecuador. Email: fungisagro@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9264-1204>.

² Magister en Riego y Drenaje por la por la Universidad Agraria del Ecuador. Magister en Educación Agropecuaria Mención Desarrollo Sostenible por la Universidad Técnica de Babahoyo. Docente en la Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Email: ncolina@utb.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6798-8736>.

³ Ingeniera Agrónoma por la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. Candidate de la Maestría en Agronomía mención en Protección Vegetal por la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. Docente en el Centro de Admisión y Nivelación Universitaria de la Universidad Técnica de Babahoyo. Email: valeriasotomayor2011@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3777-5605>.

⁴ Maestro en Ciencias Centro de Genética por el Colegio de Postgraduados Montecillo –México Docente en la Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Email: mquispe@utb.edu.ec. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0578-565X>.

⁵ Ingeniero Agrónomo por la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. Candidate de la Maestría en Agricultura Sustentable y Sostenible por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Email: jaircoello1968@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7120-7060>.

disminuyendo en la tercera y cuarta evaluación, donde no se obtuvo diferencias significativas; el método de Blaney-Criddle presentó menor número de hojas en todas las evaluaciones; el método de Tanque FAO influyó para que existan mayor número de hojas, flores y circunferencia del tallo y en lo referente al número de frutos/planta, circunferencia del fruto, largo del fruto y peso de 10 frutos, sobresalieron sus promedios con el método de Tanque FAO.

Palabras clave: *Capsicum annum*, riego, Penman, Blaney-Criddle, Tanque FAO.

Abstract

The objective of this research was to determine the water requirements of the pepper crop (*Capsicum annum* L.), with the application of water layers calculated by three mathematical methods. The Nathalie hybrid pepper was used as experimental material. The treatments were made up of the Penman, Blaney-Criddle and Tanque FAO methods. The experimental design of Randomized Complete Block Design (DBCA) was used with three treatments and five repetitions. To compare the means of the treatments, Duncan's Multiple Range test will be used at 5% significance. The methods to calculate water sheets and the Penman, Blaney-Criddle and Evaporimeter Tank formulas used were carried out by a transplant method to a definitive site. The data evaluated were the water depths calculated by the methods, plant height, width and length of the leaf, number of leaves and flowers, stem circumference, number, circumference and length of fruits and weight of 10 fruits. Based on the results obtained, it was determined that the water requirement of the pepper crop showed favorable results when applying water sheets calculated by three different methods; The highest plant height in all evaluations was recorded when the FAO Tank method was used; The width and length of the leaf reported highly significant differences in the first and second evaluation, decreasing in the third and fourth evaluation, where no significant differences were obtained; the Blaney-Criddle method presented a lower number of leaves in all evaluations; The FAO Tank method influenced the existence of a greater number of leaves, flowers and stem circumference and in relation to the number of fruits/plant, fruit circumference, fruit length and weight of 10 fruits, their averages with the tank method stood out. FAO tank.

Keywords: *Capsicum annum*, irrigation, Penman, Blaney-Criddle, FAO Tank.

Introducción

El cultivo de pimiento que exige un clima cálido o templado, entre 20 °C y 40 °C, siendo su temperatura óptima de 25 a 25 °C, no soporta las heladas, su temperatura mínima para germinar y crecer es de 15 °C y para florecer y fructificar mínimo 18 °C (Pérez, 2019).

Los requerimientos de agua para una buena producción están entre 600 y 1 250 mm anuales, el pimiento es sensible al estrés hídrico, tanto por exceso como por déficit de humedad. Un aporte de agua irregular, puede provocar la caída de flores y frutos recién cuajados y la aparición de necrosis apical, siendo aconsejables los riegos poco copiosos y frecuentes (Moreno et al., 2021).

La evapotranspiración es la cantidad de agua respirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo. Hay dos formas de evapotranspiración: a) Evapotranspiración potencial o máxima: que es la cantidad de agua consumida, durante un determinado periodo de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua; b) Evapotranspiración real; es la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo durante el periodo de tiempo considerado (Fuentes, 2019).

El rendimiento del cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima, y esto ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las mejores condiciones posibles. Ocurre entonces que la evapotranspiración real coincide con la evapotranspiración máxima (Fuentes, 2019).

Nieto et al (2019), indican que el estrés hídrico en las zonas áridas y semiáridas es uno de los principales factores del ambiente que afecta a las plantas durante los diferentes estadios de su crecimiento y desarrollo. Las estrategias que las plantas utilizan para enfrentar la falta de agua pueden ser de tipo bioquímico, fisiológico y morfológico- mecánico. Uno de los factores involucrados en su supervivencia es la información genética contenida en la misma planta.

Tijerina (2014), informa que, en los últimos años, la escasez de agua ha obligado a reorientar la investigación hacia el uso de sistemas de riego más eficientes que permiten ahorrar agua. Una de las etapas obligadas para el diseño, construcción o instalación y operación de cualquier sistema de riego es la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer en alguna región. Sin embargo, una vez que son instalados estos sistemas de riego, en general, excepto algunos casos, los productores requieren de capacitarse para la operación de estos sistemas para obtener buenos resultados en cuanto al ahorro de agua, lograr buena producción y mitigar el deterioro de sus suelos.

Ojeda et al (2020), señalan que, como parte del cambio climático proyectado, los flujos térmicos y dinámicos de la atmósfera se modificarán debido a un incremento en la acumulación atmosférica de varios gases que intervienen en el efecto invernadero, cuyo origen es antrópico.

Ojeda et al (2020), divulgan que la temperatura actúa en el desarrollo de los cultivos y el incremento de la temperatura ambiental puede afectar su tasa de crecimiento, limitar su actividad fotosintética y aumentar su respiración. El acortamiento del ciclo fenológico puede reducir el rendimiento potencial de los cultivos, al disminuir el periodo de interceptación de la radiación, que es uno de los principales determinantes de la acumulación de materia seca y rendimiento. Se ha reportado un incremento de las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático, sin considerar el efecto de la temperatura en la duración del ciclo fenológico. Estos cambios en los requerimientos de riego se derivan del efecto de la disminución de la precipitación, del impacto del incremento de la temperatura en la evapotranspiración de referencia (ET_o) y del acortamiento del ciclo fenológico.

Mossande et al (2021), expresan que el coeficiente de cultivo (K_c) es un importante parámetro para el manejo planificación y programación del riego en periodos mayores a un día. El mismo varía con el período de crecimiento de la planta y con el clima y depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo según su estado de desarrollo vegetativo. La FAO recomendó las metodologías y procedimientos para el cálculo del K_c. Estudios realizados revela la existencia de variaciones en el valor de este parámetro debido posiblemente a las prácticas culturales empleadas en las zonas en que fueron determinados. Conociéndose que la determinación de la evapotranspiración del cultivo es un paso importante para el manejo eficiente de los sistemas de riego, el objetivo del trabajo consiste en determinar los requerimientos hídricos del cultivo de hortalizas.

De acuerdo a Duarte y Sarmiento (2019), a nivel mundial existe un elevado déficit de agua en cantidad y calidad adecuada. El principal factor geológico que influye en la variación de la calidad del agua lo constituye la naturaleza calcárea del subsuelo y los lechos pluviales que alteran el contenido en sales y minerales. Esta predominancia la impone la ubicación en el Caribe y su configuración larga y estrecha de la isla en contacto permanente con la acción marina y, en tercer lugar, la actividad del hombre.

Sánchez et al (2019), sostienen que al mantenerse constante en el suelo una humedad elevada, la absorción de agua por las raíces exige un esfuerzo menor a la planta y la producción se desarrolla en mejores condiciones, aumentando los rendimientos. La planta no soporta la falta de agua ni el exceso de ella. Este determina la falta de aireación, que interfiere con la respiración de la raíz; ya que una planta puede vivir perfectamente en solución nutritiva siempre que se burbujee aire en ella. Por esta razón los máximos rendimientos se tendrán manteniendo una humedad óptima en el suelo.

Según Gómez et al (2019), el suministro de agua es uno de los factores determinantes para el desarrollo y producción de las plantas. Su requerimiento hídrico depende de las condiciones climáticas de la zona, suelo, tipo de cultivo, manejo y etapa del ciclo en la que se encuentre. Las plantas generalmente cumplen su ciclo vegetativo a través de las siguientes fases: germinación, desarrollo, maduración y cosecha y las necesidades de agua se hacen más apremiantes en alguna de estas etapas. Uno de los cultivos más exigentes en requerimientos hídricos es el pimentón. Si se presenta deficiencia de agua se provoca estancamiento del desarrollo y daños en la calidad del fruto, ocasionando rajaduras o pudrición apical. Si hay exceso de humedad en el suelo por efecto del riego, se incrementan las enfermedades radiculares asociadas a los hongos *Phytophthora capsici* y *Fusarium* sp.

Rivera (2019), define que hay muchos factores que influyen en el manejo del riego, entre los cuales están el sistema utilizado, las características del suelo, el cultivo y su estado de desarrollo y las condiciones ambientales. Cada uno de estos factores debe ser tomado en consideración al determinar la frecuencia del riego y la cantidad de agua que se debe aplicar. Cada cultivo tiene requisitos de agua particulares y cada suelo tiene propiedades específicas que afectan en una forma u otra la disponibilidad de agua a las plantas.

Rivera (2019), reporta que se han desarrollado métodos e instrumentos para programar el riego. Entre los métodos más sencillos utilizados para este propósito está la apreciación visual y táctil del suelo en combinación con indicadores del cultivo, tales como cambios en color, turgencia o ángulos de las hojas. Este método en particular tiene la desventaja de que los síntomas o señales para iniciar el riego aparecen muy tarde, cuando es difícil evitar que el rendimiento y la calidad de la cosecha se afecten por el déficit de humedad en el suelo. En términos prácticos hay dos métodos que se pueden utilizar para determinar cuándo regar.

Coras (2017), considera que para estimar las propiedades hidráulicas del suelo se puede usar un modelo que estime en función de la textura (porcentaje de arena, arcilla y limo). La infiltración se determina en el laboratorio sobre muestras alteradas o inalteradas, o siguiendo alguno de los métodos de campo. Existen varios métodos para estimar la evapotranspiración y recomienda utilizar los métodos de Blaney y Criddle, Penman y tanque tipo A.

De acuerdo a Ortiz et al (2018), el agua es un factor que limita la producción, por lo tanto, un buen riego debe caracterizarse por presentar alta eficiencia y uniformidad para garantizar un uso racional del recurso hídrico. En el campo existen muchos factores que afectan la uniformidad del riego, unos inherentes al suelo principalmente sus propiedades físicas, químicas y características topográficas, otros dependientes de elementos del clima y por otro lado las características propias de los diseños de riego. En riego por aspersión, el viento, principalmente su velocidad y dirección es muy importante investigarlos y conocer cómo afectan la distribución de las láminas aplicadas. Esto permitirá generar acciones que minimicen los riesgos de pérdidas en cultivos.

Amézquita (2019), apunta que quien maneja el riego debe estar consciente de que tiene en sus manos el factor responsable del 90 % de la producción y de la calidad de las cosechas, por eso debe estar permanentemente informado del estado de humedad y de la succión del agua del suelo y de la hidratación de las plantas. Solo así puede controlar cualquier riesgo de deshidratación de estas, lo cual traería como consecuencia deficiencias en el transporte y distribución de las sustancias nutritivas, con la consecuente disminución en crecimiento y desarrollo y producción.

Según Guevara (2021), el reconocimiento de la significación de la evapotranspiración en las actividades agrícolas y en el manejo de los recursos hídricos, aunado a la masificación en el uso de los microcomputadores personales y la utilización de las estaciones automáticas en agroclimatología, impulsó el uso de la fórmula de Penman 1948 para estimar la evapotranspiración en superficie líquida y la evapotranspiración en superficies con vegetación.

Esta fórmula, modificada en 1965 por Monteith y denominada fórmula de Penman-Monteith, ha tenido una relevancia extraordinaria en las investigaciones sobre balance energético, balance hídrico, requerimientos de agua, programas de irrigación, entre otras aplicaciones, desplazando la diversidad de formulaciones utilizadas para estimar la evapotranspiración. Simultáneamente, el término evapotranspiración potencial, ETP, es reemplazado por el de evapotranspiración de referencia, ETo. Entre las investigaciones que traen tales cambios se destacan las realizadas por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), la ASCE (American Society of Civil Engineers, USA) y la mayoría de las Universidades del mundo, como la de Idaho en Kimberly; la de Utah en Logan; la de California, en Davis; la de Texas en Bushland y la de Cranfield en Silsoe, Reino Unido, todas con grandes lisímetros y redes de observaciones de la ETo.

Zermeño et al (2017), refieren que para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura es necesario determinar la tasa diaria de ET (ET) de los cultivos establecidos en una región, que permita determinar los volúmenes de agua por aplicar. La tasa de ET es el resultado de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración por los estomas de las hojas. Estos procesos ocurren simultáneamente y en un ecosistema natural son difícil de separar. Los principales factores ambientales que determinan la tasa de ET son la radiación, temperatura del aire, déficit de presión de vapor y velocidad del viento.

Guevara (2021), describe que las principales fórmulas que se utilizaban para estimar la evapotranspiración fueron comparadas con mediciones lisimétricas en campos experimentales, concluyendo que la ecuación de Penman-Monteith, estimaba la evapotranspiración con el menor error, y de esos estudios, surgieron modificaciones que mejoraron el enfoque de Penman-Monteith, así como el concepto evapotranspiración de referencia y la escogencia del cultivo de referencia.

Zermeño et al (2017), indican que la tasa de ET se puede medir por métodos, como los de enfoque micro meteorológico, uso de lisímetros y medición de los cambios de la humedad del suelo. Sin embargo, la implementación de estos métodos es muy costosa y de difícil aplicación, por lo cual se debe aplicar métodos que permitan determinar la ET de cultivos a partir de la ET de referencia. Hay varios métodos para obtener la ET de referencia en una localidad. El método más recomendado es el FAO Penman-Monteith, que es el procedimiento estándar.

Hernández et al (2017), manifiestan que la evapotranspiración se considera como uno de los parámetros importantes durante en el desarrollo de los cultivos y el conocimiento de ésta, permite establecer una buena planeación de los recursos hídricos, así como hacer un uso eficiente del agua de riego a nivel parcelario. Actualmente se utilizan métodos semiempíricos, los cuales son ampliamente utilizados en casos prácticos de manejo del riego, en especial la ecuación desarrollada por Penman-Monteith, la cual goza de aceptación por la comunidad científica mundial, y que fue propuesta por la FAO como método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración, con base en la información climática.

Zermeño et al (2017), expresan que investigaciones determinan que se aplicó dicho método para la programación del riego mediante el balance hídrico en el suelo, usándolo para determinar la tasa de ET de una plantación y en la programación del riego. Además, determinaron la ET de referencia mediante el método FAO Penman-Monteith para calcular la ET de una plantación.

Materiales y métodos

El presente trabajo experimental se efectuó en los terrenos del Sr. Freddy Pendolema, ubicado en la ciudad de Babahoyo, calle Juan X Marcos y la E. La zona presenta una temperatura media anual de 25,7 °C, precipitación media anual de 1845 mm, humedad relativa

de 76 % y 804,7 horas de heliofanía promedio anual. Se utilizaron materiales campo y material vegetal Pimiento híbrido Nathalie. Se estudiaron dos factores; a) Comportamiento agronómico del cultivo con la aplicación de riego controlado y, b) Métodos de cálculo de Penman, Blaney-Criddle y Tanque evaporímetro o tanque FAO. Se evaluaron los tratamientos como se indica en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Tratamientos estudiados, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Tratamientos	
Nº	Cálculo lamina evapotranspiration potential
T1	Penman
T2	Blaney-Criddle
T3	Tanque FAO

En la presente investigación se utilizó en el experimento el Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos y cinco repeticiones. Para realizar la comparación de las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Rango Múltiple de Duncan al 5 % de significancia. El tamaño del ensayo fue de 57.60 m² en donde cada repetición fue de 3.84 m² y el distanciamiento de la siembra fueron 80 cm entre filas y 40 cm entre plantas. El riego se aplicó al cultivo dependiendo de cada tratamiento en donde Blaney y Tanque FAO fueron calculados con las fórmulas de lámina de agua; Penman con el programa CROPWAT, utilizando los siguientes parámetros: Temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, horas de Heliofanía, % de Humedad relativa. Tomados de una serie de 5 años 2011 al 2015 (Datos obtenidos de la Estación Meteorológica UTB-FACIAG), y con esto se obtuvo la Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) (cuadro 3) y la tabla del Kc (cuadro 4) está distribuida por el coeficiente y por el estado fenológico del cultivo, en donde los valores se lo muestran en los siguientes cuadros:

Tabla 2. Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) en mm

Métodos/Meses	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Penman	2,51	2,84	2,73	2,74	2,94
Blaney	3,59	4,03	3,77	3,48	4,14
Tanque Evaporímetro	2,23	2,61	2,70	2,86	2,76

mm=milímetros

Eto= Evapotranspiración del cultivo de referencia

Tabla 3. Datos del Kc del cultivo de pimiento

Evaluaciones mensuales	Kc (Coeficiente del cultivo dePimiento)	Etapa de crecimiento del pimiento (Días)
Septiembre	0,53	20 días
Octubre	0,78	45 días
Noviembre	1,02	70 días
Diciembre	0,95	95 días

Total

112 días

Kc= Coeficiente del cultivo

Figura 1. Curva del Kc de la investigación del cultivo de pimiento.

En la figura 1 se indica la curva del Kc del cultivo de pimiento expresados en días, en donde el Kc más alto con 1,02 corresponde a los 70 días en el mes de noviembre y el valor más bajo fue en el mes de septiembre con 20 días y su Kc fue de 0,53.

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc) de los métodos (Penman, Blaney-Criddle y Tanque evaporímetro).

Una vez obtenido el ETo y el Kc se procedió a calcular la lámina de agua de cada mes (septiembre hasta diciembre) y la frecuencia de riego (Fr) que se refiere al lapso de días entre riego y riego, depende de la capacidad de almacenamiento del suelo que se utilizó y la tasa de evapotranspiración del cultivo. Utilizando las siguientes ecuaciones:

$$ETc \text{ (mm/día)} = ETo \times Fr$$

$$\text{Área del recipiente} = \pi \cdot D^2 / 4 = (\text{m}^2)$$

$$\text{Volumen a su aplicación (lt/día)} = ETc \text{ (mm/día)} \times \text{Área del recipiente (m}^2)$$

$$\text{Lámina de agua o volumen a su aplicación (lt/día)} \times Kc$$

Donde:

- ETo= Evapotranspiración del cultivo de referencia
- ETc= Evapotranspiración del cultivo
- Π = pi (3,1416)
- D²= diámetro al cuadrado
- cm²= centímetro cuadrado
- m²= metro cuadrado
- mm/día= milímetros por día
- Lt/día= litros por día
- Kc= coeficiente del cultivo

Se preparó el sustrato para el semillero y para las fundas con 50 % de suelo arcillo-limoso, 30 % tierra de sembrado, 10 % cenizas y 10 % estiércol seco, para posteriormente colocar en las fundas plásticas negras de 38 cm de largo x 25 cm de ancho para trasplantar las plántulas de pimiento, a los 20 días después de la germinación. Se sembró semillas certificadas del híbrido Natalie en unas bandejas germinadora con el sustrato preparado. A los 20 días después de la germinación, se trasplantó cada plántula en las fundas negras con el sustrato preparado, en cada parcela se obtuvo 12 plantas y en total del ensayo fueron 180 plantas de pimiento. Para el manejo de plagas y enfermedades se utilizó productos fitosanitarios (insecticidas o fungicidas) requeridos para el buen desarrollo y sanidad del cultivo. Para el

control de Mariquita *Coccinella septempunctata* lo cual se controló con Clorpirifos en dosis de 1,5 cc/litro. El control de las malas hierbas se realizó manualmente cada 8 días, hasta terminar la investigación. La cosecha se realizó en forma manual una vez que las plantas hubieron alcanzando el tamaño máximo y mostraron un color verde brillante, realizándose 2 cosechas, una cada 25 días.

Se midió la altura de 5 plantas al azar por cada repetición y se la identificó para cada evaluación mensual, con la ayuda de una cinta métrica en cm desde el nivel del suelo (base de la planta) hasta el ápice. Se tomó 5 plantas identificadas para el conteo de hojas. Se identificó 5 plantas y se seleccionó la cuarta hoja de abajo hacia arriba y con la ayuda de la cinta métrica en cm. Se tomó 5 plantas identificadas y se seleccionó la cuarta hoja de abajo hacia arriba y con la ayuda de la cinta métrica en cm. Se midió las 5 plantas identificadas y se seleccionó la cuarta hoja de abajo hacia arriba y con la ayuda de la cinta métrica en cm. Se utilizó las 5 plantas identificadas para el conteo de flores. Se tomó las 5 plantas identificadas para el conteo de frutos. Se pesó las 5 plantas identificadas para seleccionar 10 frutos al azar en el momento de cada cosecha para proceder a pesar con la ayuda de una balanza. Se midió el largo de los 10 frutos seleccionados al azar en el momento de cada cosecha con la ayuda de una cinta métrica en cm. Se tomó la circunferencia de los 10 frutos seleccionados al azar en el momento de cada cosecha con la ayuda de la cinta métrica en cm. El rendimiento estuvo determinado por el peso total de los 10 frutos recolectados en cada repetición seleccionada, esto se expresó en Kg/ha, haciendo una proyección matemática.

Resultados

En la Tabla 4, se observó los promedios de altura de planta en las cuatro evaluaciones mensual (septiembre a diciembre). El análisis de varianza reportó diferencias altamente significativas desde la primera a la cuarta evaluación. Los coeficientes de variación fueron 5,90; 8,87; 8,10 y 8,21 %, respectivamente. En la primera evaluación, el método de Tanque FAO, superó los promedios con 16,15 cm de altura de planta, estadísticamente superior a los demás métodos, siendo el menor promedio para el Blaney-Criddle con 12,88 cm. El método de Tanque FAO sobresalió en la segunda evaluación con 25,50 cm de altura de planta, estadísticamente superior al resto de métodos. El menor valor fue para el método de Blaney-Criddle con 16,64 cm. Durante la tercera evaluación, el método Tanque FAO presentó altura de planta de 37,08 cm, estadísticamente superior al resto de tratamientos, cuyo menor promedio fue para el método Blaney-Criddle con 28,00 cm. En la cuarta evaluación, el método Tanque FAO registró 47,26 cm de altura de planta, estadísticamente superior a los demás tratamientos, siendo el método de Blaney- Criddle el de demostró menor promedio con 41,65 cm.

Tabla 4. Altura de planta, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

		Altura de planta (cm)			
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2	3	4
T1	Penman	13,27 b	17,43 b	28,14 b	42,03 b
T2	Blaney-Criddle	12,88 b	16,64 b	28,00 b	41,65 b
T3	Tanque FAO	16,15 a	25,50 a	37,08 a	47,26 a
Promedio general		14,10	19,86	31,07	43,65
Significancia estadística		**	**	**	**
Coefficiente de variación (%)		5,90	8,87	8,10	8,21

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la primera evaluación (septiembre), el método Penman mostró el ancho de la hoja de 4,43 cm, estadísticamente igual al método Tanque FAO y superior estadísticamente al método Blaney-Criddle con 3,64 cm. En la segunda evaluación (octubre), el método Tanque FAO registró 5,19 cm, estadísticamente igual al método de Penman y superiores estadísticamente al método de Blaney-Criddle con 4,30 cm. En la tercera evaluación (noviembre), el método de Tanque FAO mostró el mayor valor (5,42 cm) y el menor valor el método de Blaney-Criddle (4,74 cm). En la cuarta evaluación (diciembre), el método de Tanque FAO alcanzó 5,73 cm y el menor valor el método de Blaney-Criddle con 4,67 cm. El análisis de varianza reportó diferencias altamente significativas en la primera y segunda evaluación y no se detectaron diferencias significativas en la tercera y cuarta evaluación. Los coeficientes de variación fueron 13,04; 9,32; 14,38 y 17,48 %, respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5. Ancho de la hoja, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

		Ancho de hoja (cm)			
Tratamiento	Métodos/Mes	1	2	3	4
s					
T1	Penman	4,43 a	4,93 a	5,30	5,21
T2	Blaney-Criddle	3,64 b	4,30 b	4,74	4,67
T3	Tanque FAO	4,38 ab	5,19 a	5,42	5,73
Promedio general		4,15	4,81	5,15	5,20
Significancia estadística		**	**	ns	ns
Coefficiente de variación (%)		13,04	9,32	14,38	17,48

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la variable largo de la hoja, el análisis de varianza reportó diferencias significativas en la primera evaluación (septiembre) y no se detectaron diferencias significativas en la segunda (octubre), tercera (noviembre) y cuarta evaluación (diciembre). Los coeficientes de variación fueron 9,80; 7,77; 11,81 y 16,58 %, respectivamente, según se observa en la Tabla 6. En la primera evaluación, el método de Penman reportó 7,5 cm de largo de la hoja, estadísticamente igual al método de Tanque FAO y superiores estadísticamente al método de Blaney-Criddle con 6,5 cm. En la segunda evaluación, el método Penman alcanzó el largo de la hoja con 8,4 cm y el método Blaney-Criddle reportó 7,6 cm. En la tercera evaluación, el método de Tanque FAO detectó 8,8 cm y el menor valor el método de Blaney-Criddle con 8,3 cm. El método Tanque FAO registró 9,3 cm en la cuarta evaluación, y el menor promedio fue para el método de Blaney-Criddle con 8,1 cm.

Tabla 6. Largo de la hoja, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

		Largo de hoja (cm)			
Tratamiento	Métodos/Meses	1	2	3	4
T1	Penman	7,5 a	8,4	8,6	8,2
T2	Blaney-Criddle	6,5 b	7,6	8,3	8,1
T3	Tanque FAO	7,1 ab	8,2	8,8	9,3
Promedio general		7,0	8,1	8,6	8,5
Significancia estadística		*	ns	ns	ns
Coefficiente de variación (%)		9,80	7,77	11,81	16,58

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En lo referente al número de hojas, no se observó diferencias significativas según el análisis de varianza (Tabla 7). El método de Tanque FAO superó los promedios en la primera evaluación en septiembre (28,2 hojas) y el menor valor el método de Blaney-Criddle (23,5 hojas). En la segunda evaluación en octubre, el método Penman registró mayor valor (33,1 hojas) y el menor promedio fue para el método de Blaney-Criddle (28,5 hojas). El método de Tanque FAO alcanzó mayor promedio en la tercera evaluación en noviembre (40,9 hojas) y el menor valor el método de Blaney-Criddle (39,4 hojas). El método de Tanque FAO obtuvo mayor promedio en la cuarta evaluación en diciembre (48,8 hojas) y el menor valor el método de Penman (44,8 hojas). Los coeficientes de variación fueron 15,15; 12,02; 12,87 y 11,65 %.

Tabla 7. Número de hojas, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Numero de hojas/por planta					
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2	3	4
T1	Penman	27,8	33,1	40,6	44,8
T2	Blaney-Criddle	23,5	28,5	39,4	45,0
T3	Tanque FAO	28,2	32,9	40,9	48,8
Promedio general		26,5	31,5	40,3	46,2
Significancia estadística		ns	ns	ns	ns
Coefficiente de variación (%)		15,15	12,02	12,87	11,65

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la variable número de flores, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas desde la primera a tercera evaluación (septiembre a noviembre) y diferencias altamente significativas en la cuarta evaluación (diciembre). Los coeficientes de variación fueron 9,96; 6,60; 18,83 y 16,19 %, respectivamente, según se observó en la Tabla 8. En la primera evaluación, el método de Tanque FAO reportó 1,0 flor, a diferencia de los otros métodos que no registraron flores. En la segunda evaluación (octubre), el método Tanque FAO mostró 11,4 flores y el menor promedio fue para el método de Blaney-Criddle con 7,9 flores. El método de Tanque FAO obtuvo mayor promedio en la tercera evaluación con 6,2 flores y el menor valor el método de Blaney-Criddle con 4,8 flores. En la cuarta evaluación, el método Tanque FAO reportó 20,3 flores, estadísticamente superiores a los demás tratamientos, siendo el menor promedio para el método de Blaney-Criddle con 10,7 flores.

Tabla 8. Número de flores, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Número de flores/planta					
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2	3	4
T1	Penman	0,4	10,2	5,9	13,5 b
T2	Blaney-Criddle	0,3	7,9	4,8	10,7 b
T3	Tanque FAO	0,7	11,4	6,2	20,3 a
Promedio general		0,4	9,8	5,6	14,8
Significancia estadística		ns	ns	ns	**
Coefficiente de variación		9,96	6,60	18,83	16,19

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

Para la circunferencia del tallo, el análisis de varianza no detectó diferencias altamente significativas en la primera evaluación (septiembre) y diferencias altamente significativas en la segunda (octubre), tercera (noviembre) y cuarta evaluación (diciembre). Los coeficientes de variación fueron 12,53; 8,96; 6,90 y 5,46 %, respectivamente (Tabla 9). En la primera evaluación, el método Tanque FAO registró mayor valor (2,0 cm) y el menor promedio fue para el método de Penman (1,7 cm). El método de Tanque FAO registró 2,4 cm de la circunferencia del tallo en la segunda evaluación (2,4 cm), estadísticamente igual al método Blaney-Criddle y superior estadísticamente para el método de Penman (2,1 cm). En la tercera evaluación, el método Tanque FAO reportó 2,9 cm de la circunferencia del tallo, estadísticamente superior a los métodos de Penman y Blaney- Criddle que registraron 2,5 cm. En la cuarta evaluación, el método Tanque FAO mostró 3,4 cm de la circunferencia del tallo, estadísticamente superior a los demás métodos, siendo el método de Penman que demostró menor promedio con 2,7 cm.

Tabla 9. Circunferencia del tallo, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Circunferencia del tallo (cm)					
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2	3	4
T1	Penman	1,7	2,1 b	2,5 b	2,7 b
T2	Blaney-Criddle	1,8	2,2 ab	2,5 b	2,9 b
T3	Tanque FAO	2,0	2,4 a	2,9 a	3,4 a
Promedio general		1,8	2,2	2,6	3,0
Significancia estadística		ns	**	**	**
Coefficiente de variación (%)		12,53	8,96	6,90	5,46

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la Tabla 10, se observó los promedios de número de frutos en la primera y segunda evaluación (noviembre y diciembre). El análisis de varianza reportó diferencias significativas en la primera evaluación y no se observaron diferencias significativas en la segunda evaluación. Los coeficientes de variación fueron 14,85 y 17,21 %, respectivamente. En la primera evaluación, el método de Tanque FAO, registró los promedios con 8,9 frutos/planta, estadísticamente igual al método de Penman y superiores estadísticamente al método de Blaney-Criddle con 6,3 frutos/planta. El método de Tanque FAO demostró mayor promedio en la segunda evaluación con 6,0 frutos/planta, y el menor promedio fue para el método de Blaney-Criddle con 5,5 frutos /planta.

Tabla 10. Número de frutos/planta, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Números de Frutos/Planta			
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2
T1	Penman	7,6 ab	5,9
T2	Blaney-Criddle	6,3 b	5,5
T3	Tanque FAO	8,9 a	6,0
Promedio general		7,6	5,8
Significancia estadística		*	ns
Coefficiente de variación (%)		14,85	17,21

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

Los promedios de la circunferencia del fruto de la primera y segunda evaluación (noviembre y diciembre) se presentan en la Tabla 11. El análisis de varianza reportó diferencias significativas en la primera y segunda evaluación. Los coeficientes de variación fueron 4,53 y 7,04 %, respectivamente. En la primera evaluación, el método de Tanque FAO, alcanzó los promedios con 11,5 cm, estadísticamente igual al método Penman y superior estadísticamente al método de Blaney-Criddle con 10,7 cm. El método de Tanque FAO alcanzó mayor promedio en la segunda evaluación con 8,7 cm, estadísticamente igual al método de Blaney-Criddle y superiores estadísticamente al método de Penman con 7,7 cm.

Tabla 11. Circunferencia del fruto, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Circunferencia del fruto (cm)			
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2
T1	Penman	11,0 ab	7,7 b
T2	Blaney-Criddle	10,7 b	8,3 ab
T3	Tanque FAO	11,5 a	8,7 a
Promedio general		11,1	8,2
Significancia estadística		*	*
Coefficiente de variación (%)		4,53	7,04

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la variable largo de los frutos, no se detectó diferencias significativas en la primera evaluación y segunda evaluación (noviembre y diciembre). Los coeficientes de variación fueron 6,96 y 8,53 %, respectivamente (Tabla 12). En la primera evaluación, el método de

Tanque FAO, mostró promedios con 10,3 cm y los menores promedios para los métodos de Penman y Blaney-Criddle, ambos con 10,0 cm. El método de Tanque FAO alcanzó mayor promedio en la segunda evaluación con 9,7 cm y el menor promedio fue para el método de Blaney-Criddle con 8,8 cm.

Tabla 12. Largos de los frutos, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

		Largo del fruto (cm)	
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2
T1	Penman	10,0	8,9
T2	Blaney-Criddle	10,0	8,8
T3	Tanque FAO	10,3	9,7
Promedio general		10,1	9,1
Significancia estadística		ns	ns
Coefficiente de variación (%)		6,96	8,53

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la Tabla 13, se registró los promedios de peso de 10 frutos. El análisis de varianza no reportó diferencias significativas en la primera y segunda evaluación (noviembre y diciembre). Los coeficientes de variación fueron 25,07 y 19,91 %, respectivamente. En la primera evaluación, el método de Tanque FAO, alcanzó los promedios con 0,44 kg y el menor promedio correspondió al método de Blaney-Criddle con 0,37 kg. El método de Tanque FAO alcanzó mayor promedio en la segunda evaluación con 0,42 kg y el menor promedio fue para el método de Blaney-Criddle con 0,40 kg.

Tabla 13. Peso de 10 frutos, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Peso del fruto (kg)			
Tratamientos	Métodos/Mes	1	2
T1	Penman	0,41	0,41
T2	Blaney-Criddle	0,37	0,40
T3	Tanque FAO	0,44	0,42
Promedio general		0,41	0,41
Significancia estadística		ns	ns
Coefficiente de variación (%)		25,07	19,91

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

En la Tabla 14, se registró los valores de rendimiento de fruto fresco por hectárea en kilogramos. El análisis de varianza no reportó diferencias significativas, el promedio general fue 111,89 kg/ha y el coeficiente de variación fue 7,35 %. El mayor valor lo reportó el tratamiento tanque FAO con 145,90 kg/ha que es igual estadísticamente a los demás tratamientos y cuyo menor valor lo presentó el tratamiento Blaney-Criddle con 83,01 kg/ha.

Tabla 14. Rendimiento total, en el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento calculadas por tres métodos matemáticos.

Rendimiento (kg/ha)		
Tratamientos	Métodos/Mes	Promedio del rendimiento por hectárea (kg/ha)
T1	Penman	106.77
T2	Blaney-Criddle	83.01
T3	Tanque FAO	145.90
Promedio general		111.89
Significancia estadística		ns
Coefficiente de variación (%)		7.35

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la Prueba de Duncan.

ns: no significativo

*= significativo

**= altamente significativo

Discusión

Mediante los resultados obtenidos se determinó que el requerimiento hídrico del cultivo de pimiento demostró resultados favorables ante la aplicación de láminas de agua calculadas por tres métodos diferentes, considerando que la evapotranspiración es uno de los parámetros importantes durante en el desarrollo de los cultivos y el conocimiento de ésta, permite establecer una buena planeación de los recursos hídricos, así como hacer un uso eficiente del agua de riego a nivel parcelario (Hernández et al., 2017).

La mayor altura de planta en todas las evaluaciones se registró cuando se utilizó el método de Tanque FAO; el ancho y largo de la hoja reportó diferencias altamente significativas

en la primera y segunda evaluación, disminuyendo en la tercera y cuarta evaluación, donde no se obtuvo diferencias significativas; el método de Blaney-Criddle presentó menor número de hojas en todas las evaluaciones; el método de Tanque FAO influyó para que existan mayor número de hojas, flores y circunferencia del tallo y en lo referente al número de frutos/planta, circunferencia del fruto, largo del fruto y peso de 10 frutos, sobresalieron sus promedios con el método de Tanque FAO, teniendo como referencia lo expresado por Zermeño et al (2017), donde sus investigaciones determinan que el método de Tanque FAO es eficiente para la programación del riego mediante el balance hídrico en el suelo, usándolo para determinar la tasa de ET de una plantación y en la programación del riego; además, determinaron la ET de referencia mediante el método FAO Penman-Monteith para calcular la ET de una plantación.

Conclusiones

Por los resultados obtenidos se lograron las siguientes conclusiones:

- La mayor altura de planta en todas las evaluaciones se registró cuando se utilizó el método de Tanque FAO.
- El ancho y largo de la hoja del tratamiento tanque FAO reportó diferencias altamente significativas en la primera y segunda evaluación, disminuyendo en la tercera y cuarta evaluación, donde no se obtuvieron diferencias significativas.
- El método de Blaney-Criddle presentó menor número de hojas en todas las evaluaciones.
- El método de Tanque FAO influyó para que existan mayor número de hojas, flores y circunferencia del tallo.
- En lo referente al número de frutos/planta, circunferencia del fruto, largo del fruto y peso de 10 frutos, sobresalieron sus promedios con el método de Tanque FAO.

Referencias bibliográficas

- Amézquita, E. (2019). Requerimientos de agua y nutrición de cultivos de flores. XI Congreso Nacional Agronómico, Congreso Nacional de Suelos. CIAT. Apartado. Aereo.6713, Cali Colombia. Obtenido de http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_215.pdf
- Coras, P. (2017). Lámina de agua superficial a evacuar en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 25(4), 393-397.
- Coras, P., Hahn Schlam, F., Diakite, L., Arteaga, R. (2020). Escurrimiento superficial como fuente de excesos de agua sobre terrenos agrícolas tropicales *Agricultura Técnica en México*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Texcoco, 32(2), 161-169.
- Duarte, C., Sarmiento, O. (2019). Influencia de tratamiento alternativo del agua de riego en los requerimientos hídricos de algunas hortalizas para condiciones de deficiencias hídricas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 12, 91-99.
- Fuentes, J. (2019). Técnicas de riego. México: Mundi-Prensa México. Obtenido de Sistema de riego en la agricultura. 45 p.
- Gómez, A., Rojas, H., Vallejo, F., Estrada, E. (2019). Determinación del requerimiento hídrico del pimentón en el municipio de Candelaria, departamento del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 59(4), 442-448.
- Guevara, J. (2021). La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo *Terra Nueva Etapa*, vol. XXII, núm. 31. Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela. pp. 31-72
- Hernández, J., Landeros, C., Martínez, J., López, G., Platas, D., Nikolskii, I. (2017). Valoración de la evapotranspiración real estimada y rendimiento de caña de azúcar en Veracruz,

- México Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(5), 1013- 1019.
- Moreno, A., Rivas, F., Cabello, M. (2021). El cultivo de pimiento. Extracto de la revista agricultura. Obtenido de http://www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/abonado_cultivos/cult_pimiento.htm
- Mossande, A., Brown, O., Mujica, A. (2021). Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(2), 5-10.
- Nieto, A., Troyo, E., García, J., Murillo, B., Ruiz, F., Pimienta, E. (2019). Efecto del estrés hídrico edáfico en emergencia y desarrollo de plántula en las especies de chile *Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annuum* L. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(3), 405-413.
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., Montero, M. (2020). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. Agrociencia, 45(1), 1-11.
- Ortiz, J., Miranda, H., Ceballos, S. (2018). Variabilidad espacial de la lámina de agua y rendimiento de la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo riego por aspersión. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(3), 497-507.
- Pérez, M. (2019). Evaluación de tres sustratos y cuatro dosis de bioestimulante para la producción de pimiento ornamental (*Capsicum annuum*) bajo invernadero (Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador). 97 p.
- Rivera, L. (2019). Riego, conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento. Estación Experimental Agrícola. Puerto Rico. Obtenido de <http://136.145.11.14/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Riego-v2005.pdf>
- Sánchez, C., Arrieta, A., Flórez, S., Mercado, T., Martínez, J., Martínez, A. (2019). Requerimiento hídrico de la berenjena *Solanum melongena* L. bajo riego por goteo en el Valle del Sinú. Agronomía Colombiana, 22(2), 170-176.
- Tijerina, L. 2014. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. Terra Latinoamericana, 17(3), 237-245.
- Zermeño, A., Melendres, A., Fuerte, L., Munguia, J., Ibarra, L. (2017). Tasa de evapotranspiración del cultivo de la vid y su relación con la de referencia del método FAO PENMAN-MONTEITH. Agrociencia, 51(1), 1-12.