



CRIA Norte

Cadena de chile Cahabonero

**NECESIDADES HÍDRICAS Y UMBRAL
ÓPTIMO DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN
DE CHILE CAHABONERO EN EL
MUNICIPIO DE CAHABÓN, A. V.**

Ángel Arce Canahuí
Inés Avendaño Vásquez
Luis Fernando Aguilar Quezada

Cobán, Alta Verapaz, Noviembre de 2018

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA. El contenido de esta publicación es responsabilidad de sus autores y de la institución a la que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

ACRONIMOS

CRIA: Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria

CUNOR: Centro Universitario del Norte

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

MAGA: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO.....	1
2.1. Requerimientos hídricos de los cultivos	1
2.2 Características físicas del suelo con fines de riego.....	4
3. OBJETIVOS.....	6
4. HIPÓTESIS.....	7
5. METODOLOGÍA	7
5.1 Localidad y época	7
5.2 Diseño experimental	8
5.3 Tamaño de las unidades experimentales.....	9
5.4 Modelo estadístico:	9
5.5 Variables respuesta	9
5.6 Análisis de la información:	9
5.7 Manejo del experimento	10
6. RESULTADOS.....	10
7. CONCLUSIONES	14
8. RECOMENDACIONES	15
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
10. Anexo	17

NECESIDADES HÍDRICAS Y UMBRAL ÓPTIMO DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE CHILE CAHABONERO EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARIA CAHABÓN, ALTA VERAPAZ

Ing. M.Sc. Angel Arce Canahui¹
Ing. Agr. Inés Avendaño Vásquez²
T. U. Luis Fernando Aguilar Quezada³

RESUMEN

La investigación se realizó con el propósito de determinar las necesidades hídricas del cultivo, el caudal de reposición en cada riego y con qué frecuencia debía aplicarse, evaluándose los umbrales 4.8 l/planta, 9.6 l/planta, 14.4 l/planta, 19.2 l/planta y 24 l/planta, con las frecuencias de riego 2, 4, 6 y 8 días, lo cual hizo un total de 20 tratamientos más un testigo.

El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo factorial con 2 repeticiones. Las variables respuesta consideradas fueron altura de planta en cm, número de frutos por planta y rendimiento en peso seco de chile en Kg/ha.

Para determinar las necesidades hídricas del cultivo, debido a la escasa información climática que se dispone se aplicaron los métodos de Blaney & Cridle y Penman, este último complementado con uso de tablas.

Los resultados obtenidos indican que la necesidad hídrica del cultivo en todo su ciclo es 789 mm, siendo julio el mes crítico con 250 mm.

El análisis de varianza para la variable rendimiento fue significativo al 5%, encontrándose similitud de medias entre el umbral más alto de 24 litros/planta, aplicados cada 2 días o cada 4 días, obteniendo rendimientos de 1164.73 Kg/ha y 1106.17 Kg/ha respectivamente.

Para las variables altura de planta y número de frutos por planta, no hubo diferencia entre umbrales pero si entre frecuencias por lo que sin importar el umbral la altura de planta y número de frutos por planta fueron siempre superior en la frecuencia de cada 2 días.

¹ Investigador principal

² Investigador asociado

³ Investigador técnico

SUMMARY

The investigation was carried out with the purpose of determining the water needs of the crop, the replenishment rate for each irrigation and how often it should be applied, evaluating the thresholds 4.8, 9.6, 14.4, 19.2 and 24 l / plant, with the irrigation frequencies 2, 4, 6 and 8 days, which made a total of 20 treatments plus a witness.

The experimental design was randomized blocks with a factorial arrangement with 2 repetitions. The response variables considered were plant height, number of fruits per plant and yield in dry weight of chili in Kg / ha.

To determine the water needs of the crop, due to the scarce climatic information that is available, the Blaney & Cridle methods were applied and the Penman method was supplemented with tables.

The results obtained indicate that the water need of the crop in its entire cycle is 789 mm, with July being the critical month with 250.

The analysis of variance for the yield variable was significant at 5%, finding similarity of means between the highest threshold of 24 liters / plant, applied every 2 days or every 4 days, obtaining yields of 1164.73 and 1106.17 Kg / ha respectively.

For the variables plant height and number of fruits per plant, there was no difference between thresholds but between frequencies, so regardless of the threshold, the plant height and number of fruits per plant were always higher in the frequency of every 2 days.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile tipo Cahabonero, se ha venido realizando en el municipio de Santa María Cahabón, Alta Verapaz, de una manera empírica sin el uso de insumos tecnológicos que maximicen la productividad del cultivo y mejoren su rentabilidad. La aplicación y manejo del agua de riego como un componente de la tecnología de producción puede contribuir a lograr dicho propósito.

Es un hecho comprobado que producir bajo condiciones de riego permite mejorar los rendimientos y la calidad de las cosechas, así como eliminar la dependencia de temporada de lluvias y producir en cualquier época para aprovechar otras ventanas de mercado con mejores precios de venta.

La tecnología de aplicación de agua de riego para suplir los requerimientos hídricos del cultivo o como suplemento cuando la precipitación pluvial no es suficiente, es indispensable para potenciar su máxima productividad, sin embargo, para lograr que la tecnología surta los efectos deseados es indispensable generar in situ la información básica necesaria que considere las características de clima y suelo propias del lugar, específicamente lo que se refiere a ¿cuánto regar? y ¿cuándo regar?

Para determinar cuánto regar se evaluaron 5 umbrales de riego que definieron las dosis o láminas netas de riego y para determinar cuándo regar se evaluaron 4 diferentes frecuencias de riego.

Los tratamientos definidos por la combinación lámina frecuencia se evaluaron en un diseño de Bloques al azar con arreglo bifactorial combinatorio (5x4) más un testigo absoluto, lo cual hace un total de 21 tratamientos que se repitieron en dos diferentes localidades para un total de 42 unidades experimentales.

Cómo variables respuesta se midió el crecimiento de la planta, el número de frutos por planta y el rendimiento en Kg/Ha.

Para fines del presente estudio los tratamientos se aplicaron mediante un sistema de riego por goteo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Requerimientos hídricos de los cultivos

El consumo de agua de los cultivos o sus requerimientos hídricos básicamente lo constituye el agua que se evapora directamente del suelo cultivado o del propio follaje, más el agua que se pierde por el proceso de

transpiración de las plantas, por lo que a dicho requerimiento se le ha denominado evapotranspiración.⁴

Israelsen y Hansen indican que la evapotranspiración puede ser calculada, para un cultivo, una parcela, una finca, un proyecto o una cuenca, y que el volumen de agua evapotranspirado por las plantas depende del agua que tienen a su disposición, de la temperatura y humedad del aire, del régimen de vientos, de la intensidad luminosa del sol, del estado de desarrollo de la planta, de su follaje y de la naturaleza de sus hojas.

Grassi, C.J.⁵; menciona dos tipos de evapotranspiración, siendo ellos la potencial y la real cuyas características se describen a continuación:

2.1.1. Evapotranspiración potencial (ETP)

Penman, citado por Grassi, establece que la evapotranspiración potencial, es la pérdida de agua, que ocurriría en una superficie cubierta totalmente de vegetación; sin ninguna restricción de humedad edáfica; depende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, dadas por las características físicas de la atmósfera vecina del suelo; siendo características como la radiación global, coeficiente de reflexión, temperatura del aire, velocidad del viento y números de horas sol.

Para Pruit, WQ.⁶; la evapotranspiración real es la cantidad de agua que se pierde por la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, bajo las condiciones actuales de tiempo. Esta puede ser igual a la evapotranspiración potencial, sólo cuando el suelo está a capacidad de campo y los cultivos han llegado a una fase de desarrollo en que cubren completamente el suelo.

Según lo anterior, la evapotranspiración real por medio del coeficiente K_c , considera el efecto físico- fisiológico que deriva de la planta y el suelo, mientras la evapotranspiración potencial incluye aspectos del orden físico que dependen del clima.

⁴ Israelsen, OW; Hansen, VE. 1979. *Principios y aplicaciones del riego*. García Palacios, A. (trad.). Barcelona, España, Reverté. 391 p.

⁵ Grassi, CJ. 1978. *Aspectos metodológicos para la determinación experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego*. Mérida, Venezuela, C.I.D.I.A.T. Serie riego y drenaje. Material didáctico No. RD-26. 107 p.

⁶ Pruit, WQ. 1976. *Las necesidades de agua en los cultivos*. Roma, FAO. Serie de riego y drenajes No. 24. 110 p.

2.1.2. Coeficiente del cultivo (Kc)

Doorembos y Kassam⁷, indican que el coeficiente de Kc, se refiere básicamente a la relación entre las necesidades diarias de riego del cultivo (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo). El Kc, se obtiene de acuerdo a las cuatro fases de desarrollo del cultivo siendo estas las siguientes:

1. FASE INICIAL: germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo.
2. FASE DE DESARROLLO DEL CULTIVO: desde final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva.
3. FASE DE MEDIADOS DEL PERIODO: Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva hasta el momento de iniciarse la maduración.
4. FASE FINALES DEL PERIODO: desde el final de la fase anterior hasta la recolección.

2.1.3. Métodos para determinar la evapotranspiración

De acuerdo a Israelsen y Hansen, existen dos métodos para la determinación de la evapotranspiración: el directo y el indirecto.

Se utilizaron para calcular la evapotranspiración en el sitio experimental los métodos el indirectos de Penman-Monteith y Blaney & Cridle.

A. Método de Penman

El método de Penman – Monteith puede considerarse como el método estándar de todos los métodos combinados para estimar la evapotranspiración (ET) del cultivo de referencia.

La mayoría de los métodos combinados presentan ligeras diferencias, dependiendo del tipo de cultivo y de la localización de los instrumentos meteorológicos. Por esta razón, el método de Penman – Monteith utiliza términos como la resistencia aerodinámica del follaje para relacionar la altura de los instrumentos meteorológicos con la altura del cultivo y la resistencia estomática a la transpiración mínima que dependerá del tipo de cultivo y de su altura.

⁷ Doorembos, J.; Kassam, AH. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. Estudio FAO: Riego y Drenaje no. 33. 212 p

La ecuación de Penman – Monteith se define:

ET = ET radiación + ET aerodinámica

La ecuación final es:

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right]$$

En donde

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

γ^* = constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar/°C)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (mb)

e_s = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb)

e_a = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb)

L = calor latente de vaporización (cal/gr)

Δ = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar/°C)

γ = constante psicométrica

R_n = energía de radiación neta (cal/(cm² día)

T = temperatura promedio (°C)

G = flujo termal del suelo (cal/cm²)

2.2 Características físicas del suelo con fines de riego

Realizar la determinación de las características del suelo, permite conocer las condiciones en que se va a efectuar el riego, con el fin de obtener información y en base a ella programar la aplicación de riego de una forma técnica que permita un mayor porcentaje de eficiencia.

Dentro de las características a determinar, se encuentra la capacidad de campo; el punto de marchitez permanente y la densidad aparente, las cuales se describen a continuación:

2.2.1 Capacidad de campo

El servicio de conservación de los suelos de Estados Unidos⁸, define la capacidad de campo como la cantidad de agua que retiene un

⁸ de la Torre, EÁ (trad.). 1999. Relaciones entre suelo-planta-agua. México, Diana. 99 p.

suelo con buen drenaje, después de que el agua libre ha sido filtrada, es decir la máxima cantidad de agua que puede retener un suelo contra la gravedad.

Existen diferentes formas de determinar la capacidad de campo, siendo las más comunes el método de la olla de presión, el método de la textura y el método de la columna de suelo.

A) Método de la olla de presión

Whithers, D.W. y Vipond S.⁹; consideran que este método consiste en aplicar aire a presión a 1/3 de atmósfera a muestras de suelo previamente saturadas. El equipo que se utiliza es una olla de presión y platos de cerámica, anillos de hule de 1 cm de alto y 6 cm de diámetro para contener muestras de 25 gr. También se hace uso de una balanza, una estufa y botes para determinar la humedad.

La muestra se prepara por triplicado con 25 gr de suelo tamizado, colocando el suelo en anillos de retención en el plato poroso que evita la separación de las partículas, se coloca el suelo en cada anillo y se empareja el contenido de cada uno de ellos.

Se dejan las muestras saturadas agregando agua en el plato poroso durante 18 horas y se retira el exceso de agua con una pipeta, se tapa la olla y se aplica una presión de 1/3 de atmósfera por un periodo de 18 a 24 horas hasta que deje de escurrir agua. Las muestras se pasan a botes y se calcula el valor de la capacidad de campo en porcentaje en relación al peso seco.

2.2.2 Punto de marchitez permanente

Méndez García, Jorge Gerardo¹⁰; indica que el punto de marchitez permanente, representa el límite inferior de aprovechamiento de agua del suelo por las plantas. Se considera que una planta llega a su punto de marchitez permanente cuando no se recupera después de haber sido colocada en una atmósfera saturada en la que no se produce consumo aparente alguno.

El punto de marchitez permanente, se puede determinar en laboratorio, sometiendo muestras de suelo a tensiones de 15 atmósferas

⁹ *Ibíd.*

¹⁰ Méndez García, JG. 1996. *Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (Cucumis melo L.) en el valle de la fragua, Zacapa, Guatemala*, Universidad de San Carlos de Guatemala.

y determinando el contenido de humedad final. También se puede hacer uso del método de girasol, sembrado en recipientes.

2.2.3 Densidad aparente

Mazariegos Robledo, Alberto¹¹; considera que la densidad aparente, se define como el cociente que resulta de dividir el peso del suelo seco entre el volumen total incluyendo los poros, se expresa en g/cc; para fines prácticos esto es igual a gravedad específica o peso volumétrico. Esto se reduce a la siguiente fórmula:

$$D_a = W_s / VT$$

La determinación de la densidad aparente puede realizarse a través de diferentes métodos tales como del terrón o parafina, del cilindro o del agujero

2.5 Déficit permisible de manejo (DMP)

El DMP, es también conocido como Umbral de riego. Normalmente se expresa como el porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usada por el cultivo sin que la producción de éste disminuya. De manera general el DPM, varía entre 15 y 85 % del agua disponible total, siendo de 15 a 40 % para cultivos susceptibles a la sequía y de 60 a 80 % para cultivos resistentes a la sequía. El valor comúnmente utilizado es de 50%.

3. OBJETIVOS

General

Determinar las necesidades hídricas y el umbral óptimo de riego, en la producción de chile cahabonero (*Capsicum annuum* L.), en el municipio de Santa María Cahabón, Alta Verapaz, para incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo.

Específicos:

1. Determinar las necesidades hídricas del cultivo de chile Cahabonero para las condiciones climáticas del municipio de Cahabón, Alta Verapaz.

¹¹ Mazariegos Robledo, A. 1997. *Evaluación del efecto de tres frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de hierba mora (Solanum sp), bajo las condiciones del centro experimental docente de Agronomía (CEDA)*. Tesis Ing. Agr. Ciudad de Guatemala, Guatemala, USAC.

2. Determinar el umbral óptimo y la mejor frecuencia de riego para lograr la máxima productividad del cultivo.
3. Promover entre los productores de chile cahabonero, el uso de tecnologías de manejo del agua de riego para mitigar efectos de posibles sequías que pudieran presentarse como consecuencia del cambio climático.

4. HIPÓTESIS

Para evitar el gasto energético de la planta de chile cahabonero en la obtención de agua, la condición de humedad del suelo debe mantenerse el mayor tiempo posible a capacidad de campo lo cual se logrará llenando constantemente sus microporos sin rebasar su capacidad para no producir condición de anegamiento que también es una condición nociva para la mayoría de cultivos.

Con base a lo analizado anteriormente, se espera que si se aplican pequeñas dosis de riego en cortos períodos de tiempo que no resulten imprácticos para el manejo del agua, se produzcan incrementos significativos en la producción de chile cahabonero y mejoren la rentabilidad del cultivo.

5. METODOLOGÍA

Se recabó información de datos climáticos de temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y horas de fuerte insolación para calcular de manera indirecta por el método de Blaney & Cridle y Penman, la evapotranspiración de referencia diaria y mensual. Estos valores se multiplicaron por el coeficiente de cultivo en sus diferentes etapas de desarrollo (se utilizó el coeficiente reportado para el chile habanero por no existir un coeficiente específico para chile cahabonero) para finalmente obtener las necesidades hídricas del cultivo de chile Cahabonero.

5.1 Localidad y época

El experimento se montó en la época de verano en las comunidades de San José Canihor y San Martín Chichaj, del municipio de Cahabón, donde la mayoría de agricultores se dedican a la producción de chile cahabonero. En dicho experimento se sometieron a prueba 5 umbrales de riego, 15%, 30%, 45%, 60% y 75% de la lámina de humedad aprovechable, respectivamente y se compararon con un testigo

Los umbrales de riego se probaron en 4 diferentes frecuencias 2 días, 4 días, 6 días y 8 días.

Para calcular los umbrales de riego se obtuvieron muestras de suelo en cada localidad y se les hizo un análisis textural a fin de estimar de manera indirecta los parámetros de capacidad de campo y punto de marchites permanente, para

poder obtener la lámina de humedad aprovechable aplicando la fórmula sugerida por Palacios en 1976¹², y la sugerida por Coras en 1983¹³.

5.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de Bloques al azar con arreglo bi factorial combinatorio, se evaluaron 21 tratamientos con 2 repeticiones lo que hizo un total de 42 unidades experimentales

Factor Umbral de riego:

Nivel 1 = 4.8 l/planta

Nivel 2 = 9.6 l/planta

Nivel 3 = 14.4 l/planta

Nivel 4 = 19.2 l/planta

Nivel 5 = 24 l/panta

Factor Frecuencia de riego

Nivel 1 = Riego cada 2 días

Nivel 2 = Riego cada 4 días

Nivel 3 = Riego cada 6 días

Nivel 4 = Riego cada 8 días

Tratamientos

T1 = U1F1

T7 = U2F3

T13 = U4F1

T19 = U5F3

T2 = U1F2

T8 = U2F4

T14 = U4F2

T20 = U5F4

T3 = U1F3

T9 = U3F1

T15 = U4F3

T21 = Testigo absoluto

T4 = U1F4

T10 = U3F2

T16 = U4F4

T5 = U2F1

T11 = U3F3

T17 = U5F1

T6 = U2F2

T12 = U3F4

T18 = U5F2

¹² Palacios, E. 1976. Cuánto, cuándo y cómo regar. Guatemala, DIRENARE. Mem. Tecn. no. 4. 67 p.

¹³ Coras, P. 1983. Características y propiedades físicas del suelo en relación al riego. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 125 p.

5.3 Tamaño de las unidades experimentales

Cada unidad experimental estuvo conformada por un área de 27 m² (9 m de largo por 3 m de ancho).

Dejando calles de 1 m entre unidades experimentales se dispuso de un lote experimental de 960 m² en cada comunidad, es decir 2.0 cuerdas en cada comunidad

5.4 Modelo estadístico:

El modelo estadístico típico de un diseño experimental de Bloques al azar de 2 factores con arreglo combinatorio

$$Y_{ij} = \mu + T_i + U_j + F_k + E(U_j) + E(F_k) + E(U \times F)_{jk} + EB_{ijk}$$

Donde:

μ = a la media general sin aplicación de ningún tratamiento

T_i = Efecto del tratamiento i

U_j = Efecto del umbral j

F_k = Efecto de la frecuencia de riego k

$E(U_j)$ = Error debido al umbral de riego

$E(F_k)$ = Error debido a la frecuencia F

$E(U \times F)$ = Error debido a la interacción

EB_{ijk} = Efecto de bloques

5.5 Variables respuesta

Se tomaron como variables respuesta para medir el efecto de los tratamientos

El rendimiento del cultivo en Kg/Ha.

Crecimiento de la planta

Número de frutos por planta

5.6 Análisis de la información:

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y habiendo encontrado significancia se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Scott Knott.

Las comparaciones del mejor umbral y mejor frecuencia con el testigo se realizaron mediante prueba T de muestras independientes de tamaño desigual

Se realizó además un análisis de Beneficio/Costo a fin de poder seleccionar el tratamiento más efectivo no solo desde el punto de vista de la productividad sino desde el punto de vista de la rentabilidad.

5.7 Manejo del experimento

Se aplicó uniformemente a todas las unidades experimentales el manejo que los agricultores de la comunidad le dan a su cultivo.

Para la conducción del agua se utilizó únicamente en la comunidad de San Martín Chichaj una bomba operada a base gasolina. En cada comunidad se usó un tinaco con capacidad para almacenar 2500 litros de agua y poder disponer de ella en cualquier momento.

6. RESULTADOS

Las necesidades hídricas del cultivo calculadas por los métodos de Blaney & Cridle y Penman dieron similares resultados (786.76 mm por Blaney & Cridle y 789.7 mm por el método de Penman) como puede observarse en el cuadro 4 del anexo. En ambos casos el mes de más alta demanda de agua dentro del periodo en que se realizó la investigación fue el mes de Julio con 198.77 mm con Blaney & Cridle y 250.79 mm con el método de Penman.

Si se considera este último resultado, se puede afirmar que las necesidades hídricas del cultivo en el mes crítico fue de 8.09 mm por día en un área sombreada aproximada de 0.385 m² por planta (considerando un radio de proyección ortogonal de 35 cm), la necesidad hídrica neta es de 3.115 litros/día/planta.

En cuanto a los diferentes tratamientos de umbral y frecuencia, según el análisis de varianza para la variable rendimiento existe diferencia significativa por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias. Como puede observarse en el cuadro 7 del anexo, el umbral más alto con la menor frecuencia (regar cada dos días) o con la frecuencia de regar cada 4 días son estadísticamente similares y diferentes a todos los demás dando los mejores rendimientos de 1164.73 y 1106.17 kg/ha respectivamente (ver cuadro 1)

Este resultado contradice parcialmente la hipótesis de trabajo en cuanto a que es preferible regar poco con mayor frecuencia, sin embargo, haciendo un análisis de las condiciones edáficas y topográficas en las que se llevó a cabo el experimento y correlacionando las mismas con el caudal de descarga del emisor (5 litros/hora) se obtiene que los suelos en ambas comunidades como puede observarse en el cuadro 8 del anexo, son de textura arcillosa con baja velocidad de infiltración (5 mm/hora como promedio), en pendientes que superan el 100%. Si bajo dichas condiciones se considera una eficiencia de uniformidad del 80% y una eficiencia por percolación del

100%, entonces la eficiencia total sería del 80% y las necesidades totales de agua del cultivo para 2 días serían de 20.23 mm para lo cual se necesitarían 4 horas de contacto del agua con el suelo y en ese tiempo el gotero aplica 20 litros. A este análisis hay que agregar que la alta pendiente del terreno aunado al alto caudal del emisor, provoca movimiento del agua en el sentido de la pendiente reduciendo el tiempo de contacto del agua con el suelo, por lo que para lograr que el agua penetrara toda la zona de raíces era necesario aumentar el tiempo de riego, aplicando mucha más agua de la realmente necesaria. Cabe señalar sin embargo, que con el umbral de 24 litros/planta, cada 4 días, en realidad se estarían aplicando 6 l/día/planta, resultado que no es excesivamente superior al obtenido por-Sanchez, C. et al. 2003¹⁴ de 5.32 l/día/planta para chile pimiento (*Capsicum annum* L).

El comportamiento de las variables altura de planta y número de frutos por planta, como puede observarse en los cuadros 2 y 3, mantuvieron la misma tendencia, el tratamiento con umbral más grande (24 litros) produjo mayor crecimiento de plantas y mayor número de frutos por planta y sin importar el umbral, la altura de planta y número de frutos por planta fueron siempre superior en la frecuencia de cada 2 días.

La importancia que en la presente investigación se atribuye al crecimiento de la planta es que en la medida en que la planta crezca, tendrá mayor área foliar para su proceso de fotosíntesis y consecuentemente el número de frutos por planta será mayor como puede observarse en la tabla 3. Los análisis de varianza para ambas variables no fueron significativas para umbrales y si para frecuencias de riego.

Por último, es necesario hacer notar que, al comparar el mejor umbral y la mejor frecuencia con el testigo, el rendimiento se triplicó.

¹⁴ TEMAS AGRARIOS - Vol. 8:(1), Enero - Junio 2003 (11 - 20)

Cuadro 1. Rendimiento en Kg/Ha. Cahabón, A. V. 2018

Umbral	Frecuencia	Bloques		X
		I (Canihor)	II (Chichaj)	
4.8 litros/planta	Cada 2 Días	797.32	904.60	850.96
	Cada 4 Días	574.04	643.96	609.00
	Cada 6 Días	550.69	353.72	452.21
	Cada 8 Días	434.52	265.46	349.99
9.6 litros/planta	Cada 2 Días	752.67	781.04	766.86
	Cada 4 Días	576.17	867.37	721.77
	Cada 6 Días	629.33	427.07	528.20
	Cada 8 Días	389.09	358.29	373.69
14.4 litros/planta	Cada 2 Días	571.94	373.01	472.48
	Cada 4 Días	544.29	771.62	657.96
	Cada 6 Días	249.31	552.05	400.68
	Cada 8 Días	292.76	540.79	416.78
19.2 litros/planta	Cada 2 Días	522.39	780.43	651.41
	Cada 4 Días	752.65	789.64	771.15
	Cada 6 Días	642.11	697.33	669.72
	Cada 8 Días	459.24	338.33	398.79
24 litros/planta	Cada 2 Días	1135.42	1194.03	1164.73
	Cada 4 Días	875.98	1336.35	1106.17
	Cada 6 Días	584.73	249.46	417.10
	Cada 8 Días	352.42	527.65	440.04
Testigo		421.08	351.25	386.17

Fuente: Datos de campo

Cuadro 2. Altura de planta a los 90 días de siembra (cm). Cahabón, A. V. 2018

Umbral	Frecuencia	Bloques		Promedio
		I	II	
4.8 litros/planta	Cada 2 Días	48	71	59.5
	Cada 4 Días	46	71	58.5
	Cada 6 Días	49	46	47.5
	Cada 8 Días	37	55	46
9.6 litros/planta	Cada 2 Días	44	48	46
	Cada 4 Días	40	47	43.5
	Cada 6 Días	44	59	51.5
	Cada 8 Días	38	51	44.5
14.4 litros/planta	Cada 2 Días	47	67	55.5
	Cada 4 Días	50	56	53
	Cada 6 Días	37	58	47.5
	Cada 8 Días	40	54	47
19.2 litros/planta	Cada 2 Días	48	65	56.5
	Cada 4 Días	46	60	53
	Cada 6 Días	43	56	49.5
	Cada 8 Días	35	50	42.5
24 litros/planta	Cada 2 Días	62	77	69.5
	Cada 4 Días	53	70	61.5
	Cada 6 Días	47	60	53.5
	Cada 8 Días	47	58	52.5
Testigo		44	52	48

Fuente: Datos de campo

Cuadro 3. Número de frutos por planta a los 90 días de siembra, Cahabón, A. V. 2018

Umbral	Frecuencia	Bloques		X
		I (Canihor)	II (Chichaj)	
4.8 litros/planta	Cada 2 Días	167	112	140
	Cada 4 Días	168	159	164
	Cada 6 Días	156	63	110
	Cada 8 Días	127	52	90
9.6 litros/planta	Cada 2 Días	301	84	193
	Cada 4 Días	170	104	137
	Cada 6 Días	213	61	137
	Cada 8 Días	122	90	106
14.4 litros/planta	Cada 2 Días	184	178	181
	Cada 4 Días	186	125	156
	Cada 6 Días	79	65	72
	Cada 8 Días	96	85	91
19.2 litros/planta	Cada 2 Días	158	185	172
	Cada 4 Días	251	112	182
	Cada 6 Días	191	139	165
	Cada 8 Días	178	90	134
24 litros/planta	Cada 2 Días	307	171	239
	Cada 4 Días	308	182	245
	Cada 6 Días	183	74	129
	Cada 8 Días	115	55	85
Testigo		89	68	79

Fuente: Datos de campo

7. CONCLUSIONES

Los requerimientos hídricos del cultivo de chile cahabonero, para las condiciones climáticas del municipio de Cahabón, Alta Verapaz, estimadas por el método de Penman, son de 3.115 litros netos/día/planta y un requerimiento total de 3.894 litros/día/planta

El umbral de riego más efectivo, para las condiciones edáficas y topográficas en las que se realizó la investigación es de 24 litros/planta, aplicado cada 2 días o aplicado cada 4 días, ya que no hubo diferencia significativa entre aplicar dicho umbral cada 2 días o aplicarlo cada 4 días

El umbral de riego determinado como más efectivo (24 l/planta cada 2 días o cada 4 días) está en función del tiempo necesario para lograr que el agua penetre en el suelo hasta humedecer la zona radicular del cultivo (4 horas mínimo) y no en la cantidad de agua aplicada.

El exceso de agua aplicado con dicho umbral se debió a la textura arcillosa del suelo, a la alta pendiente del terreno y al alto caudal del emisor, ya que en el tiempo requerido para humedecer toda la zona de raíces (4 horas) el emisor estuvo aplicando 20 litros de agua que no se almacenaron totalmente, pues debido a la pendiente, parte de la misma se perdió por escorrentía.

El más bajo umbral no satisfizo a cabalidad los requerimientos hídricos del cultivo, ya que al aplicar 4.8 litros en la menor frecuencia de cada 2 días, solo se estaban aplicando realmente 2.4 litros/día/planta.

El umbral más alto con la frecuencia de cada 2 días, estadísticamente es similar al mismo umbral con la frecuencia de cada 4 días, por lo que en realidad pueden aplicarse únicamente 6 litros/día/planta, que no es considerablemente mayor al requerimiento total de 3.894 litros/día/planta y en lo cual está influyendo el tiempo con que el agua penetra en el perfil del suelo.

8. RECOMENDACIONES

Validar los resultados de la presente investigación, evaluando el umbral que satisfaga los requerimientos hídricos, en condiciones más favorables de suelo y topografía y con un sistema de riego cuya descarga por emisor sea menor.

Evaluar otras formas de aplicar el agua ya que el riego por goteo requiere de una alta inversión que no está al alcance de los productores de chile cahabonero

Realizar otras investigaciones relacionadas para determinar el coeficiente de cultivo específico en cada etapa de desarrollo, así como la duración de las mismas, tomando en cuenta también otras variables tales como área foliar, profundidad y desarrollo radicular.

Conformar paulatinamente paquetes tecnológicos y evaluarlos, a fin de ir disponiendo de ellos para mejorar la productividad y calidad del chile cahabonero.

Gestionar una denominación de origen que permita lograr mejores precios en su mercadeo

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coras, P. 1983. Características y propiedades físicas del suelo en relación al riego. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 125 p.

Doorembos, J.; Kassam, AH. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. Estudio FAO: Riego y Drenaje no. 33. 212 p.

Espinoza Fuentes, F. 2001. *Manual de diseños de sistemas de riego tecnificado*. Colombia. 220 p.

Grassi, CJ. 1978. *Aspectos metodológicos para la determinación experimental de la evapotranspiración y la frecuencia de riego*. Mérida, Venezuela, C.I.D.I.A.T. Serie riego y drenaje. Material didáctico No. RD-26. 107 p.

Israelsen, OW; Hansen, VE. 1979. *Principios y aplicaciones del riego*. García Palacios, A. (trad.) Barcelona, España, Reverté. 391 p.

Mazariegos Robledo, A. 1997. *Evaluación del efecto de tres frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de hierba mora (Solanum sp), bajo las condiciones del centro experimental docente de Agronomía (CEDA)*. Tesis Ing. Agr. Ciudad de Guatemala, Guatemala, USAC. 62 p.

Méndez Garcia, JG. 1996. *Efecto de cinco frecuencias de riego en el rendimiento y evapotranspiración en melón (Cucumis melo L.) en el valle de la fragua, Zacapa, Guatemala*, Universidad de San Carlos de Guatemala. 55 p.

Palacios, E. 1976. Cuánto, cuándo y cómo regar. Guatemala, DIRENARE. Mem. Tecn. no. 4. 67 p.

Palacios, VE. 1999. *Por qué?, Cuándo?, Cuánto? y cómo regar?, para lograr mejores cosechas: Manual para usuarios y Técnicas del agua*. Departamento de irrigación. Chapingo, México. 211 p.

Pruit, WQ. 1976. *Las necesidades de agua en los cultivo*. Roma, FAO. 110 p. (Serie de riego y drenajes No. 24).

Sánchez, C.; Jaraba, D.; Medina, J.; Martínez, J.; Martínez, A. 2003. Requerimientos hídricos del ají duce (*Capsicum annum* L.) bajo riego por goteo en el valle del Sinu medio. *Temas Agrarios*. 8:(1), Enero - Junio 2003 (11 - 20).

de laTorre, EÁ (trad.). 1999. *Relaciones entre suelo-planta-agua*. México, Diana. 99 p.

Withers, DW; Vipond, S. 1979. *El riego: diseño y práctica*. Contin, A. (trad.). México, Diana. 150 p.

10. Anexo

Cuadro 4. Cálculo de las necesidades hídricas por los métodos indirectos de Blaney & Cridle y Penman. Cahabón, 2018

BLANEY & CRIDLE

	Tmax	Tmin	Tmed ia	P(hor as luz)	Etp cm/m es	Etp dia mm/d ia	Kc	ETC	vv km/h r	n horas luz	N Horas Insolacion (TABLA)	n	HR (%)	ETC grafica (mm/dia)	ETC mes mm/mes	
abril	35.80	20.10	27.95	8.46	17.74	5.91	0.60	10.65	6.03	5.50	7.50	12.50	0.60	88.00	5.60	95.20
mayo	35.70	21.10	28.40	9.00	19.06	6.35	0.60	11.44	11.44	3.30	7.80	12.80	0.61	89.00	5.20	161.20
junio	33.60	21.70	27.65	8.82	18.38	6.13	1.05	19.30	19.30	3.60	7.00	13.00	0.54	90.00	4.20	130.20
julio	34.00	21.60	27.80	9.05	18.93	6.31	1.05	19.88	19.88	3.30	7.90	12.90	0.61	90.00	5.20	161.20
agosto	34.50	21.70	28.10	8.84	18.61	6.20	0.90	16.75	16.75	3.10	7.60	12.60	0.60	91.00	5.20	161.20
septiembre	35.10	22.10	28.60	8.27	17.60	5.87	0.90	15.84	5.28	3.20	6.20	12.20	0.51	91.00	4.00	40.00
									78.68						29.40	749.00

PENMAN

	Tmax	Tmin	Tmd	ea	HR	ed	Ra mm/d ia	(Po/p)*(Δ/ y)	n/N	σT_k^4	\sqrt{ed}	U (vv m/s)	N	nubosidad	ET	kc	ETC	dias/mes	etc	n	
abril	35.80	20.10	27.95	39.82	0.88	35.04	15.63	3.27	0.60	16.20	5.92	1.53	12.50	5.00	7.49	0.60	4.49	30.	17.00	76.40	7.50
mayo	35.70	21.10	28.40	38.69	0.89	34.43	15.95	3.45	0.61	16.35	5.87	0.92	12.80	5.00	8.27	0.60	4.96	31.	30.00	148.88	7.80
junio	33.60	21.70	27.65	36.92	0.90	33.23	15.85	3.27	0.54	16.21	5.76	1.00	13.00	6.00	4.84	1.05	5.08	30.	31.00	157.48	7.00
julio	34.00	21.60	27.80	37.36	0.90	33.62	15.85	3.27	0.61	16.25	5.80	0.92	12.90	5.00	7.70	1.05	8.09	31.	31.00	250.79	7.90
agosto	34.50	21.70	28.10	38.02	0.91	34.60	15.70	3.44	0.60	16.31	5.88	0.86	12.60	5.00	7.64	0.60	4.59	31.	30.00	137.56	7.60
septiembre	35.10	22.10	28.60	39.14	0.91	35.62	15.08	3.44	0.51	16.42	5.97	0.89	12.20	6.00	3.10	0.60	1.86	30.	10.00	18.59	6.20
																	29.07			789.70	

Fuente: Elaboración propia en base a información climática proporcionada por INSIVUMEH

Cuadro 5. Comparación del rendimiento en los diferentes umbrales por la prueba de Scott Knott. Cahabón, 2018

Umbral	Medias	n	E.E.	
U1	782.01	8	36.07	A
U2	622.77	8	36.07	B
U3	597.63	8	36.07	B
U4	565.54	8	36.07	B
U5	486.97	8	36.07	B

Fuente: Elaboración propia con base a los análisis estadísticos

Cuadro 6. Comparación del rendimiento en las diferentes frecuencias por la prueba de Scott Knott. Cahabón, 2018

Frecuencia	Medias	n	E.E.	
F1	781.29	10	60.88	A
F2	773.21	10	60.88	A
F3	493.58	10	60.88	B
F4	395.86	10	60.88	B

Fuente: Elaboración propia con base en los análisis estadísticos

Cuadro 7. Comparación del rendimiento en los diferentes tratamientos por la prueba de Scott Knott. Cahabón. 2018

Umbral	Frecuencia	Medias	n	E.E	
U5	F1	1164.73	2	105.81	A
U5	F2	1106.17	2	105.81	A
U1	F1	850.96	2	105.81	B
U4	F2	771.15	2	105.81	B
U2	F1	766.86	2	105.81	B
U2	F2	721.77	2	105.81	B
U4	F3	669.72	2	105.81	C
U3	F2	657.96	2	105.81	C
U4	F1	651.41	2	105.81	C
U1	F2	609.00	2	105.81	C
U2	F3	528.20	2	105.81	C
U3	F1	472.48	2	105.81	C
U1	F3	452.21	2	105.81	C
U5	F4	440.04	2	105.81	C
U5	F3	417.10	2	105.81	C
U3	F4	416.78	2	105.81	C
U3	F3	400.68	2	105.81	C
U4	F4	398.79	2	105.81	C
U2	F4	373.69	2	105.81	C
U1	F4	349.99	2	105.81	C

Fuente: Elaboración propia con base en los análisis estadísticos

Cuadro 8. Resultados del análisis textural. Cahabón, 2018

Lugar	Porcentajes			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
San Martín Chichaj	43.85	33.16	22.98	Arcilloso
San José Canihor	43.54	29.55	26.91	Arcilloso

Fuente: Resultados de laboratorio de suelos ANALAB. ANACAFE, 2018