



Simulación del requerimiento hídrico en el cultivo de acelga bajo malla-sombra para un uso sustentable del agua en Cosamaloapan, Veracruz

Miguel Ángel Rodríguez-Chiunti^{1*}, Adán Vidal-Gamboa¹.

¹Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan. Av. Tecnológico S/N

*Autor de correspondencia: agromiguelrc@gmail.com

Recibido 13 de agosto de 2020; aceptado 23 de septiembre de 2020

RESUMEN

En el desarrollo normal de un cultivo influyen muchos factores climatológicos, los cuales integrándolos de una manera adecuada obtenemos como resultado la evapotranspiración que junto con las características físicas del suelo nos permiten determinar la cantidad de agua necesaria que un cultivo requiere para completar de forma óptima cada una de sus etapas fenológicas. El recurso hídrico es uno de los factores indispensables para el desarrollo de un cultivo, sin embargo, en algunas ocasiones no se realiza un manejo adecuado del agua al momento de la aplicación por lo cual no se practica el uso sustentable de este recurso hídrico teniendo como consecuencias la utilización de cantidades innecesarias de agua y en ocasiones erosión del suelo. En este sentido el objetivo de este estudio fue estimar, mediante la simulación con el software CROPWAT de la FAO el requerimiento de riego para cada planta del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) a través de su comportamiento fenológico establecido bajo un sistema de producción de camas de cultivo con un tipo de suelo franco-arcilloso bajo malla-sombra en la localidad de Cosamaloapan, Veracruz. Se usaron datos climatológicos reportados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) recolectados a través de la estación climatológica número 30464. El análisis de los resultados indica que cada planta necesitó 9.51 L de agua total aplicados del 14 al 30 de septiembre (0.56 L/planta/día), para todo el mes de octubre se aplicó en total 9.29 L/planta

(0.30 L/planta/día), en todo el mes de noviembre únicamente se aplicó de manera total 3.98 L/planta (0.13 L/planta/día) y finalmente para el mes de diciembre y durante los primeros 14 días del mes de enero que fue cuando finalizó la cosecha no fue necesario la aplicación de riego de acuerdo a la simulación realizada.

PALABRAS CLAVE: Simulación, hídrico, acelga, fenológico, evapotranspiración.

ABSTRACT

In the normal development of a crop many climatological factors influence, which integrating them in an adequate way we obtain as a result evapotranspiration that together with the physical characteristics of the soil allow us to determine the amount of water necessary that a crop requires to optimally complete each one of its phenological stages. The water resource is one of the essential factors for the development of a crop, however, on some occasions, adequate water management is not carried out at the time of application, therefore the sustainable use of this water resource is not practiced, taking as consequences the use of unnecessary amounts of water and sometimes soil erosion. In this sense, the objective of this study was to estimate, through simulation with the FAO CROPWAT software, the irrigation requirement for each plant of the chard crop (*Beta vulgaris* var. cicla) through its phenological behavior established under a cultivation bed production system with a type of clay-loam soil under shade-mesh in the town of Cosamaloapan, Veracruz. Climatological data reported by the National Meteorological Service (SMN) collected through the climatological station number 30464 were used. The analysis of the results indicates that each plant needed 9.51 L of total water applied from September 14 to 30 (0.56 L/plant/day), for the entire month of October a total of 9.29 L/plant (0.30 L/plant/day), in the entire month of November only 3.98 L/plant (0.13 L/plant/day) was applied in a total way and finally for the month of December and during the first 14 days of the month of January which was when the harvest was not necessary the application of irrigation according to the simulation carried out.

KEY WORDS: Simulation, hydric, chard, phenological, evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso cada día más escaso y la agricultura es una de las actividades más consumidoras de este recurso, por este motivo es necesario concientizar a los integrantes del sector agrícola de la necesidad de manejar el agua con la mayor eficiencia posible, al objeto de lograr de la agricultura una actividad sustentable en todos los sentidos del término. Para ello es necesario tener en cuenta las limitaciones posibles a la disponibilidad del recurso hídrico y también el peligro de acciones contrarias al medio ambiente, ya sea por favorecer la erosión y pérdida de suelo al utilizar cantidades innecesarias de agua, como por favorecer el agotamiento de fuentes hídricas por un uso no sustentable o la contaminación de éstos por un empleo no racional de fertilizantes minerales. Actualmente la agricultura de traspatio es una alternativa para producir hortalizas en espacios pequeños, que a su vez permitan satisfacer las necesidades nutrimentales de autoconsumo de los pequeños productores, una de estas hortalizas con un alto contenido de nutrientes reguladores tales como el potasio, magnesio, sodio, yodo, hierro, calcio y con un importante aporte de carotenoides es la acelga (Masias

et al., 2003). La acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) es clasificada como una hortaliza de “hoja” (Atlas agroalimentario, 2016) y debido a su abundante superficie foliar es un cultivo que demanda la presencia abundante de humedad, sin llegar a los encharcamientos para manifestar todo su potencial de producción. Por otro lado, las limitaciones en agua suelen tener un impacto tanto en la instalación del cultivo, como en su crecimiento y desarrollo y pueden limitar la capacidad productiva potencial. Para satisfacer los requerimientos óptimos de agua en el cultivo es requerido estudiar las necesidades hídricas de consumo, de esta manera se podrá ajustar la cantidad de agua a las verdaderas necesidades y no se desperdiciará agua en épocas donde llueve más abundantemente y la precipitación efectiva nos aportará una buena cantidad de humedad dando como resultado un uso sustentable del agua. Por otro lado, el conocimiento de la duración exacta de las fases fenológicas y su interacción con los factores ambientales además de ser esencial para alcanzar los máximos rendimientos en las plantas cultivadas, ya que determinan factores como la absorción de nutrientes y el llenado de frutos que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Prabhakar *et al.*, 2007) proporciona información

relevante para hacer un uso sustentable del cultivo. La fenología se describe comúnmente como los cambios que se producen en las plantas desde la emergencia hasta la madurez de cosecha, tales como la brotación, floración, desarrollo del fruto, y cómo estos cambios se ven afectados por las condiciones ambientales locales (García *et al.*, 2002; Salazar *et al.*, 2013). El principio y el fin de las etapas fenológicas son buenos indicadores del crecimiento potencial de los cultivos (Calviño *et al.*, 2003). Actualmente con el uso de las tecnologías de la información y el desarrollo de softwares es posible realizar simulaciones en diferentes aspectos de los cultivos. En este estudio se realizó una simulación a través del modelo CROPWAT de la FAO para determinar la cantidad de agua óptima que requiere el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) a través de su comportamiento fenológico establecido bajo un sistema de producción de camas de cultivo con un tipo de suelo franco-arcilloso bajo malla-sombra en la localidad de Cosamaloapan, Veracruz. En la dinámica del sistema participan diferentes parámetros como el tipo de cultivo, el tipo de suelo y los factores climatológicos, los cuales en conjunto generan un juego de interacciones que difícilmente puedan ser explicados

con modelos estáticos parciales; los modelos de cultivo, funcionales, tratan de describir esta dinámica, relacionando los distintos parámetros involucrados dentro de las variables, clima-suelo y planta en una escala de paso diario. Un modelo de simulación es un programa que permite describir mediante fórmulas matemáticas diferentes procesos, mecanismos e interacciones que ocurren dentro de un sistema biológico, y que permite representar conceptualmente una simplificación del sistema de producción que en el caso de este estudio involucra un cultivo interactuando con las variables de clima, de suelo y las prácticas de manejo. El modelo de simulación realizado del requerimiento hídrico del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) para un uso sustentable del agua por medio del software CROPWAT, está basado en el cálculo de la evapotranspiración (ET_o) a través del método Penman-Monteith de la FAO, el cual relaciona los datos fenológicos del cultivo, así como los datos climatológicos y de suelo de la zona de estudio. Este trabajo permitirá identificar a través de la simulación los requerimientos de agua diarios por cada planta de acelga cultivada en la superficie establecida, permitiendo de este modo un uso sustentable del agua para evitar utilizar cantidades innecesarias de este recurso hídrico, así como

reducir la posible erosión del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2019 en el Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan (ITSCO), municipio de Cosamaloapan, Veracruz, ubicado a $18^{\circ}21'7.70''$ de latitud Norte y $95^{\circ}48'38.42''$ longitud Oeste a una altitud de 10 msnm.



Figura 1. Lugar de establecimiento del trabajo de investigación: área experimental de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del ITSCO. (Fuente: Google Earth)

La zona se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano y otoño, con una precipitación pluvial de 1659 mm como promedio anual, una humedad relativa promedio de 75-80% anual, una temperatura media anual de 25.8°C ,

ligeramente extremoso y con una breve sequía de medio verano o canícula; en la temporada invernal hay una ligera baja de temperatura debida a la influencia de masas de aire polar.

Unidad experimental

Se realizó la siembra de las acelgas bajo condiciones de malla-sombra en camas de cultivo preparadas de tierra natural, composta y fertilizante orgánico con dimensiones de 10 m de largo y 1.30 m de ancho, las plantas estuvieron distanciadas a 30 cm una de otra a través del marco de plantación real o cuadrado. La siembra se llevó a cabo el día 14 de septiembre de 2019 estableciendo 2 semillas por cavidad en el suelo para asegurar la germinación de una planta. La fertilización se llevó a cabo a partir de la etapa de crecimiento vegetativo cada 2 semanas con una dosis de fertilización de N-P-K utilizando una mezcla física de 17-17-17 conocida como “triple diecisiete”. Se registro la presencia de plagas específicamente mosquita blanca y lepidópteros realizándose el control a través del ingrediente activo bifentrina a una dosis de 0.5 L/ha y presencia de hongos los cuales fueron controlados con el ingrediente activo mancozeb a una dosis de 5 g/L de agua. La cosecha se realizó a partir del día 27 de noviembre del 2019 hasta el día 14 de enero del 2020.



Figura 2. Plantas de acelgas establecidas en las camas de cultivo bajo malla-sombra.

Información climatológica

Se usó la información reportada en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con datos recolectados desde el año 2005 al año 2018 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través de la estación climatológica número 30464 ubicada en el municipio de Chacaltianguis, Veracruz ya que es la más cercana al municipio de Cosamaloapan, Veracruz y en la cual las características climatológicas no varían a las de la zona de estudio. En la figura 3 se observa la temperatura mínima y máxima promedio presentes en los meses de la zona de estudio de Cosamaloapan, Veracruz, así como la precipitación mensual acumulada.

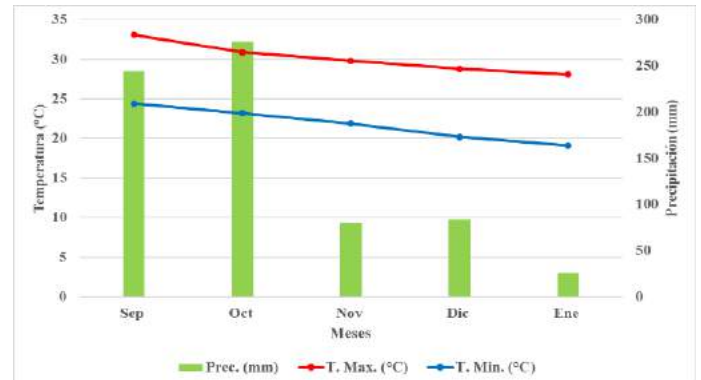


Figura 3. Condiciones climatológicas históricas presentes en los meses de estudio en la zona de Cosamaloapan, Veracruz

Datos de suelo

La información edafológica del área de estudio requerida por el modelo CROPWAT para planificar requerimiento hídrico fue calculada a través de la muestra de suelo recolectada y procesada posteriormente en el laboratorio de química del Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan. Se determinó la textura del suelo a través del método del densímetro de Bouyoucos e identificando los cálculos obtenidos en el triángulo de texturas, dando como resultado un tipo de suelo franco-arcilloso. La humedad inicialmente disponible considerada al momento de la siembra fue de 130 mm/m de acuerdo a los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente consultados de acuerdo a al tipo de suelo identificado. De acuerdo a los estudios de (Ortiz y Ortiz, 1980) la tasa máxima de velocidad de infiltración de la

precipitación según el tipo de suelo franco-arcilloso es de 0.25 cm/h equivalente a 60 mm/día. Se consideró una profundidad máxima de enraizamiento de la acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) de 40 cm, según (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Cálculo de la evapotranspiración de referencia ET₀

La evapotranspiración es un proceso simultáneo a través del cual un área de cultivo pierde agua por evaporación del suelo y transpiración del follaje, mientras que ET₀ es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua (Allen *et al.*, 2006). Para el cálculo de la ET₀ la FAO propone el método Penman-Monteith que es a través de la siguiente ecuación:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

donde, ET₀ es la evapotranspiración de referencia (mm/día), R_n es la radiación neta en la superficie del cultivo (MJ·m²/día), R_a es la radiación extraterrestre (mm/día), G es el flujo del calor de suelo (MJ·m²/día), T es la temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), u₂ velocidad del viento a 2 m de altura (m/s), e_s 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), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C) y γ es la constante psicrométrica (kPa/°C). Dado que solo se conocían los valores de temperatura máxima y mínima, así como los valores de la velocidad del viento e insolación de la zona de estudio, se utilizó el modelo CROPWAT el cual integra todas las variables que propone el método Penman-Monteith para obtener la ET₀ de cada uno de los meses. En la Tabla 1 se presentan los valores de la ET₀ los cuales fueron tomados de la base de datos del modelo CROPWAT realizado.

Tabla 1. Valores de radiación y evapotranspiración de referencia (ET₀) para cada uno de los meses en la zona de estudio.

Mes	Radiación (MJ·m ² /día)	ET ₀ (mm/día)
Septiembre	10.5	3.12
Octubre	9.3	3.23
Noviembre	8.3	2.39
Diciembre	7.8	1.83
Enero	8.1	1.81

Precipitación efectiva (P_{ef})

Es la parte de la lluvia anual o estacional total que es útil directa o indirectamente para la producción del cultivo en el lugar donde se registra (Dastane, 1977; Molua y Lambi, 2006; George, *et al.*, 2001). En su sentido más simple, la

precipitación efectiva significa precipitaciones útil o utilizable. La lluvia no es necesariamente útil o conveniente en el momento, ritmo o la magnitud en que se recibió. Parte de ella se puede desperdiciar inevitablemente mientras que alguna proporción puede llegar a ser incluso destructiva. La precipitación efectiva P_{ef} se calculó con el modelo CROPWAT con el criterio del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (USDA S.C.) y este método se rige por las siguientes condiciones de precipitación (P):

$$\text{si } P \leq 250 \text{ mm, } P_{ef} = \left(\frac{125 - (0.2 * P) P}{125} \right)$$

o si $P > 250 \text{ mm}$, $P_{ef} = (0.1 * P) + 125$, donde P_{ef} es la precipitación efectiva (mm).

Tabla 2. Valores de precipitación (P) y precipitación efectiva (P_{ef}) para cada uno de los meses en la zona de estudio.

Mes	Precipitación (mm/día)	Precipitación efectiva (mm/día)
Septiembre	244	148.7
Octubre	276.5	152.7
Noviembre	79.9	69.7
Diciembre	83.7	72.5
Enero	26.5	25.4

En la Tabla 2 se observan los valores de la precipitación (P) y precipitación efectiva (P_{ef}), los cuales fueron

tomados de la base de datos del modelo CROPWAT realizado.

Coefficientes de cultivo (K_c)

En la tabla 3 se presentan los valores generales del coeficiente de cultivo (K_c) y los datos fenológicos del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla). Los datos del coeficiente de cultivo (K_c) se tomaron de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO y los datos fenológicos fueron los que se observaron en campo en cada una de las etapas del cultivo. Esta información se anexó al modelo CROPWAT para su posterior procesamiento en el cálculo del requerimiento hídrico del cultivo.

Tabla 3. Valores del coeficiente de cultivo (K_c) y la duración en días de cada una de las fases o etapas del cultivo de acelga establecido en la zona de estudio.

Fase	Inicio	Desarrollo	Mediados	Final	Total
K_c	0.70		1.05	0.95	
Días	6	7	14	96	123

Evapotranspiración ET_c del cultivo de acelga

El cálculo se realizó con CROPWAT mediante el método del coeficiente único de cultivo (K_c), donde se integran los efectos combinados de la transpiración y evaporación del suelo y con la relación:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

donde, ET_c es la evapotranspiración real del cultivo (mm), K_c el coeficiente del cultivo (adimensional) y ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm).

Tabla 4. Valores de la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) para cada una de las fases del cultivo

Mes	Fase	ETc (mm/día)
Septiembre	Desarrollo	2.21
Septiembre	Mediados	3.14
Octubre	Mediados	3.50
Octubre	Fin	3.55
Octubre	Fin	3.16
Noviembre	Fin	2.75
Noviembre	Fin	2.42
Noviembre	Fin	2.20
Diciembre	Fin	1.97
Diciembre	Fin	1.76
Diciembre	Fin	1.72
Enero	Fin	1.68
Enero	Fin	1.65

En la Tabla 4 se presentan los valores de la ET_c en cada una de las fases del cultivo, los cuales fueron tomados de la base de datos del modelo CROPWAT realizado.

Factor de respuesta al rendimiento (K_y)

Diversos factores influyen en el rendimiento de los cultivos, especialmente el agua y cuando ésta no se suministra en cantidades requeridas se afecta el crecimiento y rendimiento. La magnitud de la afectación varía según la especie y la etapa de crecimiento (Ismail y Depeweg, 2005), pero todos los cultivos presentan mayor sensibilidad al déficit hídrico

durante el inicio. Desarrollo, mediados y fin de temporada (Zaikin y Butcher, 2008). Los valores fisiológicos del factor de respuesta del rendimiento (K_y) se consultaron en la publicación de la serie de riego y drenaje de la FAO número 33 en el cuadro 24. Para cultivos donde se desconozca el valor de K_y , se puede utilizar $K_y = 1$ o seleccionar el valor de K_y correspondiente a un cultivo de características similares. Dado que el cultivo de acelga no se encuentra incluido en la serie de riego y drenaje de la FAO se optó por elegir un valor de $K_y = 1$ para cada una de las fases o etapas del cultivo de acelga tal como lo indica la serie.

Tabla 5. Valores del factor de respuesta al rendimiento (K_y) de cada una de las fases o etapas del cultivo de acelga establecido en la zona de estudio.

Fase	Inici o	Desarroll o	Mediado s	Fina l
K_y	1.00	1.00	1.00	1.00

Modelo CROPWAT

Se utilizó el modelo CROPWAT para simular el requerimiento hídrico en el comportamiento fenológico del cultivo de acelga para un uso sustentable del agua usando información climática, edáfica y fenológica, este modelo está basado en las metodologías descritas en los

boletines 24, 33 y 56 de la serie riego y drenaje de la FAO (George *et al.*, 2001; Molua y Lambi, 2006; Doria y Madramootoo, 2009). Este modelo estima las reducciones en el rendimiento del cultivo cuando se explota en condiciones diferentes a las óptimas. Todas las versiones operan bajo el concepto de evapotranspiración de referencia calculado mediante el método de Penman-Monteith modificado por la FAO (versión 8.0).

actúa como reserva, almacenando parte del agua de las precipitaciones y devolviéndosela a los cultivos en momentos de déficit o escasez. En climas húmedos este mecanismo es suficiente para garantizar un crecimiento satisfactorio de los cultivos de secano. En climas áridos, o durante periodos secos prolongados, el riego es necesario para compensar el déficit de evapotranspiración (transpiración del cultivo y evaporación del suelo) producido por unas precipitaciones erráticas o insuficientes. La simulación se realizó con respecto al criterio del momento del riego en “regar bajo o sobre agotamiento crítico”, es decir cuando exista un 80 % de agotamiento crítico para tener un margen de humedad en el suelo y no llegar a un 100 % de agotamiento crítico lo cual puede afectar al cultivo. En lo que respecta al criterio de la aplicación del riego se simuló a “reponer a capacidad de campo”, es decir en reponer el 100 % el contenido de agua en el suelo en cada fecha de riego. En cuanto a la eficiencia del riego se estableció un 70 % de eficiencia de aplicación al ser un riego aplicado a través de regaderas de jardín por aspersión.

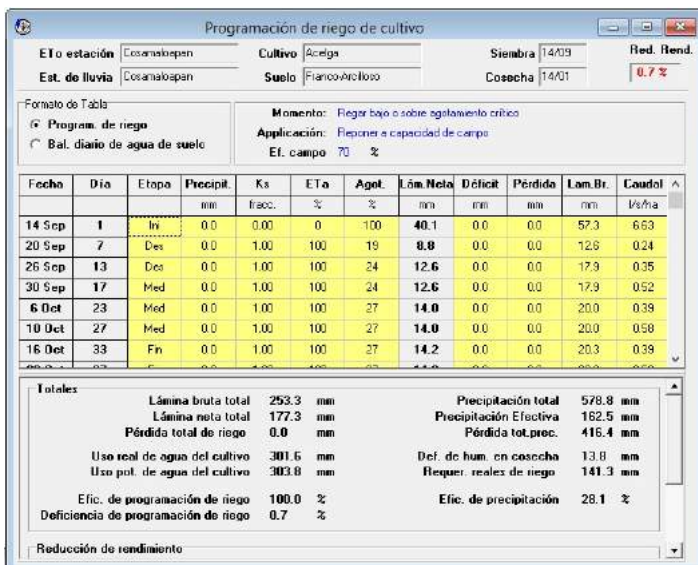


Figura 4. Simulación del requerimiento hídrico del cultivo de acelga a través del software CROPWAT

Requerimiento hídrico

Las precipitaciones, y en concreto su fracción efectiva, aportan parte del agua que los cultivos necesitan para satisfacer sus necesidades de transpiración. El suelo

Tabla 6. Programación del riego del cultivo de acelga en la zona de Cosamaloapan, Veracruz bajo malla-sombra

Fecha	Día	Etapas	Lámina bruta (mm)
14 sep.	1	Inicio	57.3
20 sep.	7	Desarrollo	12.6
26 sep.	13	Desarrollo	17.9
30 sep.	17	Mediado	17.9
06 oct.	23	Mediado	20.0
10 oct.	27	Mediado	20.0
16 oct.	33	Fin	20.3
20 oct.	37	Fin	20.3
31 oct.	48	Fin	22.6
12 nov.	60	Fin	22.6
22 nov.	70	Fin	21.7
14 ene.	123	Fin	0

En la Tabla 6 se puede observar cada una de las láminas de riego brutas en mm que requiere el cultivo de acelga en la zona de Cosamaloapan, Veracruz bajo malla-sombra en cada una de las etapas fenológicas de acuerdo a las fechas programadas para la aplicación del riego. Los valores fueron tomados de la base de datos del modelo CROPWAT realizado.

Cálculo de la cantidad de agua por planta

Una vez simulado la lámina de riego bruta en mm que se necesita en cada fecha establecida para el riego, es necesario calcular la cantidad de agua en litros que necesita cada planta de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) en cada fecha del calendario de riego para así lograr un uso sustentable del agua. Para el cálculo del volumen de agua necesario por planta se utilizó la siguiente ecuación

$$V = L_{br} * S$$

donde, V es el volumen o cantidad de agua requerida por planta (m^3), L_{br} es la lámina de riego bruta (m) y S es la superficie de influencia a regar (m^2). Para realizar el cálculo de la cantidad de agua a aplicar a cada planta se convirtió en primer lugar cada lámina de riego bruta de milímetros (mm) a metros (m) y se consideró una superficie de influencia a regar de $0.09 m^2$, ya que cada planta se encontraba separada a 30 cm tanto en filas como columnas. Por último, se realizó la conversión del volumen de m^3 a L para presentar de esta manera la cantidad de agua necesariamente sustentable en L/planta.

Tabla 7. Requerimiento hídrico del cultivo de acelga en la zona de Cosamaloapan, Veracruz bajo malla-sombra

Fecha	Día	Lámina bruta (mm)	Requerimiento hídrico (L/planta)
14 sep.	1	57.3	5.16
20 sep.	7	12.6	1.13
26 sep.	13	17.9	1.61
30 sep.	17	17.9	1.61
06 oct.	23	20.0	1.80
10 oct.	27	20.0	1.80
16 oct.	33	20.3	1.83
20 oct.	37	20.3	1.83
31 oct.	48	22.6	2.03
12 nov.	60	22.6	2.03
22 nov.	70	21.7	1.95
14 ene.	123	0	0.00

En la Tabla 7 se observa la cantidad de agua que necesita cada planta de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) con las características de establecimiento ya mencionadas anteriormente en cada una de las fechas que comprende el calendario de riego presentado en la zona de Cosamaloapan, Veracruz.

RESULTADOS

En Cosamaloapan, Veracruz el comportamiento fenológico del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) bajo malla-sombra está ligado a factores climatológicos, edáficos y propios del cultivo, los cuales relacionados adecuadamente junto con la óptima aplicación del requerimiento sustentable del agua en cada etapa necesaria darán como resultado una producción adecuada del cultivo. Se obtuvieron los datos climatológicos de la zona de estudio para los meses en los que se llevó a cabo este trabajo de investigación y se identificó que los meses de septiembre y octubre son aquellos en los que se presenta la mayor cantidad de precipitación pluvial con 244 mm y 276.5 mm respectivamente, en los cuales también estos meses son los que presentan mayor cantidad de precipitación efectiva para el cultivo con 148.7 mm y 152.7 mm respectivamente, con lo que el requerimiento

hídrico fue ajustado con el modelo CROPWAT. En lo que respecta a la temperatura se observó que los meses de diciembre y enero fueron los que presentaron una temperatura media de 23 a 25 °C, con lo cual, dado que la temperatura óptima de la acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) es de 25 °C, el cultivo se desarrolló adecuadamente y la cantidad de agua a aplicar fue menor que la aplicada en los meses de septiembre y octubre. En el factor edáfico se logró determinar a través del análisis físico del suelo en laboratorio un tipo de suelo franco-arcilloso, lo cual nos indicó que la infiltración del agua sería de tipo medio que combinado con la precipitación efectiva y la aplicación del agua a través del riego no existirían problemas por mantener el contenido de humedad disponible para las plantas a capacidad de campo. Referente a las etapas fenológicas del cultivo como primera parte la siembra se realizó el 14 de septiembre de 2019, la germinación de las semillas plantadas se presentó a partir de la siembra mencionada anteriormente hasta el día 19 de septiembre de 2019, la emergencia se observó a partir del día 21 de septiembre de 2019 al día 26 de septiembre de 2019, el crecimiento vegetativo se presentó desde el día 27 de septiembre de 2019 hasta el día 10 de octubre de 2019, la madurez se observó a partir del día 11 de octubre de 2019

al día 26 de noviembre de 2019 y finalmente la cosecha se realizó a partir del día 27 de noviembre de 2019 hasta el 14 de enero de 2020.



Figura 5. Cosecha del cultivo realizada el día 27 de noviembre de 2019

La cosecha se realizó de la siguiente manera: los cortes de las hojas de acelga se efectuaron cada 15 días dejando como mínimo 3 hojas por planta para no debilitarla y de esta manera se generaban nuevos brotes que permitían cosechar de nuevo. Se observaron las mayores cantidades de evapotranspiración en los meses de octubre y noviembre con valores de 105.3 mm/mes y 73.7 mm/mes respectivamente esto como consecuencia de las etapas fenológicas del cultivo de crecimiento vegetativo y madurez, las cuales son las que demandan mayor cantidad de agua. La simulación del requerimiento hídrico del cultivo se realizó con el

software CROPWAT de la FAO con el cual se lograron calcular las cantidades necesarias de agua en cada fecha del calendario de riego para la aplicación de una manera sustentable, evitando utilizar cantidades innecesarias de agua y una posible erosión del suelo, así como perjuicios al medio ambiente. El riego se aplicó a través de forma de aspersión con regaderas de jardinería a cada planta, teniendo un 70 % de eficiencia esta forma de riego (Grassi, 1985). Se determinó que cada planta necesitó 9.51 L de agua total aplicados del 14 al 30 de septiembre (0.56 L/planta/día), para todo el mes de octubre se aplicó en total 9.29 L/planta (0.30 L/planta/día), en todo el mes de noviembre únicamente se aplicó de manera total 3.98 L/planta (0.13 L/planta/día) y finalmente para los meses de diciembre y durante los primeros 14 días del mes de enero que fue cuando finalizó la cosecha no fue necesario la aplicación de riego de acuerdo a la simulación realizada.

CONCLUSIONES

Si bien es cierto que los modelos no pueden facilitarnos todas las respuestas sobre los problemas productivos en los cultivos, en la medida que sean construidos en forma razonable permiten ser una herramienta integradora tanto en la enseñanza, como en la investigación y para las aplicaciones

de manejo de los cultivos. El conocimiento del requerimiento hídrico del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) bajo malla-sombra en Cosamaloapan, Veracruz representa ventajas sustentables, que permiten optimizar la utilización del agua bajo un análisis que involucra factores climatológicos, edáficos y fenológicos del cultivo. De esta manera se reducen considerablemente las cantidades de agua que se necesitan aplicar a cada planta a lo largo de su ciclo a través del riego, además se previene la erosión del suelo. El modelo CROPWAT de la FAO permitió realizar una simulación del requerimiento hídrico que necesita el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) en la zona de Cosamaloapan, Veracruz, logrando a través de la aplicación del riego indicado en la simulación un óptimo desarrollo de cada una de las 4 etapas fenológicas que comprende el cultivo (inicio, desarrollo, mediado y fin). Por otro lado, la utilización de la técnica agronómica de agricultura protegida de siembra bajo malla-sombra permitió establecer el cultivo cuyas características de adaptación y

producción óptimas son preferentemente de un tipo de clima diferente al de la zona de estudio de este proyecto de investigación. Finalmente, con la realización de este trabajo de investigación ya se cuenta con información referente al requerimiento hídrico del cultivo de la acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) bajo las condiciones ya mencionadas anteriormente por lo cual el modelo de simulación realizado puede ser usado para analizar nuevos trabajos experimentales o teóricos, permitiendo un marco conceptual para interpretar los resultados obtenidos en diferentes ambientes, como un medio para mejorar el manejo del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrolanzarote Servicio Insular Agrario. 2012. Ficha técnica del cultivo de acelga. http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/02Productos/documentos/ficha_tecnica_del_cultivo_de_la_acelga.pdf. [consultado el 10 de febrero de 2020]
- Allen G, R., L. Santos P., D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de

- los cultivos. FAO. Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 p.
- Doorenbos, J., y A. Kassam. 1988. Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. FAO. Riego y Drenaje Vol. 33. Roma, Italia. 212 p.
- Doorenbos, J., y W. Pruitt. 1977. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. FAO. Riego y Drenaje 24. Roma, Italia. 194 p.
- Flores, M. H., Flores, G. H y Ojeda, B. W. 2014. Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 37 (2): 149 – 157.
- George B., S. Shende, and N. Raghuwanshi. 2001. Development and testing of an irrigation scheduling model. Agric. Water Manage. 46:121-136.
- Giorgis K., A. Tadege, and D. Tibebe. 2006. Estimating crop water use and simulating yield reduction for maize sorghum in Adama Miesso districts using the CROPWAT model. CEEPA discussion paper no. 31, CEEPA, University of Pretoria. 14 p.
- Ismail, S., and H. Depeweg. 2005. Water productivity and crop production simulation under surge flow irrigation in short furrows in Egypt. Irrigation and Drainage 54:103-113.
- Khandelwal, S. S.; Dhiman, S. D. 2015. Irrigation water requirements of different crops in Limbasi branch canal command area of Gujarat. Journal of Agrometeorology, 17 (1): 114-117.
- Patel, A.; Sharda, R.; Patel, S.; Meena, P. 2017. Reference evapotranspiration estimation using CROPWAT model at Ludhiana district (Punjab). International Journal of Science, Environment and Technology, 6 (1): 620-629.
- Peña, R.M. 2011. Predicción del Crecimiento, Desarrollo y Producción de Cultivos Forrajeros con un Modelo Biofísico de Simulación y el Programa DSSAT, en el Sur de Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- SAGARPA-ANEch. 2014. Carta tecnológica del cultivo de *acetosa*. http://www.agriculturafamiliar.mx/AFPT/FTS/FT_ACELGA.pdf. [consultado el 12 de febrero de 2020]

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Información estadística climatológica.

<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica> [consultado el 12 de febrero de 2020]

Sheng-Feng K, Shen-Shin H., and L. Chen-Wuing. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. *Agric. Water Manage.* 82:433-451.

Soto, P. A. 2010. Construcción de un modelo de simulación para el cultivo de la alfalfa (*Medicago Sativa L.*) en Navidad, Galeana, Nuevo León. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Villalpando, J. y Ruiz, A. C. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. 133 p.

Wane, S. S.; Nagdeve, M. B. 2014. Estimation of evapotranspiration and effective rainfall using CROPWAT. *International Journal of Agricultural Engineering*, 7 (1): 23-26.