



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Dirección de Investigación
Subdirección de Programación y Evaluación

U A A A N
RECIBID O
 14 DIC 2017
 HORA: 11:22
 SUBDIRECCIÓN DE PROGRAMACIÓN Y EVALUACIÓN

Proyecto de Investigación 2018

- Cada Jefe de Departamento deberá dejar copia para su archivo

Unidad:	Saltillo	División:	Agronomía	Departamento:	Horticultura
Programa de Investigación:	Doctorado en Agricultura Protegida				
Línea de investigación:	Tecnologías para la Producción en Agricultura Protegida				
Título del proyecto: Modelación de la evapotranspiración y transpiración en pepino cultivado en invernadero para estimar los requerimientos hídricos.					
Presupuesto solicitado (Máximo \$100,000)	\$75,000.00	El proyecto es:	Nuevo	<input checked="" type="checkbox"/>	Continuación
Tipo de investigación:	Básica	<input checked="" type="checkbox"/>	Aplicada	Tecnológica	e-mail del responsable: amorelosmo@conacyt.mx
Vinculación:	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Fondos concurrentes:
Cooperante(s):					
Entidad(es):	Coahuila	Municipio(s):	Saltillo		
Localidades:	UAAAN Campus Saltillo				
A realizar durante el año(s):	2018				
Participantes	Nombre	Adscripción (Clave Depto.)	Expediente No.	Firma	
Responsable	Dr. Álvaro Morelos Moreno	CONACYT-3612	100064		
Colaborador:	Dr. Adalberto Benavides Mendoza	3612	3303		
Colaborador:	Dr. Antonio Juárez Maldonado	3614	4103		
Colaborador:	Dra. Susana González Morales	CONACYT-3612	100062		
Colaborador:					
	Nombre	Nivel de estudios	Matrícula	Firma	
Tesista:	Valeria Flores Robles	Maestría	61171549		
Programa Docente:	Maestría en Ciencias en Horticultura				
Tesista:	Kelvin López Aguilar	Doctorado	41061310		
Programa Docente:	Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida				
Firma y sello	Vo. Bo.		Autoriza		
Nombre	Dr. Víctor Manuel Reyes Salas Jefe de Departamento		Dr. Armando Robledo Olivo Subdirector de Programación y Evaluación		

Título del proyecto

Modelación de la evapotranspiración y transpiración en pepino en invernadero para estimar los requerimientos hídricos.

Introducción

En la producción de cultivos protegidos es importante optimizar y controlar el manejo del ambiente usando modelos dinámicos. La simulación en sistemas agrícolas ha surgido como una herramienta que en base a la integración de sus componentes permite hacer una representación real de los mismos (Odum y Odum, 2000) por medio de operaciones lógicas y aritméticas que representan la estructura (estado) y comportamiento (cambio de estado) del sistema de interés (Grant et al., 1997).

Los cultivos experimentan procesos fisiológicos tales como la transpiración, fotosíntesis y respiración, que cambian en el tiempo y que afectan la producción de biomasa aprovechable, índice de área foliar, etc, por lo cual se trata de sistemas no lineales. Las variables ambientales que afectan los procesos fisiológicos de los cultivos son la temperatura, humedad, radiación solar, y concentración de CO₂.

La transpiración es uno de los componentes importantes en el balance de agua y energía en los cultivos, por tanto es el principal sistema de refrigeración de cultivos en invernaderos. Su estimación es esencial para el control del clima en invernadero y en la programación de los riegos. La transpiración se define como la pérdida de agua en las plantas en forma de vapor a través de pequeños poros en las hojas llamados estomas y en menor medida en las lenticelas (Hopkins, 1995). La transpiración ocurre en un 95% en el día y un 5% en la noche. Durante el día la transpiración máxima se presenta al medio día. Existen tres tipos de transpiración dependiendo del órgano que participa, estos son: transpiración estomática, transpiración cuticular y transpiración lenticular (Sinha, 2004). Penman (1948) y Monteith (1965) han dado contribuciones importantes al respecto teniendo como resultado de sus contribuciones la célebre ecuación de Penman-Monteith. Este enfoque, se basa en principios físicos y es visto como un estudio de fisiología vegetal y física ambiental (Thorney y Johnson, 1990).

El índice de estrés hídrico de los cultivos es una herramienta confiable en la programación de riegos para maximizar la productividad de cultivos. Este parámetro se determina en función del tipo de riego, evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith (ET₀), láminas de riego, suelo descubierto o con acolchado plástico.

Objetivos

Objetivo general

Modelar y simular la evapotranspiración y transpiración en pepino cultivado en invernadero.

Objetivos específicos

Cuantificar las variables que definen la evapotranspiración y la transpiración, y las variables del cultivo.

Calcular la correlación entre las variables del sistema invernadero-cultivo de pepino.

Construir la estructura y algoritmos de modelación en los programas Stella y Vensim.

Simular las tasas de fotosíntesis y transpiración del cultivo de tomate en invernadero.

Hipótesis

La simulación de la evapotranspiración y transpiración en pepino mediante diagramas de Forrester construidos en Stella y Vensim permitirá determinar los requerimientos hídricos en pepino en invernadero.

El cultivo bajo invernadero permite obtener producciones de alta calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que puede alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y con la finalidad de que el producto alcance los mejores precios en el mercado. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de control del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

Las variables climáticas afectan el desarrollo de los cultivos, por lo cual es necesario conocer su comportamiento a partir de técnicas de modelación con el propósito de predecir su comportamiento y establecer un control eficiente, para proporcionar a las plantas el ambiente óptimo para su desarrollo. Los modelos matemáticos permiten caracterizar los procesos que ocurren dentro del invernadero, y la aplicación de la teoría de control óptimo (Van Henten, 2006) en la operación y manejo del ambiente es una opción viable para la producción en condiciones de invernadero.

Los cultivos experimentan procesos fisiológicos tales como la transpiración, fotosíntesis y respiración, que cambian en el tiempo y que afectan la producción de biomasa aprovechable, índice de área foliar, etc, por lo cual se trata de sistemas no lineales. Las variables ambientales que afectan los procesos fisiológicos de los cultivos son la temperatura, humedad, radiación solar, y concentración de CO₂.

La fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía, las plantas absorben CO₂ del aire circundante a través de los estomas y utilizan la luz visible como fuente de energía, transforman el CO₂ en azúcares, carbohidratos y otras sustancias que contienen carbono. El enriquecimiento con CO₂ del aire en el invernadero puede aumentar el crecimiento y la producción del cultivo considerablemente y puede también mejorar la calidad del producto. Establecer una concentración óptima de CO₂ depende principalmente de la radiación solar, la tasa fotosintética y la ventilación (Challa, 2003).

La transpiración es uno de los componentes importantes en el balance de agua y energía en los cultivos, por tanto es el principal sistema de refrigeración de cultivos en invernaderos. Su estimación es esencial para el control del clima en invernadero y en la programación de los riegos. La transpiración se define como la pérdida de agua en las plantas en forma de vapor a través de pequeños poros en las hojas llamados estomas y en menor medida en las lenticelas (Hopkins, 1995). La transpiración ocurre en un 95% en el día y un 5% en la noche. Durante el día la transpiración máxima se presenta al medio día. Existen tres tipos de transpiración dependiendo del órgano que participa, estos son: transpiración estomática, transpiración cuticular y transpiración lenticular (Sinha, 2004). Penman (1948) y Monteith (1965) han dado contribuciones importantes al respecto teniendo como resultado de sus contribuciones la célebre ecuación de Penman-Monteith. Este enfoque, se basa en principios físicos y es visto como un estudio de fisiología vegetal y física ambiental (Thorney y Johnson, 1990).

El índice de estrés hídrico de los cultivos es una herramienta confiable en la programación de riegos para maximizar la productividad de cultivos. Este parámetro se determina en función del tipo de riego, evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith (ET₀), láminas de riego, suelo descubierto o con acolchado plástico.

En la producción de cultivos protegidos es importante optimizar y controlar el manejo del ambiente usando modelos dinámicos. Dentro de la teoría de identificación de sistemas, los modelos de redes neuronales artificiales (ANN), han mostrado una elevada capacidad para encontrar patrones de relación entre variables de procesos altamente no lineales, así como resolver la limitante de la regresión múltiple no lineal, en la que no es posible usar variables correlacionadas (Vargas-Sállago et al., 2010).

Vargas-Sállago et al., (2010) utilizaron redes neuronales artificiales (ANN) para modelar y simular la tasa de fotosíntesis foliar de plantas de tomate cultivadas en invernadero, empleando como variables de entrada la temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor (VPD) y concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el aire, así como radiación fotosintéticamente activa (PAR). Evaluaron diferentes configuraciones para las redes de retro-propagación, siendo la red de 4 capas con 10 neuronas en la primera capa oculta, 15 en la segunda y 10 más en la tercera, la que generó los mejores índices estadísticos: R² = 0.9756 y CME = 0.8532.

López-Cruz y Hernández-Larragoiti (2009) estudiaron y generaron modelos neuro-difusos, para predecir el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa del aire dentro del invernadero, utilizando como variables de entrada la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar global y la velocidad y dirección del

viento medidas fuera del invernadero.

Sánchez-García y López-Cruz (2008), desarrollaron un modelo dinámico en MatLab-Simulink para el clima de un invernadero con una cubierta de plástico simple y ventilación lateral y cenital, considerando como variables de estado la temperatura del aire, la humedad relativa y la concentración de dióxido de carbono (CO_2). El modelo dinámico fue incorporado para el crecimiento del cultivo de tomate a partir del modelo TOMGRO simplificado con cinco variables de estado, tales como el número de nodos del cultivo, el índice de área foliar, la biomasa total, la biomasa del total de los frutos y la biomasa de los frutos maduros, para diferentes tasas de fertilización con CO_2 .

Espejel-Trujano y López-Cruz (2011), determinaron las tasas de ventilación natural bajo tres configuraciones de ventilación: ventanas laterales, cenitales y laterales y cenitales, mediante el método dinámico de técnica de gases trazadores utilizando dióxido de carbono como gas trazador, y utilizaron el algoritmo de mínimos cuadrados no lineales para estimar los parámetros.

Robles Bañuelos y López-Cruz (2011), simularon el crecimiento potencial de tomatillo mediante los modelos SUCROS y LINTUL, bajo condiciones climáticas del centro de México. Calibraron los modelos para las variables de peso seco total, biomasa de hojas, tallos, raíces, frutos e índice de área foliar. Utilizaron el algoritmo de mínimos cuadrados para estimar los parámetros.

Ruíz-García y López-Cruz (2014), desarrollaron, analizaron y validaron un modelo matemático dinámico para el clima de un invernadero con ventilación natural para climas templados del centro de México, para ser usado en el diseño de algoritmos de control basado en modelos y en optimización del invernadero. El modelo describió la dinámica de la temperatura y humedad del aire, e incorporó sub-modelos para los procesos de transpiración del cultivo y ventilación natural del invernadero. Calibraron y validaron los modelos de transpiración de Stanghellini, Wang & Boulard, Baille y Jolliet.

Procedimiento Experimental (Materiales y Métodos)

Siembra de tomate en charolas.

Preparación del sistema de riego y la solución nutritiva tipo Steiner (Steiner, 1961) al 25% (siembra), 50% (20 DDS), 75% (0 DDT), y 100% (30 DDT).

Trasplante en bolsas de polietileno de 8 L con sustrato peat moss-perlita 1:1 (v/v) cada 30 cm y en hilera cada 80 cm.

Registro de las variables ambientales dentro del invernadero cada 15 minutos con sensores de una estación climática (temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, radiación fotosintéticamente activa, concentración de dióxido de carbono, y temperatura y humedad del sustrato).

Determinación de las variables de crecimiento del cultivo de pepino a partir de muestreos destructivos semanales (área foliar, biomasa fresca y seca de hoja, tallo y frutos, diámetro y longitud de tallo, índice de área foliar y rendimiento).

Cuantificación de las variables que definen la evapotranspiración y la transpiración del cultivo (frecuencia y gasto de riegos, conductancia estomática, pesos frescos y secos, y variables ambientales).

Correlación entre las variables ambientales y del cultivo.

Construcción de la estructura y algoritmos de modelación en los programas Stella y Vensim.

Simulación de las tasas de evapotranspiración y transpiración del cultivo de pepino en invernadero.

Cronograma de actividades.

Actividades	2018											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Siembra en charolas.	X											
Trasplante en invernadero.		X	X									
Instalación de sensores, y sistema de fertirriego.		X										
Registro y determinación de variables ambientales y de cultivo.		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Correlación de variables ambientales y de cultivo						X	X				X	X
Construcción del modelo en Stella y Vensim, y simulación de evapotranspiración y transpiración.		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Redacción de Artículos						X	X				X	X
Redacción de Capítulos de tesis de doctorado.			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

5.-Productos esperados

<p>1 ponencia en congreso</p> <p>2 artículos científicos.</p> <p>2 capítulos de Tesis de Maestría</p>

6.-Literatura citada

Challa, H. 2003. Crop models for greenhouse production systems. Acta Hort. 593: 47-53.

Forrester, J. Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge, 1961.

Grant E., E. K. Pedersen, S. L. Marin. 1997. Ecology and natural resource management: System analysis and simulation. John Wiley. New York.

Li, H., L. Parent y A. Karam. 2006. Simulation modeling of soil and plant nitrogen use in a potato cropping system in the humid and cool environment. Agriculture, Ecosystems & Environment. 115:248-260.

Odum, T. H y E. C. Odum. 2000. Modeling for all scales. Academic Press. San Diego, California. USA. pp. 457.

Pérez-Maqueo, O. Equihua, M. Hernández, A. y G. Benítez. 2001 Visual Programming Languages as a tool to identify and communicate the effects of a development project evaluated by means of an Environmental Impact Assessment. Environmental Impact Assessment Review 21: 291-306.

van Den Belt, M., Wenger R. y Bud H.. 2004. Decision Support for Watershed Management in the Upper Fox River Basin, Wisconsin, U.S.A. en: van den Belt, Marjan. 2004. Mediated modeling: a system dynamics approach to environmental consensus building. Washington, DC: Island press; pp. 99-135.

van Henten E. J. 2006. Greenhouse mechanization: state of the art & future perspective. Acta Hort. 710:55-69.