



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dirección de Investigación

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 fotosíntesis y transpiración en tomate en invernadero para definir estrategias de control del clima, y suministro adecuado de fertilizante y agua.					
Presupuesto solicitado (Máximo \$100,000)	\$75,000.00	El proyecto es:	Nuevo	x	Continuación
Tipo de investigación:	Básica	<input checked="" type="checkbox"/>	Aplicada	<input type="checkbox"/>	Tecnológica
					e-mail del responsable
					amorelosmo@conacyt.mx
Vinculación:	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Fondos concurrentes:
Cooperante(s):	COMIMSA				
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:	Dra. Pamela Chiñas Sánchez	COMIMSA			
	Nombre	Nivel de estudios	Matrícula	Firma	
Tesista:	Kelvin López Aguilar	Doctorado	41061310		
Programa Docente:	Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida				
Tesista:	Eliver Jesús López Gómez	Licenciatura	43140755		
Programa Docente:	Ingeniero Agrónomo en Producción				
Firma y sello	Vo. Bo.		Autoriza		
Nombre	Dr. Víctor Manuel Reyes Salas Jefe de Departamento		Dr. Armando Robledo Olivo Subdirector de Programación y Evaluación		

Subdirección de Programación y Evaluación

PYE-01

## Protocolo para Proyecto de Investigación 2018

Título del proyecto

Modelación de la fotosíntesis y transpiración en tomate en invernadero para definir estrategias de control del clima, y suministro adecuado de fertilizante y agua.

Introducción

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).

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 CO<sub>2</sub>.

La fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía, las plantas absorben CO<sub>2</sub> del aire circundante a través de los estomas y utilizan la luz visible como fuente de energía, transforman el CO<sub>2</sub> en azúcares, carbohidratos y otras sustancias que contienen carbono. El enriquecimiento con CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 (ET<sub>0</sub>), láminas de riego, suelo descubierto o con acolchado plástico.

Objetivos

### Objetivo general

Modelar y simular la fotosíntesis y transpiración en tomate cultivado en invernadero con redes neuronales artificiales (ANN).

### Objetivos específicos

Calcular la correlación entre las variables ambientales y del cultivo de tomate.

Construir la estructura y algoritmos de modelación en el programa Matlab-Simulink.

Entrenar las neuronas para las tasas de fotosíntesis y transpiración.

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

## Hipótesis

La simulación con redes neuronales artificiales permitirá obtener los modelos para predecir las tasas de fotosíntesis y transpiración en el cultivo de tomate en invernadero.

## Revisión de Literatura

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 CO<sub>2</sub>.

La fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía, las plantas absorben CO<sub>2</sub> del aire circundante a través de los estomas y utilizan la luz visible como fuente de energía, transforman el CO<sub>2</sub> en azúcares, carbohidratos y otras sustancias que contienen carbono. El enriquecimiento con CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 (ET<sub>0</sub>), 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 (CO<sub>2</sub>) 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: R<sup>2</sup> = 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<sub>2</sub>). 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<sub>2</sub>.

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.

Ruiz-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 tomate 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).

Correlación entre las variables ambientales y del cultivo.

Construcción de la estructura y algoritmos de modelación en el programa Matlab-Simulink.

Entrenamiento de las neuronas para las tasas de fotosíntesis y transpiración.

Simulación de las tasas de fotosíntesis y transpiración del cultivo de tomate 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 Matlab-Simulink, entrenamiento de neuronas y simulación de fotosíntesis 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 doctorado</p>
--

6.-Literatura citada

<p>Challa, H. 2003. Crop models for greenhouse production systems. Acta Hort. 593: 47-53.</p> <p>Forrester, J. Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge, 1961.</p> <p>Grant E., E. K. Pedersen, S. L. Marin. 1997. Ecology and natural resource management: System analysis and simulation. John Wiley. New York.</p> <p>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 &amp; Environment. 115:248-260.</p> <p>Odum, T. H y E. C. Odum. 2000. Modeling for all scales. Academic Press. San Diego, California. USA. pp. 457.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>van Henten E. J. 2006. Greenhouse mechanization: state of the art &amp; future perspective. Acta Hort. 710:55-69.</p>
---