ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE INVERNADEROS AGRÍCOLAS MEDIANTE SIMULACIÓN DINÁMICA EN TRNSYS

Plinio E. **Castro-López**, José A. **Burciaga-Santos**, Ignacio R. **Martín-Domínguez**[1], María Teresa **Alarcón-Herrera**

[1]Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. (CIMAV)
Departamento de Energía Renovable y Protección del Medio Ambiente
Miguel de Cervantes 120. Complejo Industrial Chihuahua. 31109 Chihuahua, Chih. México.
+52 (614) 439-1148 ignacio.martin@cimav.edu.mx

RESUMEN

Se presenta un estudio en el cual se determinan, mediante simulación numérica, los consumos energéticos y los costos del material de la envolvente, de invernaderos agrícolas. Se toma como caso de ejemplo un tamaño de 200 m^2 de superficie de piso y se hace un análisis paramétrico de los costos incurridos, variando: el tipo de material de la envolvente, uso de pared sencilla y doble, tres tipos de cultivos diferentes, cuatro localizaciones geográficas (en el estado de Chihuahua, México) y dos tipos de estrategias de control de temperatura ambiente para el invernadero. La herramienta de simulación aquí presentada permite determinar los consumos energéticos incurridos por invernaderos agrícolas, operando por periodos de tiempo extendidos bajo condiciones climáticas típicas de cualquier región del país. El objetivo principal del trabajo es desarrollar una herramienta de cálculo que permita estimar con mejor certidumbre la viabilidad técnica y económica de la operación de invernaderos agrícolas, y reducir con ello el enorme riesgo con que actualmente se toman las decisiones de inversión en éste tipo de empresas.

INTRODUCCION

Antecedentes

Un invernadero es una construcción de vidrio o plástico, en la que en su interior se cultivan plantas a temperatura y humedad relativa diferentes a las exteriores, generando un microclima para que la planta alcance su máximo desarrollo aun cuando se encuentre fuera de temporada. (Rivera, 2007), (Sethi, 2009). También provee protección contra vientos, insectos y enfermedades al crearse una barrera (material de cubierta) hacia el exterior (Critten D.L., Bailey B.J., 2002).

La demanda energética de un invernadero depende básicamente de la diferencia entre las condiciones climáticas exteriores y las requeridas por los cultivos dentro del invernadero. El control climático mejora el confort de las plantas y ayuda a conseguir los objetivos productivos del invernadero. Para maximizar la producción dentro de un invernadero los niveles de temperatura se sitúan entre 16ºC-20ºC para el período nocturno, y entre 22ºC-30ºC para el diurno. (IDAE, 2008). Bajo condiciones climáticas exteriores cambiantes, se necesitan sistemas de suministro de energía para mantener la temperatura interior del invernadero dentro de los rangos óptimos de cada cultivo para su desarrollo.

El principal objetivo de los invernaderos con sistemas automatizados es crear un microclima controlado y constante, para maximizar el crecimiento de la planta y las utilidades (Kolokotsa, 2010).

Objetivo

El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta de simulación numérica que permita determinar la interacción energética entre un invernadero y su entorno, y calcular los consumos de energía requeridos para calefacción y enfriamiento durante periodos de tiempo de un año de operación continua. La herramienta permitirá analizar el efecto de los parámetros de diseño del invernadero, como son geometría, orientación, tamaño, materiales de construcción y localización geográfica. Así mismo se podrán analizar diferentes tipos de cultivo y esquemas de control ambiental. Con los resultados de uso de energía anual se realizará un análisis económico tomando como base 10 años de vida útil del invernadero, para determinar el valor presente de los costos de operación energética, que sumados a los costos de inversión inicial totalizarán el costo del proyecto para un diseño dado. Comparando diferentes diseños mediante un análisis paramétrico se podrá determinar el caso óptimo y juzgar la rentabilidad de la empresa.

METODOLOGIA

Los cultivos considerados en éste trabajo son Tomate, Pepino y Pimiento, que son los de mayor importancia en el Estado de Chihuahua. De acuerdo al metabolismo de cada cultivo se tiene un rango de temperatura a la cual la planta no presenta estrés para su desarrollo (zona de confort). Para obtener un mejor rendimiento de cultivo el aire interno del invernadero debe de permanecer dentro de ese rango. Para el enfriamiento del invernadero se consideró un sistema de enfriamiento de aire evaporativo, limitándolo a alcanzar una humedad de 70% en el aire de suministro, para no exceder la humedad relativa óptima requerida por los cultivos. Se contabilizaron los consumos energéticos requeridos en ventiladores y el consumo de agua evaporada. El sistema de calefacción considerado fue un calentador de aire que utiliza gas L.P., de igual forma se determinaron los consumos energéticos en combustible y electricidad consumida por los ventiladores. Para minimizar el consumo energético en los sistemas de calefacción y enfriamiento, se diseñó un sistema que permite controlar todos los flujos de aire (calefacción, enfriamiento y ventilación). El sistema permite suministrar aire atmosférico al invernadero cuando su temperatura permite utilizarlo en lugar de los flujos artificialmente

acondicionados. Los tres sistemas de flujo son accionados por un control que mide la temperatura interior del invernadero y determina los flujos requeridos para mantener las condiciones de confort.

Se desarrolló un modelo numérico de un invernadero agrícola que evalúa las interacciones energéticas con su entorno y los consumos necesarios para climatizar el invernadero. El modelo está compuesto por un calentador de aire que utiliza gas L.P., un sistema de enfriamiento evaporativo, un sistema de control, tres ventiladores y dos mezcladores de flujo (Figura 1).

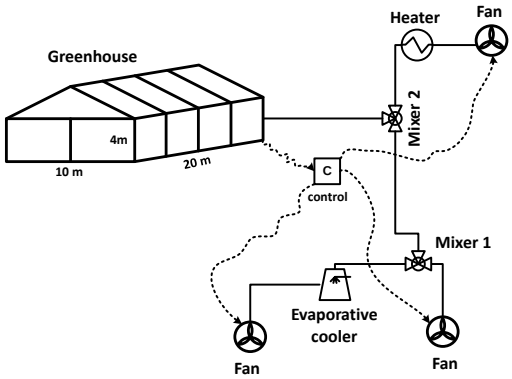

FIGURA 1. Modelo propuesto

El modelo se implemento en TRNSYS, que es una plataforma para simular sistemas termo-solares que operan en procesos transitorios. Se realizó un análisis paramétrico del funcionamiento (operación) del invernadero, para periodos de un año. La tabla 1 muestra la variación de los parámetros.

Parámetro	Valores	Combinaciones
Localidad	Chihuahua, Cd. Juárez, Nvo. Casas Grandes, Temósachic	4
Cultivo	Tomate, Pepino, Pimiento	3
Material	Policarbonato, Polipropileno, Vidrio Hortícola	3
Tipo de pared	Sencilla y doble	2
Control	Justo y Flojo	2
Total		**144**

TABLA 1. Tabla paramétrica

Una vez realizado el análisis paramétrico se obtuvieron los consumos energéticos de los sistemas de:

- Calefacción
- Agua para enfriamiento evaporativo
- Energía eléctrica consumida por los ventiladores de calefacción, enfriamiento y ventilación.

Con los consumos energéticos y los costos de materiales de envolvente, se realizo un análisis financiero para traer a valor presente todos los costos resultantes considerando valores históricos para:

- Inflación del 5%
- Incremento del costo de gas L.P anual del 9%
- Incremento del costo de electricidad del 5%
- Incremento del costo de agua de 4%

Los costos de material y energéticos fueron cotizados para la ciudad de Chihuahua. El dimensionamiento del invernadero es de 200 m^2 de suelo, y un área de paredes de 120 m^2 y 200 m^2 de techo a dos aguas.

RESULTADOS

Efecto de control de temperatura

En la figura 2 y 3 se hace la comparación del efecto del control de temperatura al tener un control justo vs un control flojo. En la tabla 2, se logra apreciar que tan solo teniendo un control flojo el ahorro para un mismo material y cultivo, se ve afectado por las condiciones climáticas de cada ciudad.

City	Narrow Band Bontrol	Broad Band Control	Savings %
Chihuahua	$62,169.72	$45,276.56	27
Cd. Juárez	$76,468.59	$ 60,865.15	20
Nvo. Casas Grandes	$102,304.07	$85,791.14	16
Temósachic	$158,039.44	$138,979.88	12

TABLA 2.- Ahorro de energía en la caldera con tan solo pasar de justo a flojo (Tomate y polypropilene)

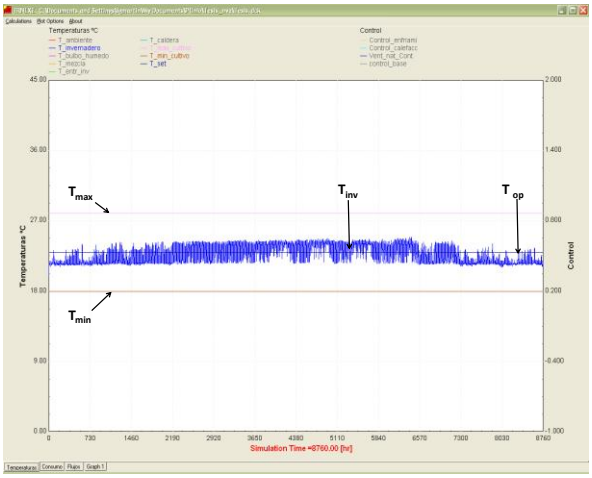

FIGURA 2.- Control de temperatura justo

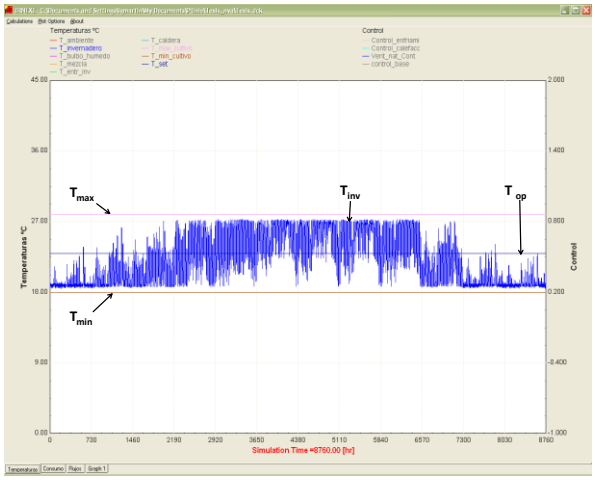

FIGURA 3.- Control de temperatura flojo

Tipo de material de la envolvente

En la figura 4 se puede observar que el patrón de los consumos energéticos es similar en todos los materiales simulados. La grafica muestra que el material que genera un menor costo energético en el invernadero es el policarbonato, seguido por el polipropileno y vidrio hortícola.

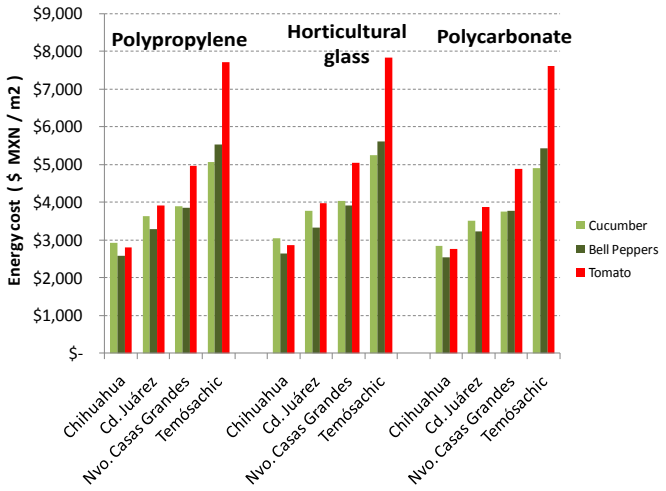

FIGURA 4.- Costo energético a valor presente durante 10 años

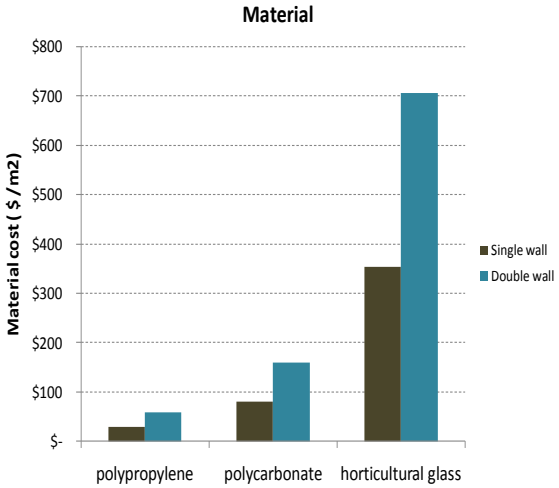

FIGURA 5.- Costo de inversión de material

Localización geográfica del invernadero

En la figura 4 se logra apreciar como el costo de energía incurrido en el invernadero, para mantener la temperatura interna dentro del rango de confort, es afectado por las características climáticas del lugar donde se encuentra el invernadero.

Se logra apreciar como el costo de energía, por m^2 de superficie de piso, cambia apreciablemente al considerar diferentes ciudades, con diferente climatología. Para un invernadero cultivando tomate y construido con vidrio hortícola, el cambiar su ubicación de Chihuahua a Temósachic representa un aumento en el costo energético del 173%.

Efecto de pared doble vs pared simple

En la figura 6 se hace la comparación entre un invernadero de pared sencilla y pared doble. Logando una gran diferencia considerable en los costos energéticos al utilizar pared doble.

El polipropileno y el policarbonato son los materiales que mejores resultados presentan al mostrar los costos energéticos menores y similares. Pero el costo de material si difiere uno del otro. El policarbonato es 2.75 veces más caro que el polipropileno (figura 4). Si bien la utilización de paredes dobles en la construcción del invernadero implica el doble de costo de material, la disminución en el consumo de energía es solo del 29%, pero el valor de ese 29% de energía excede por mucho el costo de utilizar doble pared, como puede observarse en la Figura 6.

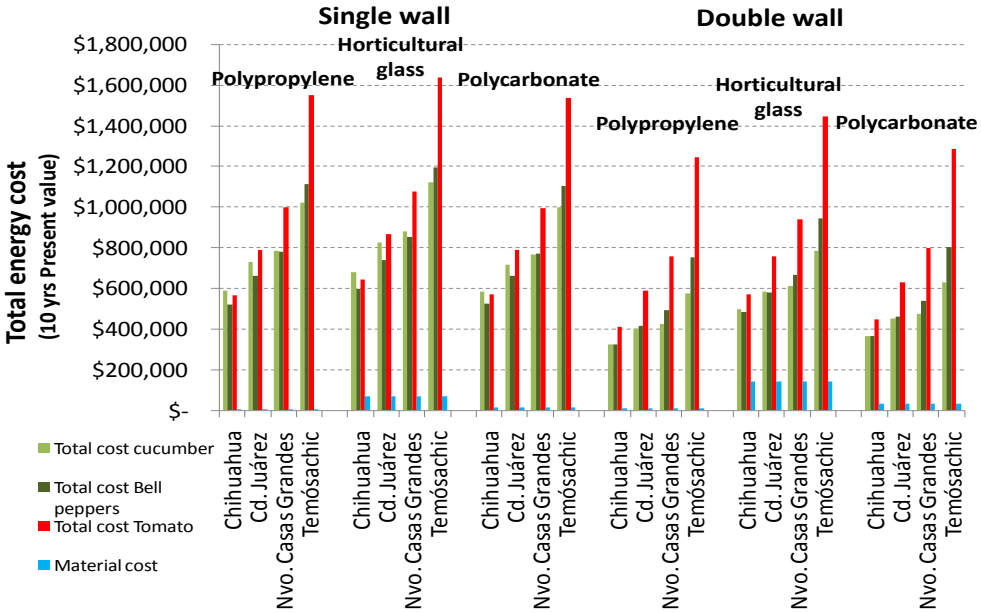

FIGURA 6.- Costo energético comparando pared sencilla vs pared doble

CONCLUSIONES

El uso de simulación dinámica, capaz de modelar las variaciones climáticas durante periodos extendidos de tiempo, y las interacciones energéticas entre el invernadero y su entorno, es indispensable para estimar el consumo de energía en invernaderos.

De los parámetros analizados en este trabajo se puede concluir que la localización geográfica tiene un gran impacto en el costo energético de los invernaderos agrícolas.

La utilización de doble pared en la envolvente del invernadero, en climas como los de Chihuahua, incrementa el aislamiento del invernadero, y su efecto en la reducción del consumo energético excede por mucho el costo de la doble pared.

El costo energético para la correcta operación del invernadero puede significar el 96% del costo total, mientras que el costo de material de la envolvente representa solo el 4%. La rentabilidad económica de éste tipo de empresas depende entonces de sus consumos energéticos, y deberá analizarse con mucho cuidado su diseño, pues cualquier variación puede ser muy importante para el éxito o fracaso económico.

Conjuntando los resultados aquí presentados con datos sobre el valor de mercado de los cultivos analizados, productividad esperada por unidad de área, costos de construcción y de transporte, se puede determinar la rentabilidad de cada caso y con ello ayudar a la toma de decisiones de inversión.

La herramienta aquí desarrollada permitirá analizar el comportamiento de cualquier tipo y tamaño de invernadero, operando en cualquier región del país, y suministrar valiosa información sobre los consumos energéticos esperados.

REFERENCIAS

Critten D.L., Bailey B.J. (2002). A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology* (112), 1-22.

IDAE, I. p. (2008). Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos. *Ahorro y eificiencia energética en la agricultura* , 1-75.

Kolokotsa, D. e. (2010). Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouse. *Energy Conversion and Management* , 155-168.

Martín-Domínguez, I.R. y Hernández-Álvarez, R. (2002).Datos climáticos de cuatro ciudades del estado de Chihuahua, para la simulación de uso de energía en edificaciones utilizando el paquete TRNSYS. Artículo ERE 01-49. Memorias de la 26 Semana Nacional de Energía Solar. ANES:181-185. Noviembre 11-15.Chetumal, Q.R. México.

Rivera, R. (2007). La tecnología de invernadero en el valle Yaqui. *Red de investigación y docencia sobre innovación cientifica* , 1-19.

Sethi, V. (2009). On the selection of shape and orientation of a greenhouse: Thermal modeling and experimental validation. *Solar Energy* (83), 21-38.

P-20

3er Congreso Internacional de energías alternativas

EI INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Y EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA
Y TECNOLOGÍA AVANZADA UNIDAD QUERÉTARO

Extiende el Presente

RECONOCIMIENTO

A:

Plinio Ernesto Castro López, José Apolonio Burciaga Santos, Ignacio Ramiro Martín Domínguez, María Teresa Alarcón Herrera

Por la presentación del poster titulado:

"Análisis del comportamiento energético de invernaderos agrícolas mediante simulación dinámica en TRNSYS"

Santiago de Querétaro, 31 de mayo al 3 de junio de 2011.

Dr. Martín de Jesús Nieto Pérez
Comité Organizador

Dr. Jorge Adalberto Huerta Ruelas
Director

"La técnica al servicio de la patria"

CICATA Querétaro · 75 Años Instituto Politécnico Nacional 1936-2011 · 15 CICATA · Querétaro · Querétaro · CONACYT · CONCYTEQ