

**Habilitación de invernadero con sistema automático para el control de temperatura por medio de colectores solares y almacenamiento térmico así como el diseño de biodigestor para la realización de proyectos multidisciplinarios de impacto en la región.**

Adriana Herlinda, José Robles, Adriana Sánchez y Guillermo Gutiérrez

A. Herlinda, J. Robles, A. Sánchez y G. Gutiérrez

Universidad Politécnica de Zacatecas, Ingeniería y Tecnología, Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable Plan del Paredón S/N, Parque Industrial, Fresnillo, Zac.

[jmroblessolis@yahoo.com](mailto:jmroblessolis@yahoo.com)

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

## Abstract

Production in protected agriculture (greenhouses) in the state of Zacatecas has increased significantly, reaching far more than 509 hectares (Acosta Reveles, 2011). In recent years there have been temperatures up to 10 ° C below zero for long periods in the wee hours, which has caused loss of production in greenhouses up to 86%. (Diaz Vicuña, 2013). The main objective of this project is to contribute to the progress of the field by incorporating regional technology at an affordable price incorporating a temperature control system using solar collectors and thermal storage as well as the design of a biodigester that will maintain a temperature suitable for the crop development even during winter. After you enable and automate the greenhouse, is planned for conservation projects of endemic plant species of great importance in the region, as well as studies for the biological control of pests that damage crops in greenhouses. In the realization of this project will be involved teachers and students from various disciplines such as Mechatronics, Energy, Biotechnology, Industrial Engineering and International Business Administration.

## 12 Introducción

Con el establecimiento de los tratados de libre comercio el país está obligado a ser más competitivo. Uno de los rubros más sentidos por la globalización es la producción agrícola mexicana, ya que carece de tecnificación lo que lo convierte en un sector poco competitivo.

En un estudio realizado por SAGARPA (2012) se señala que en México las personas empleadas en la agricultura son siete veces más que en Estados Unidos con una producción agrícola respecto al PIB sólo 2.77 veces mayor, lo que representa un índice de productividad 4 veces menor que el que se tiene en E.E.U.U. Por lo anterior es importante incorporar la tecnología al campo mexicano para hacerlo más productivo.

La agricultura protegida ha tenido un crecimiento constante en los últimos años sobre todo a raíz de los cambios climáticos los cuales han repercutido en la baja productividad de la agricultura tradicional, por lo que se han presentado problemas de desabasto alimenticio y una desestabilidad en los precios. (Gómez Méndez, 2012)

Dentro del Inventario Nacional de Agricultura protegida que se realizó en 2011 por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) el estado de Zacatecas no figuraba dentro de este censo (servicio de información agroalimentaria y pesquera, México, 2011). En la actualidad se tienen conformadas organizaciones civiles de productores en Agricultura protegida (invernaderos y casa sombra) tal como la asociación de "Propietarios de Invernaderos de Zacatecas" la cual abarca los municipios de Fresnillo y Jerez, dirigida por Díaz Vicuña, (2013) quien señala que en épocas invernales las heladas afectan considerablemente los rendimientos de producción.

Por lo anterior, aún y cuando los de invernaderos ofrecen una opción para la producción en cualquier época del año, los productores del estado de Zacatecas han optado por restringir la producción agrícola en época invernal, al renunciar a un ciclo productivo a causa de los altos costos que se presentan para la climatización en esta temporada del año.

La Universidad Politécnica de Zacatecas desde el 2005 inició a realizar proyectos relacionados con la agricultura protegida, por lo que se construyó un invernadero con control automático de riego por medios hidropónicos, obteniendo resultados satisfactorios en el control y ahorro de agua.

Posteriormente se trabajó en el diseño y puesta en marcha de un prototipo de invernadero automático de 4 x 4, en el cual se implementó un control de temperatura, humedad y cantidad de agua, desarrollando con esto el análisis de los parámetros a considerar para la construcción y puesta en operación de un invernadero con dimensiones mayores. (Robles Solís, García Ruiz, & Gutiérrez Villegas, 2009)

En la actualidad se trabaja en la construcción de un invernadero de 12 x 60 m, por lo que a la fecha se cuenta con la estructura de acero ya instalada la cual se utilizará de base para el presente proyecto, quedando pendiente continuar con la construcción física del invernadero, para así realizar la implementación y puesta en marcha de un sistema híbrido solar-biogás para el acondicionamiento térmico y de esta manera disminuir los consumos de combustible utilizando energía renovable.

Lo anterior ya que en el estado de Zacatecas se cuenta con un recurso solar privilegiado de 6 kWh/m<sup>2</sup> en el plano, aún en el periodo otoño-invierno normal (Villagrana Muñoz et.al. 2008), por lo que la radiación solar es un fuente de energía que se puede aprovechar para la climatización de los invernaderos además de que en el campo es posible implementar sistemas de biodigestores y con esto reducir los consumos de combustible para el acondicionamiento de la temperatura ya que en estas épocas son muy elevados, por lo cual, muchos cultivos resultan inviables, desde el punto de vista económico, en estos periodos, aún en invernaderos. Por ello es vital buscar sistemas alternativos y evaluar su eficiencia.

Por otro lado, se ha trabajado en vinculación con el cuerpo académico de Biotecnología Experimental de la Universidad Autónoma de Zacatecas en el proyecto FOMIX denominado "Generación de herramientas biotecnológicas para la fitoextracción de metales pesados de suelos contaminados" en el cual una de las actividades principales a desarrollar por parte del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable de la UPZ es la realización de pruebas de invernadero de las plantas seleccionadas como acumuladoras, por lo que es necesario contar con la infraestructura de un invernadero para cumplir con los compromisos establecidos en el proyecto.

Por todo lo anterior, el objetivo principal del presente proyecto es habilitar un invernadero experimental con control de parámetros básicos de temperatura, pH, humedad, CO<sub>2</sub> y nutrientes que aumente la sustentabilidad del mismo para realizar proyectos que beneficien a la región. Así también coadyuvar al progreso del campo mediante la incorporación de tecnología regional a un precio accesible incorporando un sistema de control de temperatura mediante colectores solares y almacenamiento térmico que permitan mantener una temperatura adecuada para el desarrollo de los cultivos aún en épocas invernales.

## 12.1 Metodología

Partiendo del hecho de que en la Universidad Politécnica de Zacatecas se cuenta con la estructura de un invernadero de 12x60 (ver figura 12) se continuará con la instalación del recubrimiento plástico y la adecuación para la implementación de los sistemas para el control de temperatura y el acondicionamiento térmico en el invernadero.

**Figura 12** Estructura de invernadero UPZ



La actividad principal de un invernadero es generar un microclima controlado para favorecer los procesos productivos vegetales. El microclima debe enfocarse al control de la temperatura, la humedad, la ventilación y la luz. Con el correcto control de éstas es posible incrementar la producción de especies vegetales, por ejemplo ciertos cultivos que dependen de las condiciones variables del clima para su crecimiento como la temporada de lluvias, los meses de calor o vientos de baja intensidad. Por ello se diseñará e instalará un prototipo de colectores solares con almacenamiento térmico para el acondicionamiento de temperatura del invernadero evaluando su efectividad sobre todo para épocas invernales donde las temperaturas descienden a varios grados bajo cero.

Las condiciones que permitan maximizar el rendimiento de los cultivos en un invernadero se deben investigar con base en las siguientes características:

- Ventilación
- Temperatura
- Humedad

- PH
- Cantidad de agua
- Cantidad de fertilizante

La temperatura es un factor que afecta al crecimiento de los cultivos de manera muy importante, a tal grado que hay cultivos que solo pueden crecer en un cierto intervalo de temperatura, por este motivo es de vital importancia que se controle este parámetro y se encuentre el valor del mismo que permita maximizar el rendimiento de los cultivos, además, es necesario medir la temperatura en varios puntos del invernadero, esto a través de sensores de temperatura correctamente distribuidos en todo el invernadero. Se realizará un estudio para determinar la ubicación estratégica de los sensores y poder establecer los puntos de monitoreo más adecuados.

En ese sentido, se diseñará un prototipo para la captación solar por medio de colectores solares utilizando en todo momento la experiencia del grupo de trabajo que se ha generado a través de trabajos previos.

Se diseñará un prototipo para la captación y almacenamiento térmico de energía solar fototérmica en base al volumen de aire contenido en el invernadero, a la conductividad térmica de las paredes, a la diferencia de temperaturas interior y exterior, promedio y crítica así como a la condición de temperatura mínima requerida para evitar la congelación del producto.

El sistema fototérmico consta de tres subsistemas principales:

- 1) Sistema de captación solar: se propone como primer alternativa un sistema de colectores planos dado que las necesidades de temperatura al interior del invernadero se encuentran en el rango de 4 a 25°C por lo que este tipo de sistemas han mostrado su efectividad bajo estas condiciones.
- 2) Sistema de Almacenamiento térmico: Consta de un termo tanque intercambiador de calor en el cual se incluirán materiales de prueba que cubran con las siguientes propiedades principales: buena conductividad térmica y alta densidad, punto de fusión en el rango entre 30 y 70° C y un calor latente superior a los 200kJ/kg con la finalidad de almacenar grandes cantidades de energía térmica por cambio de fase del material almacenado. Se propone que el termo fluido en el circuito primario sea agua u aceite y en el circuito secundario aire.
- 3) Sistema de Control de temperatura: Consta de la integración del circuito secundario de aire al interior del invernadero mediante un sistema de ventilación de aire forzado el cual extraiga el calor del termotanque y lo distribuya en el interior del invernadero. La temperatura en el interior será controlada por la velocidad del ventilador que posee un control proporcional de temperatura multisensor.

**Instalación del sistema de ventilación:**El sistema de ventilación es un dispositivo esencial para el acondicionamiento térmico del invernadero, por lo cual este tiene que estar interconectado con el sistema principal de control de temperatura. En esta etapa se instalará un sistema automático de apertura y cierre de ventanas ya que el diseño considera una ventilación natural (Rico García et. al., 2008b).

**Instalación de sensores:** Se analizan las dimensiones del invernadero además de la distribución de la temperatura para definir la ubicación de los diferentes sensores (como el de temperatura, humedad y pH).

**Diseño de los colectores Solares:**Se propone como primer alternativa un sistema de colectores planos dado que las necesidades de temperatura al interior del invernadero se encuentran en el rango de 4 a 25°C por lo que este tipo de sistemas han mostrado su efectividad bajo estas condiciones. Por otro lado, la temperatura necesaria para el sistema no es superior a los 100°C ya que de requerir una temperatura mayor los colectores tendrían que ser de concentración solar, parabólicos o de canal parabólico lo que incrementaría sensiblemente la inversión y los costos de mantenimiento.

**Sistema de Almacenamiento Térmico.**Consta de un termo tanque intercambiador de calor en el cual se incluirán materiales de prueba que cubran con las siguientes propiedades principales: punto de fusión en el rango entre 30 y 70° C y un calor latente superior a los 200kJ/kg con la finalidad de almacenar grandes cantidades de energía térmica por cambio de fase del material almacenado, además poseer buena conductividad térmica y alta densidad. Se propone que el termo fluido en el circuito primario sea agua u aceite y en el circuito secundario aire.

Para la correcta operación del sistema de acondicionamiento térmico en invernadero se instalará un de control de temperatura que controle el circuito secundario de aire al interior del invernadero mediante un sistema de ventilación de aire forzado el cual extraiga el calor del termo tanque y lo distribuya en el interior del invernadero. La temperatura en el interior será controlada por la velocidad del ventilador que posee un control proporcional de temperatura mult sensor.

#### Sistema de control de Variables:

El sistema de control instalado en el invernadero experimental, se realizará por medio de una plataforma de programación visual (LabView), que permita seleccionar, programar y monitorear variables desde una PC. La interfaz gráfica se diseñará de forma sencilla e intuitiva con diferentes niveles para el usuario de acuerdo a las actividades asignadas (Administrador o usuario).

Dentro del sistema de control se proponen dos modos de operación: manual y automático. En modo manual se podrán observar los diferentes sensores y activar los actuadores de manera independiente para verificar su funcionamiento. En modo automático se seleccionará el tipo de cultivo (tomate o pepino) y de forma automática se ajustará la temperatura.



7	Realizar las pruebas experimentales para la producción de dos de los principales cultivos de la región y la generación de plantas endémicas en peligro de extinción.													
8	Evaluar, calificar y analizar los datos obtenidos de la prueba experimental para determinar las condiciones óptimas de producción de cada cultivo.													

Este proyecto permite que se integren diversas disciplinas. En el trabajo de recubrimiento plástico y la automatización estarán trabajando docentes y alumnos de las ingenierías en Mecatrónica e Ingeniería Industrial. En el diseño de colectores solares trabajarán personal de la Ingeniería en Energía. En el diseño del Biodigestor docentes y alumnos de la Ingeniería en Biotecnología. Después de la habilitación del invernadero, como segunda fase del proyecto estarán realizando proyectos de agronegocios alumnos de la licenciatura en Negocios Internacionales.

Resultados esperados a corto y mediano plazo:

Los resultados esperados a obtener durante la realización del proyecto son los siguientes:

- 1) Prototipo de Invernadero de 12 x 60 m de tipo modular-experimental que sirva de base para implementación del control de temperatura además de permitir el control de los parámetros que influyen en el rendimiento de la producción.
- 2) Prototipo de sistema para almacenamiento térmico.
- 3) Prototipo de biodigestor.
- 4) Colectores solares para la captación solar y el control de temperatura para un invernadero de 12 x 60 m.
- 5) Un protocolo de tesis doctoral.
- 6) Dos manuales de operación para el biodigestor y el sistema de control automático del invernadero.
- 7) Tres informes técnicos.
- 8) Tres artículos indexados.

## 12.2 Discusión

Un problema que se ha estado observando en Zacatecas en el sector agrícola, es que las cosechas han disminuido su rendimiento por la falta de rotación de cultivos y la sobre explotación de la tierra, además de que las reservas de agua en el estado han disminuido sus niveles en los últimos años, a tal grado que de los 34 acuíferos casi el 50% están siendo sobre explotados (Grupo informador, 2013), por lo que la producción agrícola dependen mucho del temporal, el cual es muy impredecible. Aunado a esto, se debe considerar la fluctuación en los precios de los productos al momento de la cosecha, con lo que se genera un panorama no atractivo para los agricultores. En la actualidad el estado de Zacatecas y principalmente en los municipios con características climatológicas semidesérticas, la producción agrícola está pasando por una de las más severas crisis por diferentes tipos de factores ambientales como lo son: exceso de lluvia, sequía, granizadas, nevadas, heladas, o incluso la intervención de algún tipo específico de plaga en los cultivos, que ha hecho que se enciendan los focos rojos, ya que la agricultura es una de las principales actividad económica en varios municipios, además de que el estado ocupa los primeros lugares a nivel nacional en la producción de frijol, tuna, durazno, zanahoria, uva, tomate y guayaba. (INEGI, 2013). Dado lo anterior, se requieren implementar sistemas que apoye a que las cosechas no dependan del temporal, por lo que es importante innovar en las formas de aprovechamiento de los recursos naturales para mejorar la producción agrícola, con lo que se mejorarían las condiciones competitivas y laborales del campesino y se colocaría a la región en un mejor plano de competitividad en la producción agrícola. Por lo que el presente proyecto pretende trabajar en ello.

## 12.3 Conclusiones

En el estado existen invernaderos con sistemas automáticos para el control de temperatura. Estos sistemas están basados en combustibles fósiles tales como el gas natural, o en el mejor de los casos por medio de calentadores eléctricos, por lo que los gastos de producción en esta época superan la utilidad económica. Por lo anterior, la producción en época invernal no se considera rentable para los productores del estado. Por otra parte, el recurso solar del estado de Zacatecas es de los más altos del país y del mundo, 6 Kwh/m<sup>2</sup> promedio anual en el plano normal. (Villagrana Muñoz et al. 2008)

La realización de este proyecto permitirá comprobar la hipótesis de que la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de energía solar disminuyen el consumo de combustible que se utiliza para el acondicionamiento térmico en los invernaderos. Además de comprobar que el empleo de sistemas solares para el acondicionamiento térmico en invernaderos, permite a los productores de la región producir cultivos en invernadero en cualquier estación del año. También es importante mencionar, que al incluir varias disciplinas permitirá obtener mejores resultados en el proyecto, el cual solo será la base para realizar otros.

## 12.4 Referencias

Acosta Reveles, I. L. (febrero de 2011). Mujeres en el Medio Rural: Conflictos Tradicionales, Prácticas Emergentes y Horizontales. Recuperado el 08 de Mayo de 2013, de [http://www.eumed.net/librosgratis/2011f/1143/panorama\\_nacional\\_y\\_estatal\\_de\\_los\\_nuevos\\_procesos\\_de\\_produccion\\_](http://www.eumed.net/librosgratis/2011f/1143/panorama_nacional_y_estatal_de_los_nuevos_procesos_de_produccion_)

Carollo Reveles, D. A., & Vázquez Minjares, J. L. (2008). Automatización de un invernadero utilizando el PLC S7-200. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zacatecas: Universidad Autónoma de Zacatecas.

Carollo Reveles, D. A., Vázquez Minjares, J. L., Villela Varela, R., Beltrán Telles, A., Reyes Rivas, C., & González Elías, M. E. (2008). Control del Clima de un Invernadero. *Investigación Científica*, 4(2), 8.

Castañeda Miranda, R., Ventura Ramos, E. J., Peniche Vera, R. D., & Herrera Ruiz, G. (2007). Análisis y Simulación del Modelo Físico de un Invernadero bajo Condiciones de la Región Central de México. *Agrociencias*, 41(3), 317-335.

Castro, M., & Colmenar, A. (2008). Energía Solar térmica de Baja Temperatura. *Renobables, Monografías Técnicas de Energía*.

Castro, M., Colmenar, A., Carpio, J., & Guirado, R. (2006). Energía Solar Térmica de Media y Alta Temperatura. *Monografías Técnicas en Energías Renovables*.

Comite Técnico de normalización AEN/CTN 94, "Energía Solar Térmica". (2007). *Energía Solar Térmica (Normas UNE)*. Censolar.

Díaz Aguirre, A. (28 de Abril de 2013). Producción en invernaderos de Zacatecas. (J. Robles Solís, Entrevistador) Rio Florido, Zacatecas, México.

Díaz Vicuña, P. C. (06 de Mayo de 2013). Perdidas en invernaderos por bajas temperaturas en el estado. (J. M. Solís, Entrevistador).

Gómez Méndez, E. (2012). Producción de Jitomate (*Solanum -lycopersicum L.*) bajo condiciones protegidas e hidroponía en Tabasco" Tesis de Doctorado. Montecillo, Texcoco, Estado de México: Colegio de Posgraduados Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.

Gonzalez, A. J., Carreras Planells, R., & Montserrat Ribas, S. (2006). *Tecnología Energética y Medio Ambiente I*. Edicions UPC.

Grupo informador. (Abril de 2013). Urge Modernizar más de 5mil pozos profundos en Zacatecas. *El Campirano*, 07(88), págs. 14-16.

INEGI. (2013). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 15 de Mayo de 2013, de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/economia/default.aspx?tema=me&e=32#sp>

Jones, J. W., Hwang, Y. K., & Seginer, I. (1994). Simulation of greenhouse crops, environment and control. *Acta Horticulturae*, 399, (págs. 73-86).

Rico García , E. (2008b). Modelación Climática en Invernaderos: Ventilación Natural, Tesis de Doctorado. Santiago de Querétaro, Qro.: Universidad Autónoma de Querétaro.

Rico García , E., López Cruz , I. L., Herrera Ruíz , G., Soto Zarazúa, G. M., & Castañeda Miranda, R. (2008a). Effect of Temperature on Greenhouse Natural Ventilation Under Hot Conditions: Computational Fluid Dynamics Simulation. *Journal of Applied Sciences*, 8(24), 4543-4551.

Robles Solís, J. M., Garía Ruiz, M. A., & Gutiérrez Villegas, J. C. (2009). Invernadero Automatizado. Fresnillo Zacatecas: Universidad Politécnica de Zacatecas.

Rodríguez, E. (1996). Efecto de la poda y densidad de población en el rendimiento y calidad de fruto de jitomate. Universidad Autónoma de Chapingo. México: Universidad Autónoma de Chapingo.

SAGARPA. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado el 01 de Mayo de 2013, de [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Paginas/potencial\\_productivo.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Paginas/potencial_productivo.aspx)

servicio de información agroalimentaria y pesquera, méxico. (25 de Novbembre de 2011). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimenticia . Recuperado el 11 de mayo de 2013, de inventario nacional de agricultura protegida: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=57&Itemid=397](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=397)

Tchamitchian, M., L., G. v., & G., v. (1992). Short term dynamic optimal control of the greenhouses climate. The Netherlands: MRS report.

Udink Ten Cate, A. J. (1985b). Modelling and Simulación in Green houses climate control. *Acta Horticulturae* 174, (págs. 461-467).

Van-Henten, E. J. (1994). Greenhouse climate management: an optimal control approach. PhD. thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.

Van-Henten, E. J. (2000). Sensitivity analysis of an optimal control problem in greenhouses climate managment. *Biosystems Eng.*(85), 335-364.

Villagrana Muñoz, L. E., Valero Luna, C. Y., García González, J. M., & Durón Torres, S. M. (Mayo-Agosto de 2008). Evaluación del Potencial de Radiación Solar de Zacatecas a partir de Mediciones de Radiación Global y Difusa. *Investigación Científica*, 4(2), 1-6.

