



CIENCIA XVUANL
ANIVERSARIO

Estudio climático de dos invernaderos en el estado de Nuevo León, México

JAVIER LEAL IGA*

Los invernaderos son estructuras que procuran establecer un clima independiente al exterior adecuado al crecimiento de las plantas, protegiéndolas de las condiciones ambientales adversas, como viento, granizo, lluvia, entre otros. Por otra parte, la operación eficiente de los invernaderos requiere de técnicas de control automático, con base en modelos dinámicos¹⁻⁴ que muestren la interacción entre las variables que representan el sistema. Por lo tanto, el primer paso es efectuar un estudio climático de las variables del sistema que permitan establecer la dinámica del clima en la zona donde se encuentra localizado el invernadero, así como la dinámica climática hacia su interior. Esto permite analizar la situación y determinar la problemática, así como las soluciones y recomendaciones más adecuadas a cada caso particular. Además, el estudio proporciona valores numéricos con los que será factible, en trabajos futuros, efectuar un modelado dinámico del clima del invernadero y la aplicación de técnicas de control.⁵⁻⁹

En este trabajo se presenta el estudio climático de dos invernaderos localizados en dos zonas geográficamente diferentes: Aramberri y Marín, en el estado de Nuevo León. Así como el análisis, la determinación de la problemática climática y factibles soluciones.

INTRODUCCIÓN

En general, los cultivos a cielo abierto se ven amenazados por variaciones atípicas en los valores de temperatura, así como por la falta o exceso de agua de lluvia, entre otras cosas. Aunado a esto, los cambios climáticos que se han experimentado en el mundo, debido al calentamiento global por efecto de las actividades del hombre, han transformado las condiciones ambientales en muchas zonas, haciéndolas inadecuadas para el desarrollo de cultivos.¹⁰ Una forma de enfrentar el problema ocasionado por estas variaciones y cambios es la utilización de invernaderos. Así, un cultivo, en cierto grado, se protege de las condiciones ambientales extremas. Además, mediante los invernaderos se lleva a cabo, entre otros, el control de los nutrientes, las plagas y la fertirrigación, lo que aumenta considerablemente la eficiencia en el rendimiento de las hortalizas. Por ejemplo, para el tomate se reportan rendimientos,¹¹ a cielo abierto, de entre 35 a 70 $\frac{\text{Ton}}{\text{Hec}}$, mientras que los rendimientos en invernadero son de entre 150 a 250 $\frac{\text{Ton}}{\text{Hec}}$.

Los invernaderos ofrecen una independencia parcial a las condiciones climáticas de la zona donde se

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. jlealiga@yahoo.com.mx

encuentre ubicados, debido a que, por cuestiones de rentabilidad, la estructura y la cubierta que los forma no ofrecen un aislamiento completamente independiente al clima del exterior. Asimismo, los equipos que se usan para el acondicionamiento del clima en el interior no representan grandes costos en su adquisición y mantenimiento. Así, para los invernaderos localizados en el estado de Nuevo León, regularmente la estructura es de madera o de tubería de acero, y la cubierta es de plástico translúcido, de apenas algunos micrómetros de grosor, proporcionando la suficiente entrada de luz solar para el desarrollo del cultivo y un aislamiento parcial al clima del exterior.

Debido a lo anterior, se hace indispensable considerar el clima de la zona donde se encuentre ubicado el invernadero, para determinar la problemática que éste represente para el cultivo que se desea desarrollar, así como posibles soluciones y adecuaciones. El análisis no se efectuaría sin datos numéricos o mediciones proporcionadas por sensores que definan y den un panorama certero de la situación climática, tanto del exterior como del interior del sistema invernadero.

En el presente trabajo se analizó la información climática disponible para las zonas donde se encuentran dos invernaderos en el estado de Nuevo León, México, uno en el municipio de Aramberri y otro en el de Marín. Además, se incluye el resultado de los muestreos de los parámetros de temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento, que se llevaron a cabo en cada uno de ellos, para los periodos del año en que se determinó se presentaban condiciones adversas para el cultivo.

INVERNADEROS ESTUDIADOS

Invernadero de Aramberri

Se encuentra ubicado en las instalaciones de la Facultad de Agronomía, Unidad La Ascensión, de la

Universidad Autónoma de Nuevo León, a $24^{\circ} 19.5'$ latitud norte, y a $99^{\circ} 56.5'$ longitud oeste, tiene una altitud de 2003 msnm (figura 1). El clima se clasifica como seco, semiseco, con lluvias todo el año.¹² El invernadero, orientado a Sureste-Noroeste, tiene 40 m de longitud, 30 m de ancho, muros laterales de 3.5 m y techo semicircular de 1.5 m de alto a la cumbre. Tiene ventilas cenitales de compuerta y laterales en los cuatro costados de cortina de plástico enrollables de 2 m, todas éstas con malla antiinsectos y operadas con motores. Su estructura es de acero galvanizado en tres claros, con cubierta de polipropileno.



Fig. 1. Invernadero de "La Chona", Aramberri, N.L.

Invernadero de Marín

Se localiza a $25^{\circ} 23'$ latitud norte, y a $100^{\circ} 02'$ longitud oeste, con una altitud de 363 msnm (figura 2.). El clima en esta zona se clasifica como seco, semiseco y semicálido.¹²

El invernadero tiene 50 m de longitud, 21 m de ancho, 4.35 m de altura hasta la cumbre, la cual tiene forma parabólica. Cubierta de polipropileno y estructura de acero galvanizado. Cuenta con ventilas cenitales y ventilas en muros laterales a lo largo

de los 21 m, con malla antiinsectos y cortinas enrollables. Además, cuenta con malla sombra, cubierta de fieltro blanca en el suelo, cuatro abanicos extractores en el muro frontal norte, uno en cada claro, ocho abanicos interiores, uno en cada extremo y cuatro nebulizadores, uno en cada claro. El invernadero se orienta a Norte-Sur.



Fig.2. Invernadero de Marín, N.L.

ESTUDIO CLIMÁTICO

Análisis climático de cada zona

Los cálculos se realizaron con los datos de la red climática del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del gobierno federal.¹³ En las figuras 3-6 se presentan las gráficas de los promedios mensuales de los parámetros climáticos para las dos localidades, en el periodo 2007-2010. La estadística descriptiva consistió en obtener los promedios anuales como el resultado de la suma de las medias, máximos y mínimos mensuales, de enero a diciembre, dividido entre 12, los cuales se muestran en la tabla I.

El efecto de la diferencia de altitud de la zona de Aramberri se manifiesta en el análisis climático al

Tabla I. Valores promedio anuales de 2007 a 2010.

Parámetro		Aramberri	Marín
Temperatura máxima	°C	22.4	30.0
Temperatura media	°C	14.0	22.3
Temperatura mínima	°C	6.4	15.8
Humedad relativa	%	67.3	65.1
Precipitación	mm.	38.8	51.2
Vel. máxima viento	km/hr	36.7	20.5
Vel. media viento	km/hr	10.5	3.5

compararlo con la zona de Marín. En la figura 3 y la tabla I se observa que las temperaturas de Aramberri son en promedio 8°C más bajas que en Marín, y si se considera que el rango de temperaturas óptimas de algunas de las especies hortícolas está entre 12 y 32°C,¹⁴ entre éstas el tomate (*Lycopersicon esculentum mill.*), una de las especies hortícolas de mayor importancia en el mundo, usándose tanto en consumo fresco como en la industria,^{15,16} se establece que en cuanto a la temperatura, el problema para cultivar en la zona de Aramberri se presenta principalmente en la época de invierno, cuando hay temperaturas mínimas por debajo de los 12°C, y para la zona de Marín, el problema se presenta principalmente en la época de verano, cuando las temperaturas máximas están por arriba de los 30°C.

En la figura 4 se observa que la humedad relativa en las dos localidades es adecuada para el cultivo, manteniéndose entre 60 y 80%, siendo ésta la recomendada para el cultivo del tomate.⁵

En la figura 5, se puede comprobar que para Aramberri y Marín, aunque se presentan lluvias todo el año, en general son escasas, por debajo de los 50 mm, en nueve meses del año, y en agosto, septiembre y octubre se tiene en promedio 160 mm al mes de lluvia para Marín, y menos de 60 mm para Aramberri, resultando un suelo con vegetación de matorrales en la llanura y pinos en los cerros y laderas de los cerros.³

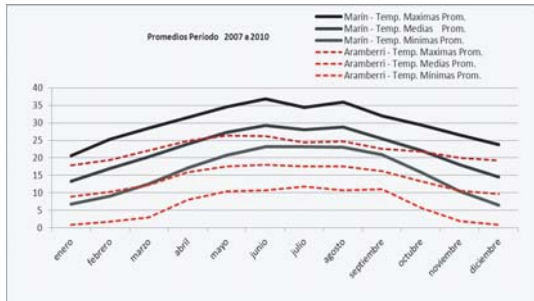


Fig. 3. Temperaturas medias, máximas y mínimas.

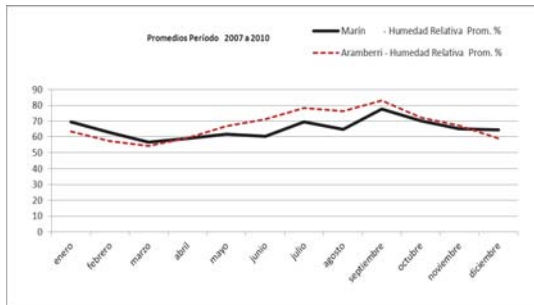


Fig. 4. Humedad relativa promedio.

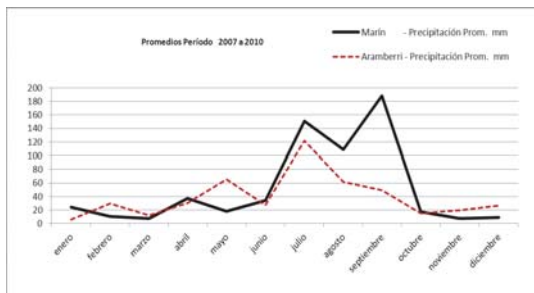


Fig. 5. Precipitación promedio.

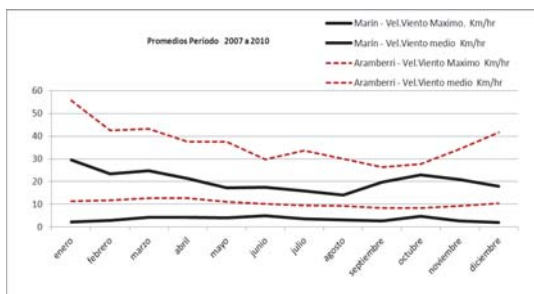


Fig. 6. Velocidad del viento máximo y medio.

De la figura 6 se determina que se cuenta con una fuerte ventilación para Aramberri, con velocidades del viento uniformes promedio de 10 km/hr durante todo el año, con ráfagas de entre 30 y 60

km/hr, y para Marín son más bajas y uniformes, suficientes para esperar una adecuada ventilación hacia adentro del invernadero.

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE CADA INVERNADERO

Se efectuaron monitoreos del clima en cada uno de los invernaderos estudiados, colocando una estación meteorológica en el interior y otra en el exterior de cada uno, y los resultados se presentan a continuación:

a) Invernadero de Aramberri. El monitoreo se realizó en el periodo del 12 al 15 de noviembre del 2010, en intervalos de 10 minutos. Teniendo las ventilas completamente abiertas desde las 06:00 p.m. del día 12, hasta las 09:00 p.m. del día 13, y con ventilas completamente cerradas desde las 09:00 p.m. del día 13 hasta las 11:00 a.m. del día 15. Se usaron dos estaciones meteorológicas, marca Davis Vantage Pro2, una en el interior del invernadero y la otra en el exterior, las cuales midieron temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Durante el estudio, el invernadero se encontraba sin cultivo. En este periodo, la temperatura del aire exterior se presentaba por debajo de los 7°C, en un día normal durante la noche, y por encima de los 17°C, durante el día.

Los datos medidos durante el muestreo en el invernadero de Aramberri se presentan en las figuras 7 y 8.

Con la información que se muestra en la figura 7, se confirma que en el periodo estudiado de invierno las temperaturas se presentan bajas, llegando a ser de 4°C, en el exterior, y de 6°C en el interior. Hay que mencionar que por ser un espacio cerrado, aun y con las ventilas completamente abiertas, tiende de manera natural a ser más caliente en el interior. El problema térmico del invernadero es el cli-

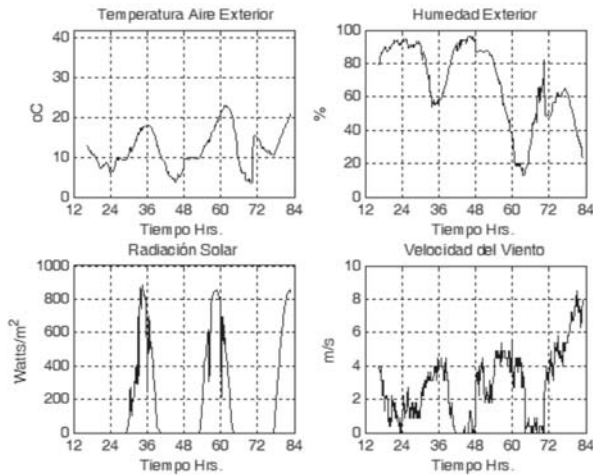


Fig. 7. Datos medidos de muestreo del invernadero de Aramberri. Estación meteorológica exterior.

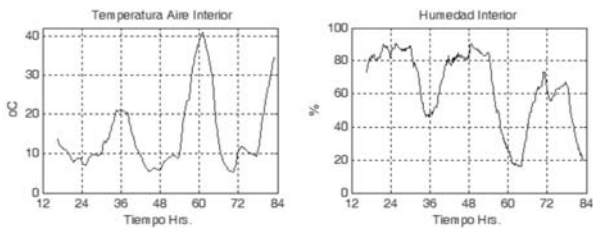


Fig. 8. Datos medidos de muestreo del invernadero de Aramberri. Estación meteorológica interior.

ma en temporada de invierno, y requiere calentarse con el consecuente gasto energético y económico. La humedad no representa inconveniente para el sistema invernadero-cultivo.⁵ El viento se presenta con valores altos con una buena ventilación hacia el interior, sin comprometer la estabilidad de la cubierta.

El muestreo abarcó dos fases: la primera de las 18:00 hrs hasta las 45:00 hrs, con todas las ventilas completamente abiertas; y de las 45:00 hrs. hasta las 83:00 hrs, con todas las ventilas completamente cerradas. En las figuras 7 y 8 se observa que para la fase con las ventilas abiertas la temperatura del interior fue muy semejante a la del exterior, sobre todo en la noche; debido a la fuerte ventilación, alcanzó durante el día los 2°C, en el interior, mientras que en el exterior la temperatura del aire fue de 18°C, con una

diferencia de apenas 3°C. Para la fase de ventilas cerradas, se aprecia claramente el fuerte efecto térmico del sol, donde la temperatura del interior alcanzó, durante el día, los 41°C, mientras que en el exterior la temperatura era de 23°C, con una diferencia de 18°C.

b) Invernadero de Marín. El monitoreo se realizó con dos estaciones meteorológicas automáticas Handar U.S. 540-A, una en el interior y otra en el exterior del invernadero, se midieron temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad del aire. El periodo de muestreo fue del 20 al 25 de junio, en el verano de 2004, en intervalos de 15 minutos. Durante el estudio se tenía cultivando tomate dentro del invernadero. En este periodo de muestreo, la temperatura del aire exterior se presentaba por encima de los 30°C, en un día normal para esta zona, donde el clima se cataloga como extremo,³ de tal manera que se mantuvieron todas las ventilas y los extractores completamente abiertos, y los nebulizadores funcionaron continuamente noche y día, tratando de bajar la temperatura dentro del invernadero.

Los datos medidos en el invernadero se muestran en las figuras 9 y 10.

En las figuras 9 y 10 se manifiesta el problema principal de calentamiento del invernadero en el periodo de verano. Las temperaturas del aire exterior se registraron por arriba de los 36°C, durante el día. Mientras que dentro del invernadero, por la ventilación forzada al usar los extractores y el mecanismo de enfriamiento de los nebulizadores, la temperatura del aire se mantuvo en 2°C, en promedio, por abajo a la del exterior. Durante el ensayo, se tuvo cultivo de tomate dentro del invernadero, y no fue posible llevar la temperatura del interior a valores óptimos para el cultivo, aun con los equipamientos tradicionalmente usados para enfriar el invernade-

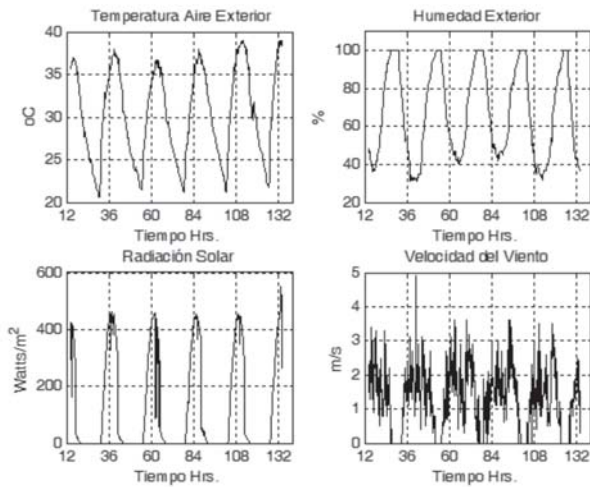


Fig. 9. Datos medidos de muestreo del invernadero de Marín. Estación meteorológica exterior.

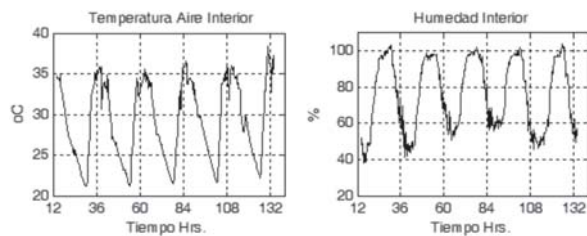


Fig. 10. Datos medidos de muestreo del invernadero de Marín. Estación meteorológica interior.

ro, como la malla de sombra, los nebulizadores y la ventilación forzada. La humedad no representó inconvenientes para el desarrollo del cultivo, presentó humedades altas durante el día, con lloviznas ocasionales.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El trabajo de investigación presenta el estudio climático de dos invernaderos localizados en zonas geográficas distintas dentro del estado de Nuevo León, México. El estudio consistió en analizar el clima, tanto del exterior como del interior del invernadero.

Del estudio se determina que para el invernadero de Aramberri, localizado a 2003 msnm, el clima exterior es frío la mayor parte del año, manifestándose como el problema principal al necesitar de la

inversión en calefacción durante el periodo de invierno. Por otro lado, por la altitud, la insolación hace que durante el día llegue suficiente energía como para elevar la temperatura en el interior del invernadero hasta los 41°C, lo que hace suponer que si fuera posible almacenar esa cantidad de calor proporcionada por el Sol, podría usarse como medio de calefacción durante la noche. Así se reduciría el gasto de energía, con el consiguiente ahorro económico. Durante la noche, la delgada cubierta de plástico no ofrece un aislamiento térmico eficiente y el calor capturado durante el día es disipado a través de la cubierta, e iguala la temperatura del interior con la del exterior.

Además, del estudio se determina que el problema para el invernadero de Marín es el calentamiento durante el verano. Los equipos tradicionalmente usados para tratar de enfriar el aire dentro del invernadero son insuficientes, esto se debe principalmente a que, por razones de rentabilidad, no es posible hacer grandes inversiones y gastos en el proceso de enfriamiento, limitándose al uso de malla sombra, nebulizadores y ventilación forzada. El proceso de enfriamiento se mejoraría al incrementar la ventilación forzada. Los extractores usados en Marín se proporcionan en la compra del invernadero, de manufactura coreana, diseñados para climas de esa localidad, y resultan insuficientes para mover la cantidad de aire necesaria para producir una mayor renovación, que junto con la instalación de un muro húmedo harían el proceso de enfriamiento evaporativo más eficiente.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación estudia el clima para el sistema zona climática-invernadero para dos invernaderos: uno en Aramberri y otro en Marín, ambos en Nuevo León.

Se concluye que para la zona de Aramberri, debido a la altitud del lugar, el problema climático es en el periodo de invierno, cuando las bajas temperaturas hacen necesario el gasto en energía de calentamiento durante la noche. Sin embargo, en el mismo periodo de invierno la insolación es intensa y suficiente durante el día para alcanzar a calentar el aire dentro del invernadero sin necesidad de efectuar ningún gasto. Debido al fuerte viento que regularmente se presenta en la zona durante el verano, basta incrementar las renovaciones con el exterior para tener una temperatura adecuada. Con base en los resultados, se recomienda aplicar alguna técnica para aprovechar el calor capturado durante el día en los periodos de invierno, y evitar que se pierda al disiparse a la atmósfera a través de la cubierta de plástico al anochecer. Por ejemplo, colocar una malla de sombra durante la noche para evitar que el calor capturado durante el día se disipe a la atmósfera.

Del estudio de Marín, se concluye que el problema climático para esa zona se presenta en verano, cuando las temperaturas altas hacen necesario efectuar un gasto económico para el enfriamiento del invernadero. Se propone el cambio de los extractores para fomentar una renovación del aire más eficiente y la instalación de un muro húmedo, además de efectuar en trabajos futuros un estudio de rentabilidad económica que determine tanto la factibilidad como los niveles de operación que hagan rentable la operación del invernadero, con base en los resultados del presente estudio. Además, estudiar la factibilidad de incorporar sistemas automatizados para el control del clima, con la finalidad de optimizar el factor climático y, por ende, la calidad del cultivo.

RESUMEN

Se presenta el estudio climático con los resultados de los muestreos y el análisis de la información

climática de dos invernaderos localizados en zonas geográficas diferentes en el estado de Nuevo León, México. Uno en Aramberri, a 2003 msnm, y otro en Marín, a 363 msnm. Del estudio se concluye que el problema climático en la zona de Aramberri lo causan las bajas temperaturas, durante las noches en el periodo de invierno, y por la altitud sería factible el aprovechamiento de la energía solar del día para usarlo para la calefacción durante la noche. Para Marín, se concluye que el problema climático en esa zona se debe a las temperaturas altas durante el verano. Del estudio se propone el uso de un muro húmedo y aumentar la ventilación forzada por medio de abanicos, además de continuar con los estudios en dicho invernadero, para establecer los niveles de operación que hagan rentable el uso del invernadero.

Palabras clave: Clima en invernaderos, Zona climática, Monitoreo climático, Energía solar, Nuevo León.

ABSTRACT

Climate study is presented with the results of sampling and analysis of climate data for two greenhouses located in different geographical areas in the State of Nuevo León, México. One in Aramberri to 2003 meters above sea level, and one in Marín to 363 meters above sea level. The study concludes that the low temperatures during the winter's nights are the climate problem for the Aramberri greenhouses, and because the altitude would be feasible to use the daily solar energy for heating during the night. For Marín, it is concluded that the problem for the greenhouses in this area is the high temperatures on summer climate. From the study, are proposed the use of humid wall and increased the forced ventilation. Furthermore the necessity to

continue with the studies in the greenhouse of Marin to establish operating levels to make profitable the use of the greenhouse.

Keywords: Climate on greenhouses, Climate zone, Climate sampling, Solar energy, Nuevo León.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Ing. Jesús Andrés Pedroza Flores, al Ing. Efrén Montaña Acosta y al Ing. Diego Luna, de la Facultad de Agronomía de la UANL, extensión La Ascensión, por las facilidades prestadas para la realización de este estudio. Y un agradecimiento muy especial a Patricia G. Díaz Valdez, por todo el apoyo sin el cual este trabajo no sería posible.

REFERENCIAS

1. Bot G. Greenhouse Climate: from physical processes to a dynamic model, PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, 1983. pp. 1-30
2. Takakura, T, Climate Under cover, digital dynamic simulation in plant Bioengineering, Kluwer Academia Publisher, The Netherlands. 1993.
3. Ferreira, P.M., Ruano, Greenhouse Air Temperature Modeling with Radial Basis Function Neural Networks Workshop on Manag., Ident. and Control of Agriculture Buildings, Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. 2001.
4. Leal Iga J., "Modelado para control predictivo de la temperatura en invernaderos", PhD Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
5. Udink ten Cate A.J., Modeling and (adaptive) control of greenhouse climates, PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, 1983.
6. Tchamitchian M., van Willigenburg L.G., van Straten G., Short term dynamic optimal control of the greenhouse climate, Wageningen MRS report, 1992.
7. Van Henten, E.J. Greenhouse climate management: an optimal control approach, PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, 1994.
8. Tap F. Economics-based optimal control of greenhouse tomato crop production, PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, 2000.
9. Nielsen B. and H. Madsen. Identification of a linear continuous time stochastic model of the heat dynamic of a greenhouse. *J. Agr. Eng. Res.* 71, 1998. pp. 249–256.
10. Rodríguez Loustau M., Influencia del cambio climático global sobre la producción agropecuaria argentina. *Revista de Ciencias Agrarias y Tecnología de los Alimentos* Vol. 20 – 2002
11. Maldonado Cortez M., Híbridos de hortalizas para invernaderos", Segundo Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Mayo 2004. Fundación UANL. Mauriciomld.prodigy.net.mx
12. "Síntesis geográfica de Nuevo León", Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística Geografía e Informática, Insurgentes sur 795, planta baja, Delegación Benito Juárez, México D.F., 1981.
13. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del gobierno federal. Av. Progreso #5 Col. Barrio de Santa Catarina, Coyoacán México, D.F. C.P 04010. <http://www.inifap.gob.mx/>
14. Muñoz Ramos J., Castellanos Ramos J., "Condiciones climáticas en el invernadero y sus implicaciones bióticas y fisiológicas en la producción de cultivos", Segundo Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Mayo, 2004. Fundación UANL. Investigadores del INIFAP-CEBAJ.
15. Guajardo Quiroga R. "El mercado del tomate en el TLCAN", Segundo Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Mayo, 2004. Fundación U.A.N.L. rquajard@ccr.dsi.uanl.mx
16. Giaconi V., Escaff M. 1995. "Cultivo de hortalizas". 11ª edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 337 p.

Recibido: 15 de noviembre de 2011

Aceptado: 19 de enero de 2012