

Microclima en Invernaderos: sus efectos sobre intercambio de gases en cultivos, casos de Venezuela

Ramón E. Jaimez¹, Pedro J. Martínez², Ronald Da Silva³

¹Universidad de Los Andes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Mérida, Venezuela.

e-mail: rjaimez@ula.ve

² Syngenta Rogers. Calle El cuervo No 3, Montecristo Caracas. Venezuela. e-mail: pjmartinez@cantv.net

³ Viveros El Horticultor C.A.. Sartenejas Caracas, Venezuela. e-mail: ronaldasilvam@hotmail.com

Resumen

El presente artículo da la información mas reciente sobre la cantidad de invernaderos en Venezuela, así como las regiones de mayor importancia. Se analiza los aspectos que se deben tener presente a fin de lograr los óptimos ambientes para los cultivos bajo invernadero, especialmente en regiones tropicales. Con mediciones realizadas en invernaderos localizados en varias regiones de Venezuela, se muestra la dinámica diaria de temperaturas, concentraciones de CO₂ y DPV. Adicionalmente los efectos de las variaciones de estos factores climáticos dentro de los invernaderos sobre tasas de fotosíntesis y transpiración de varios cultivos son discutidos en función de los cambios en las condiciones microclimáticas.

Introducción

Tradicionalmente los invernaderos se han usado como estructuras para proteger las plantas del medio ambiente. Sus diseños han variado en el tiempo orientados fundamentalmente a tener estructuras que minimicen costos de producción y lograr ambientes óptimos para las plantas. Lógicamente tales diseños en muchos casos han sido orientados al mantenimiento del calor en épocas de invierno, ser eficientes en la ventilación y salida de calor en épocas de verano y permitir mayor entrada de luz. (Critten y Bailey, 2002).

En el caso de Venezuela país ubicado en zona tropical en la parte norte de la América del sur (entre latitudes 3 y 12 ° N y longitud 61 a 73° O las temperaturas se mantienen relativamente constantes durante el año, siendo las variaciones en la precipitación lo que determina fundamentalmente la mayoría de las actividades agrícolas en el país. El país debido a diferencias de altitud lo cual establece rangos de temperatura ha determinado durante décadas la distribución de los cultivos en base a su tolerancia y adaptación a rangos de temperatura (Avilan y Eder, 1986). La intensidad y extensión de áreas dedicadas a la producción de los mayores rubros (cereales, tubérculos, gramíneas y leguminosas) ha estado limitada en función de la disponibilidad de agua de las regiones. En el caso de frutales y otros cultivos permanentes también la producción ha estado gobernada por la distribución y cantidad de las precipitaciones en cada año. (Avilan y

Eder, 1986). No obstante, esfuerzos en su mayoría con capital del estado venezolano han logrado construir sistemas de riegos y represas en muchas regiones lo que ha permitido asegurar producciones de muchos rubros que satisfacen la demanda nacional durante todo el año. De hecho ya para mediados de la década del 80 se hablaba de una horticultura comercial dependiente del riego (Avilan y Eder, 1986)

El uso de invernaderos en Venezuela dedicados a la producción agrícola en forma comercial pareciera que se inicia en los últimos años de la década del 80 y fue básicamente iniciativa privada y en lugares muy puntuales. Se conocen construcciones de invernaderos en fibra de vidrio, muchos de ellos aún instalados en campos universitarios, otros para la época fueron fabricados con madera como estructura de soporte y láminas plásticas como techo. La información sobre la extensión bajo invernadero para ese entonces es prácticamente nula. Posteriormente han existido esfuerzos puntuales hasta mediados de la década del 90 con construcciones elaboradas con diferentes materiales y diseños creando incluso modelos muy particulares para cada región. Hasta el momento no ha existido en el territorio venezolano regiones donde prevalezca una gran inversión en invernaderos. Aún la tendencia es el desarrollo particular dado por capitales privados. Los criterios para la selección y normas mínimas a fin de lograr microambientes óptimos para el crecimiento de las plantas en función del clima local son aspectos poco estudiados y la información sobre variaciones de parámetros microambientales tales como la temperatura, humedad relativa, radiación, concentración de CO₂ dentro de los invernaderos en las diferentes regiones del país es muy escasa (Jaimez et al., 2005). Incluso estudios sobre aspectos microclimáticos y sus efectos en algunos aspectos básicos tales como fotosíntesis, transpiración de los cultivos son escasos para zonas tropicales en condiciones de invernadero. El siguiente artículo tiene como objetivos dar información sobre la cantidad aproximada de invernaderos en Venezuela y sus distribuciones, mostrar las relaciones entre algunos parámetros que deben tomarse en cuenta para lograr microclimas adecuados para los cultivos y mostrar las variaciones microclimáticas en invernaderos situados en algunos puntos muy particulares de Venezuela y como el microclima dentro de ellos influye en algunos aspectos fisiológicos de los cultivos.

2) Invernaderos en Venezuela

El cuadro 1 da una lista preliminar de los invernaderos existentes en Venezuela con extensiones mayores a 1000 m². Una de las tendencias importantes es que la mayoría están ubicados en la región central del país, cercanos a los mayores centros poblados de la geografía nacional. Datos estimados por estado afirman que en Venezuela actualmente tiene aproximadamente 52 h de invernaderos dedicados fundamentalmente a la producción de flores y hortalizas (cuadro 2). Aproximadamente el 48 % están ubicados en el centro del país, mientras 39 % están instalados en los estados andinos y el resto se encuentra de forma muy puntual en los otros estados del país. Pocos son los cultivos que se desarrollan en invernaderos en Venezuela, aproximadamente el 33 % de la extensión se dedica a la producción de tomates, 30 % a flores de corte y 28 % a pimentón.

Esta superficie total bajo cubierta es pequeña y da idea de los incipientes pasos de la producción bajo invernadero en Venezuela. Para comparar pudiéramos citar que Argentina posee más de 6000 h de cultivos bajo invernadero, Colombia sobrepasa esta extensión. El restante 9% es dedicado a lechuga y producción de plántulas. Si lo comparamos con países Europeos, concretamente con países en climas mediterráneos, la diferencia es aún mayor, por ejemplo, Chipre tiene la menor extensión de áreas dedicadas a la producción bajo invernadero (442 h), y España se considera que tiene una extensión de 48.700 h (Baudoin, et al, 2003).

Cuadro 1: Lista preliminar de Invernaderos en Venezuela *

Nombre de la compañía	Ha	Ubicación (estado)
Agromiranda	0,25	Miranda
Agropecuaria Caripe	4,3	Monagas
Agropecuaria El Pocito	4	Trujillo
Camarero	0,8	Mérida
Paramo Berihuaca	0,4	Mérida
Carena (camatagua)	1,2	Aragua
Corralito Unión	0,5	Miranda
Chirgua	6	Carabobo
Fruit Mar	0,7	Carabobo
Grano de Oro	0,6	Aragua
Hacienda Monte Real	1,0	Carabobo
Hidroponía Garopalo	0,15	Miranda
Hidroponías de Venezuela	2,5	Distrito Federal
Horvenca	0,25	Aragua
Huerta Verde	0,5	Carabobo
Invernagro	0,9	Carabobo
La Guacamaya 1	0,3	Aragua
La Guacamaya 2	0,3	Aragua
Palo Negro	0,45	Mérida
Paraguchi	0,49	Nueva Esparta
Pedro González	0,57	Nueva Esparta
Plantamos	0,1	
Portachuelo	0,2	Mérida
Pto Ordaz	2	Bolívar
Pto Ordaz	0,7	Bolívar
Siembra Dorada	0,25	Miranda
Super Plántulas	1,2	Carabobo
Rosa campos	1,7	Mérida
Viveros El Horticultor	2,2	Distrito Federal
Wonken	0,3	Bolívar
Yaracal	2,5	Lara

*Sólo se listan las instalaciones mayores a 1000 m² y fijas

Cuadro 2: Distribución de invernaderos en Venezuela por regiones y estados incluidos en cada región.(j)

Región	Estados	Ha	%
Oriental	Sucre, Monagas, Anzoategui	4,8	9
Sur	Bolivar	0,4	1
Central	Caracas, Aragua, Miranda, Carabobo	24,8	48
Llanos	Apure, Portuguesa, Barinas	No registrado	---
Occidente	Lara, Falcón	1,7	3,2
Andes	Mérida, Táchira, Trujillo	20,1	39
	Total	51,9	

(j) los estados listados no necesariamente implican que existan invernaderos

3) El comportamiento micro climático en los invernaderos: Consideraciones en los trópicos.

Las consideraciones del microclima en el interior de invernadero difieren a las que se dan en países templados por lo que es prioritario entender cuales son las variables mas importantes determinantes en el microclima en condiciones tropicales para lograr ambientes óptimos para el desarrollo y producción de plantas. En el trópico la radiación varia muy poco durante todo el año (Graedel y Crutzen, 1993), por lo que este factor no es una limitante para la producción. En zonas de alta montaña (por arriba de 1700 m) la radiación total diaria es menor en especial en épocas de lluvias debida a alta nubosidad que se presenta, sin embargo se tienen días con valores de radiación puntual muy similares a los obtenidos en pocas de sequía donde usualmente existen muy pocas nubes y predominan cielos despejados.

En la instalación de un invernadero se ha recomendado su orientación Este- Oeste debido a un mayor aprovechamiento de la luz (Langhans, 1980), pero la misma es importante en países con cuatro estaciones. No obstante, pareciera que la orientación de los invernaderos dejo de ser un factor crítico en el aprovechamiento de la luz debido al tipo de plásticos usados actualmente los cuales dispersan la luz mas eficientemente (Boodley, 1996). En regiones mediterráneas, la orientación tampoco influyen en la producción o

precocidad del cultivo e incluso se recomiendan orientaciones Norte - Sur a fin de lograr mayor uniformidad en la producción (Baudoin et al., 2003). En las condiciones tropicales, esto probablemente se hace mas importante en zonas de alta montaña, pero para regiones entre 0 y 1500 m la orientación de los invernaderos debería ser perpendicular a la orientación de los vientos prevalecientes de tal manera que se logre una mayor ventilación por las ventanas laterales. Esta misma recomendación es dada por Vassiliou et al., (2000) quienes sostienen que la orientación perpendicular de los invernaderos al viento prevaleciente del lugar permite una tasa de intercambio de aire dos veces mayor que la orientación paralela.

Lo que si debiera tenerse presente es mejorar la reflexión de la luz en la parte interna de los invernaderos y un mejor aprovechamiento de la misma. Esto implica el uso de superficies blancas que irradian la radiación a diferentes partes del interior del invernadero. La mayoría de los plásticos elaborados en Venezuela, absorben cerca de 20 % de la entrada de la densidad de Flujos de Fotones Fotosintéticos (Radiación PAR ó DFFF) como de radiación total. Esto en cierta manera es beneficioso debido a que favorece menores incrementos de temperatura, especialmente en zonas de baja altitud, pero rápidamente puede ser una limitante para la entrada de radiación debido a la acumulación de polvo en la superficie de los plásticos. En ocasiones se han llegado a registrar disminuciones de un 40 % de la radiación en plásticos con un año de uso (datos personales). A esto se esta sumando el deterioro rápido de los plásticos que usualmente duran cerca de dos años. Por esta razón la industria de plástico venezolana debiera orientarse especialmente hacia evaluaciones de la durabilidad de los plásticos, la incorporación de absorción en la región del infrarrojo (región de alta energía) y mejorar la transmisión de la luz.

Con respecto al control de la temperatura, es casi una constante que en Venezuela el control del incremento de la misma, se realice mediante la renovación del aire usando la ventilación natural que puede entrar a los invernaderos por las ventanas laterales. Usualmente en Venezuela la mayoría de los invernaderos son construcciones individuales, pero recientemente se están realizando construcciones multimodulares. Aunque para el país no existen evaluaciones que indiquen cual es el tamaño ideal para que el control de la temperatura por ventilación natural sea eficiente, en los países de zonas mediterráneas se recomienda que las construcciones multimodulares no sobrepasen 25 m de ancho (Baudoin et al., 2003). Este debe ser un aspecto que debiera tenerse en cuenta para la construcción de los mismos. El uso de la ventilación natural como estrategia para el control del incremento de temperatura va a depender de la radiación la cual no sólo influye en el incremento de la temperatura sino que al mismo tiempo se producen disminuciones en la humedad relativa del aire en el interior de los invernaderos. Ambas condiciones son estresantes para las plantas y fundamentalmente afectan procesos relacionados con la fotosíntesis y transpiración. Las figuras 1 y 2 permiten visualizar las relaciones existentes entre dos intensidades de radiación y los cambios de temperatura y humedad relativa del aire que se pueden dar en función del flujo de aire entrante. Estas figuras reflejan lo obtenido en varios estudios (Critten y Bailey, 2002, Willits, 2000, Bailey, 2000) y dan una idea clara de la importancia de conocer las velocidades de vientos ya que existe una respuesta lineal entre esta y la ventilación o

renovación del aire dentro del invernadero (Shilo et al., 2004). En este aspecto es necesario considerar que mayores tasas de ventilación son necesarias si el invernadero no está completamente lleno de plantas. Estas últimas contribuyen en aumentos de la humedad relativa por transpiración y por consiguiente también la temperatura disminuye. Es también importante enfatizar que la ventilación lateral acompañada de la ventilación cenital (ventanas en el techo), lo cual debe abrir aproximadamente 60 grados con respecto al techo y colocada a lo largo de toda la longitud del invernadero (Baudoin et al, 2003), garantizando de esta manera una mejor renovación del aire. Se considera que aproximadamente entre el 15 al 25 % de la superficie del suelo debe ser el área de las ventanas laterales (Baudoin et al 2003), sin embargo Montero y Antón (2000) plantean que sólo un 16 % de ventilación no es suficiente. En vista de esto pareciera que se debiera garantizar al menos más de un 20 % de la superficie del suelo como área de las ventanas laterales. Por otra parte, por las condiciones climáticas de Venezuela donde las temperaturas promedio durante el año se mantienen relativamente constantes es necesario tener presente que la altura del invernadero no debe ser menor a 4 m en la parte superior. Esto garantiza una mejor mezcla del aire y menores variaciones diurnas de la temperatura. Experiencias en el país han demostrado incrementos de temperatura incluso por arriba de los 10 °C con respecto a la del exterior en invernadero con alturas menores a 3 m. Por lo que es imprescindible alturas que sobrepasen los 3 m esto incluso en ambientes fríos hasta 2 500 m de altura. Adicionalmente, otra estrategia que se puede usar para el control del aumento de la temperatura es el uso de nebulizadores (fogger). Las gotas que salen de ellos van desde 2 a 60 μm de diámetro las cuales permiten una mayor superficie de agua en contacto con el aire, además por la baja velocidad de caída se logra su rápida evaporación cuya energía es tomada del aire lo que permite entonces, el descenso de la temperatura. Lo que aún no está suficientemente estudiado es la frecuencia de encendido de los nebulizadores ni el tiempo de funcionamiento entre cada encendido, lo cual va a depender de la localidad donde se encuentre el invernadero. Es preciso entender que incrementos muy altos en las humedades relativas del aire pueden ocasionar cierres estomáticos en las plantas por lo que el uso de los nebulizadores debe ser predominantemente en los momentos de máximas radiaciones.

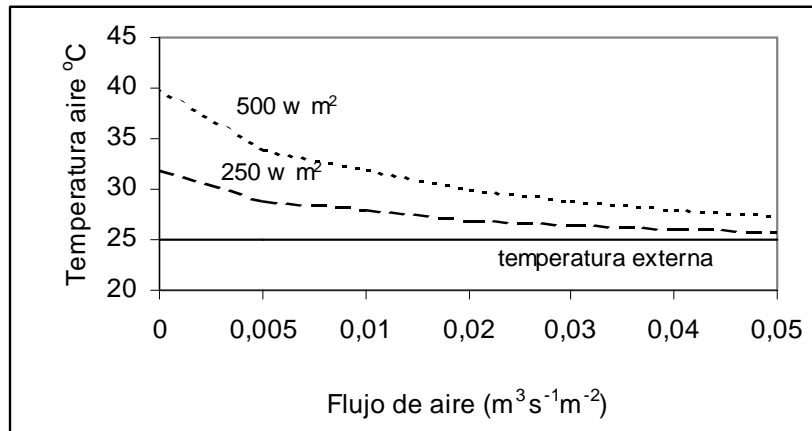


Fig. 1 Efectos de radiación y flujos de aire sobre la temperatura interna en un invernadero. Tomado (Critten y Bailey, 2002 modificado)

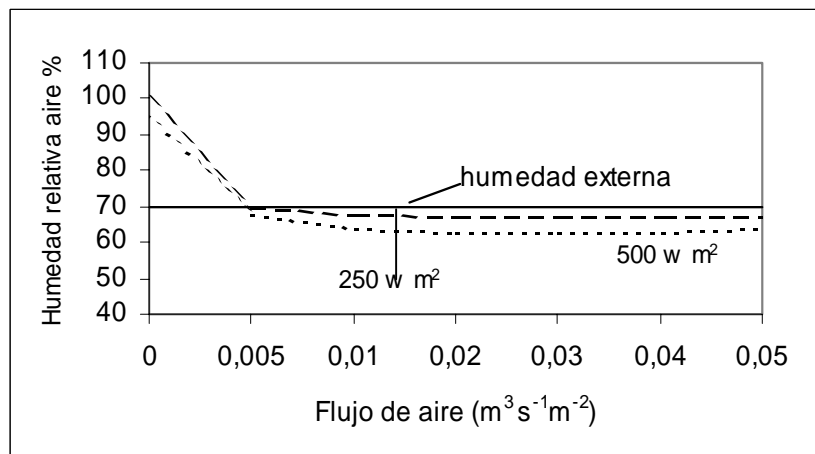


Fig. 2 Efectos de radiación y flujos de aire sobre la humedad relativa en un invernadero. Tomado (Critten y Bailey, 2002 modificado)

Los incrementos de temperatura dentro de los invernaderos en el día van a ser variables y como se mencionó va a depender en gran parte de la radiación incidente para un determinado momento (Fig. 3). Da Silva (2004) en un estudio climático en invernaderos en Sarteneja, Caracas encuentra diferencias entre las radiaciones totales dentro y fuera de los invernaderos, las cuales pueden variar de acuerdo a la hora del día. La Figuras 4, 5 y 6 muestran las variaciones diarias de temperatura dentro y fuera de invernaderos de 2500 m similares en diseño y ubicados en tres localidades del país. Se aprecia especialmente entre

las 12: 00 y 14: 00 horas, las mayores diferencias que pueden ser entre 3 a 6 °C. Lo que es importante tener presente es que dependiendo de la temperatura del lugar, las temperaturas que se pueden obtener dentro de los invernaderos pueden ser tan altas que influyan negativamente sobre la producción. Aumentos de las temperaturas del aire también influyen en un aumento de las temperaturas foliares y las mismas van a depender de cada cultivo (Langton et al., 2000). A esto se suma que una mayor diferencia de temperatura puede ser obtenida en aquellas regiones con bajas velocidades de viento, como el caso de Wonken donde se pudieron obtener diferencias de 6 °C (Fig. 5). En las tres localidades evaluadas no existieron diferencias de temperaturas entre diferentes alturas dentro del invernadero, lo que permite adelantar la importancia de mantener ventanas laterales abiertas en el día para lograr mejores intercambios de aire entre el interior y exterior (Fig. 5). Datos recientes que apoyan estos resultados también son obtenidos por Da Silva (2004), aunque este autor resalta una mayor temperatura a 0,7 m Otro comportamiento que se puede observar es que en horas nocturnas las temperaturas dentro de los invernaderos se mantienen entre 1 a 2 °C por arriba de la temperatura externa (Fig. 6). Dependiendo del lugar y el cultivo se pueden dejar las ventanas laterales cerradas o abiertas. En lugares por arriba de los 1900 m probablemente se debiera de implementar algún sistema de calentamiento ya que se pueden obtener temperatura por debajo de los 10 °C. Estas tres figuras muestran lo importante de lograr disminuir las temperaturas en horas del mediodía ya que también implica disminuciones de la humedad relativa. Por ello es necesario dependiendo del lugar estudiar la posibilidad del uso de nebulizadores y por supuesto implementar riegos a las plantas en estos momentos a fin de evitar déficit hídricos. Resultado recientes en invernaderos en Israel muestran en horas del mediodía con promedio de temperatura ambiental de 20 °C que la temperatura dentro de los invernaderos puede ser superior en aproximadamente 12 a 14 °C con respecto a la temperatura del exterior. Pero una vez que se abren las ventanas superiores las temperaturas dentro del invernadero disminuyen entre 3 y 6 °C dependiendo del lugar en el invernadero. Es de notar que los lugares mas distantes (partes centrales) de las ventanas superiores mantienen temperaturas mas estables y menos variables (Shilo et al., 2004).

Otra variable que influye en mayores producciones son las concentraciones de CO₂ ambiental. En países del mediterráneo se ha implementado las inyecciones de CO₂ para varios cultivos tales como tomate obteniéndose incrementos de la producción cercanos a 40 % (Özcelik y Akilli, 1997), mientras que en cultivos de pimentón aunque se tiene mayores producciones algunos síntomas como enrollamiento de las hojas y clorosis se presentan en las plantas, con variaciones de susceptibilidad entre cultivares (Alóni y Karni, 2002). En Estados Unidos se ha usado altas concentraciones de CO₂ especialmente en rosas y claveles, lográndose mejores producciones (Boodley, 1996). En el caso de Venezuela las variaciones de CO₂ diarias oscilan entre 420 vpm a 300 vpm dentro de los invernaderos. Las variaciones diarias dependiendo del lugar son aproximadamente de 18 a 24 % donde las mayores concentraciones se han obtenido a primeras horas de la mañana y las menores en horas del mediodía (Fig 7). Esto tiene relación con las mayores tasa fotosintéticas que se dan en horas del mediodía (Jaimez et al, 2005)

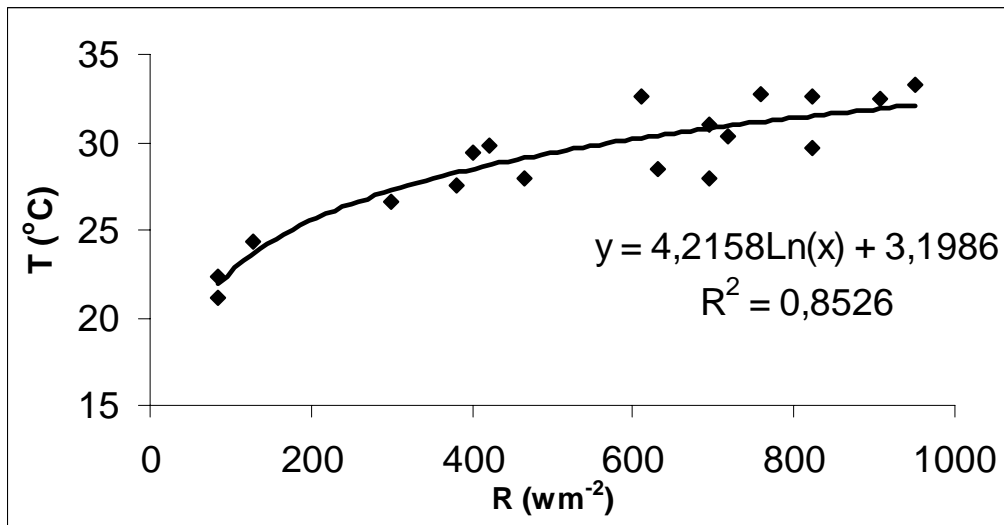


Fig 3. Relación entre la radiación incidente y la temperatura dentro del Invernadero con ventanas laterales abiertas. Localidad: Sartenejas Caracas

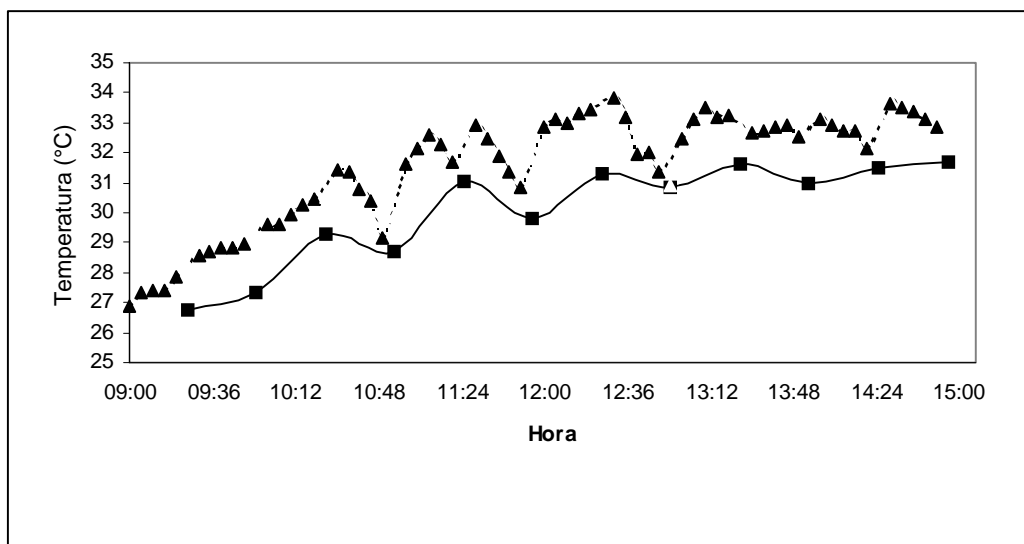


Fig. 4 Dinámica de variación de la temperatura dentro(--▲--) y fuera (-■-) del Invernadero. Sartenejas Caracas. Venezuela (tomado de Jaimez et al., 2005)

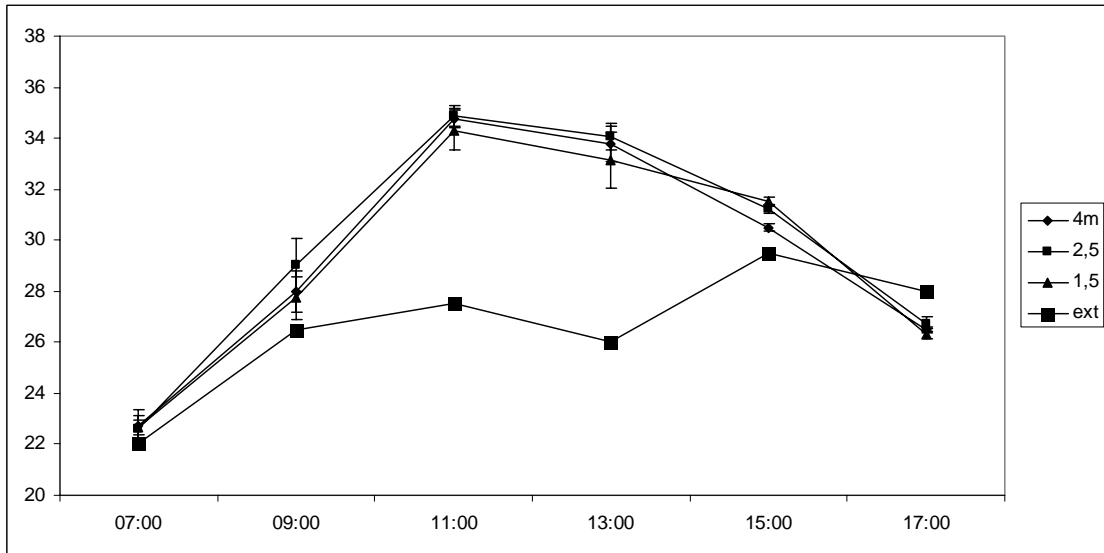


Fig. 5 Dinámica de variación de la temperatura externa y a diferentes alturas dentro del invernadero Wonken. Gran Sabana Estado Bolivar. Venezuela

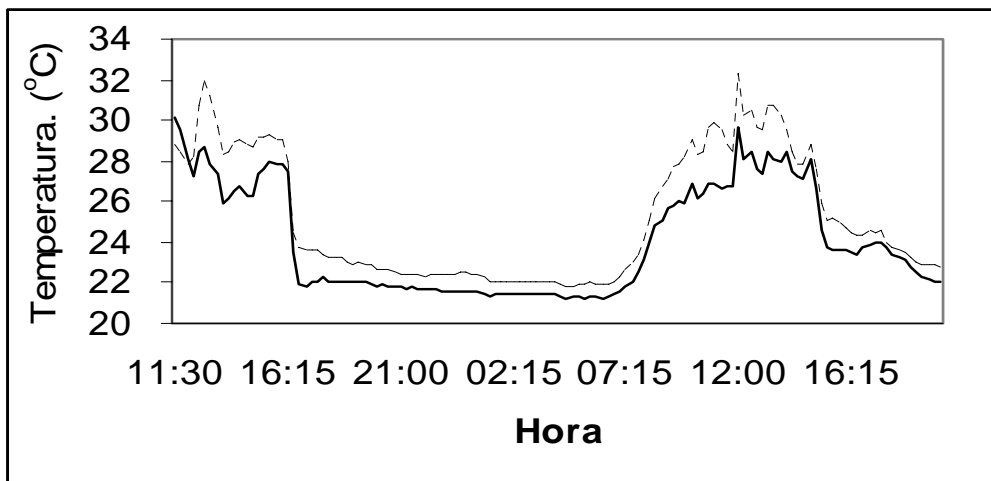
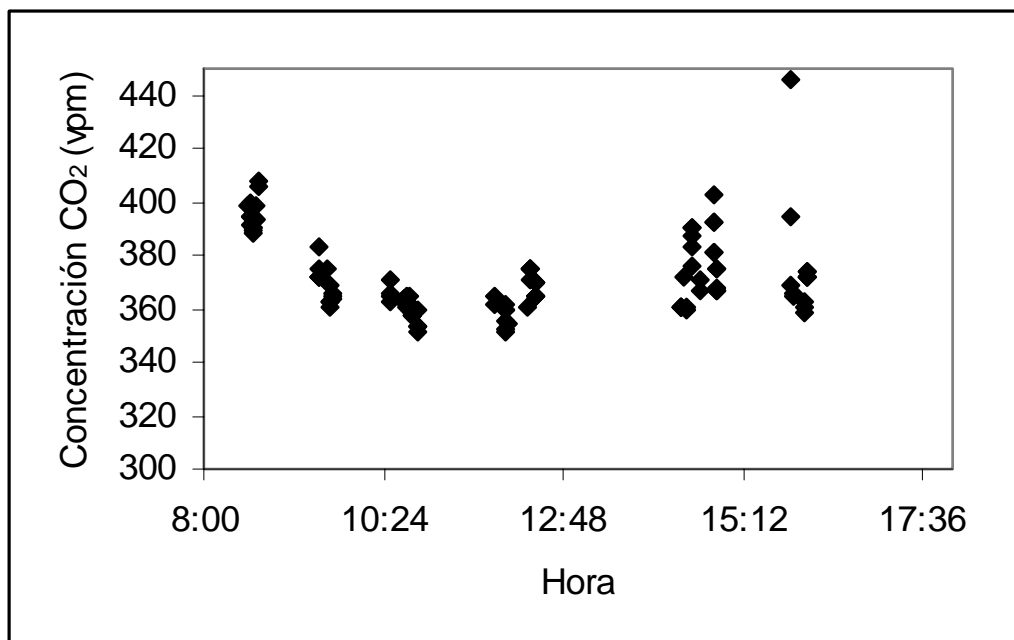


Fig. 6 Dinámica de variación de la temperatura dentro(----) y fuera (—) del Invernadero. Villa de Cura. Estado Aragua. Venezuela.



El hecho de tener aproximadamente 20% menos de radiación con respecto al exterior debido a la absorción por parte de la cubierta plástica.

Fig. 7 Variaciones diarias concentración de CO₂ dentro del invernadero. Localidad Wonken. Venezuela

4) Variaciones en las tasas de asimilación

A fin de tener claro la importancia de la radiación en los procesos fotosintéticos es importante tener presente que la tasa de asimilación de CO₂ (Fotosíntesis) esta influenciada por la cantidad de luz que llega al dosel de las plantas. Las tasas de fotosíntesis varían entre los cultivos y también se presentan diferencias entre híbridos de un cultivo. Existen algunos cultivos cuyas tasa de asimilación de CO₂ se saturan en condiciones de baja radiación, mientras que otros se saturan a intensidades de luz más altas. La Fig. 7 muestra las diferencias existente entre plantas tipo metabolismo C₃ (pimentón y berenjena) y C₄ (maíz dulce) y como entre cultivos con metabolismos similares se encuentran cultivos (berenjena) que se saturan a intensidades de radiación bajas. La gráfica también da una idea como pudieran ser las variaciones en días nublados y días completamente despejados. En estos últimos esperaríamos menores tasas de asimilación en condiciones de menor temperatura y humedades relativas mas altas en comparación con días despejados en el que predominarían temperaturas mas altas y menores humedades relativas con ventanas laterales abiertas (Jaimez et al., 2005). En el caso de ventanas escasamente abiertas y poco cambio de aire, pudieran esperarse dentro de los invernaderos altas temperaturas, pero también altas humedades producto de transpiración del cultivo en días despejados y con altas radiaciones. Usualmente los

máximos valores de los DFFF están cercanos a los $2100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en días despejados, por lo que los máximos DFFF en el interior de los invernaderos no deben sobrepasar los $1760 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, esto se debe a un 20% menos de radiación con respecto al exterior debido a la absorción por parte de la cubierta plástica. Lo mostrado en la figura 8 es un comportamiento que también se da en otras localidades del país y al menos para varios híbridos de pimentón, se conoce que la saturación de las tasas de A se dan cercanos a los $1600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. (Fig 9) (Jaimez et al., 2005).

Un aspecto interesante es el comportamiento de la transpiración el cual esta condicionada por la apertura de los estomas. En el caso de días nublados donde la temperatura no incrementa demasiado dentro de los invernaderos encontraremos que la humedad relativa se mantiene relativamente constante al igual que las temperaturas foliares y del aire. Esto influye para que las fluctuaciones de la diferencia de presión de vapor entre el interior de las hojas y el aire externo (DPV) se mantienen relativamente constantes. Como se aprecia en la figura 10 en condiciones de invernadero en Sartenejas en días nublados los DPV no aumentan por arriba de 2 kPa, mientras que en días soleados pueden llegar a valores cercanos a los 3 kPa y como se aprecia un mayor DPV por lo menos en este rango también influyen en mayores transpiraciones por parte de la planta. Es importante apreciar como el uso de nebulizadores disminuye los DPV mediante el aumento de la humedad relativa y mantiene altas tasas de transpiración en las plantas. Tal es el caso de lo obtenido en Villa de Cura donde además en la zona donde se obtuvieron los datos hay altas velocidades del viento (Fig 10)

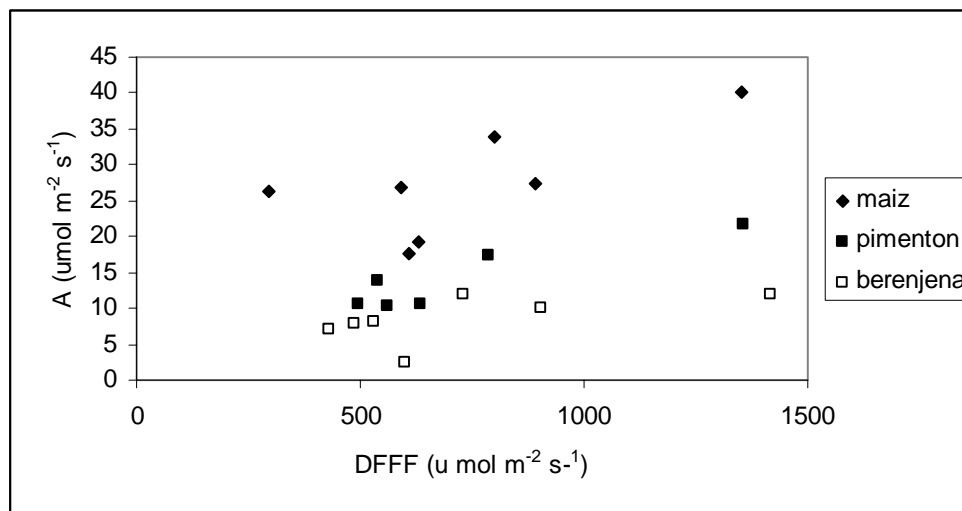


Fig. 8. Relación entre Densidad de flujos de fotones fotosintéticos (DFFF) y tasa de Asimilación de CO_2 (A) de tres cultivos en condiciones de invernadero. Localidad: Wonken., Venezuela.

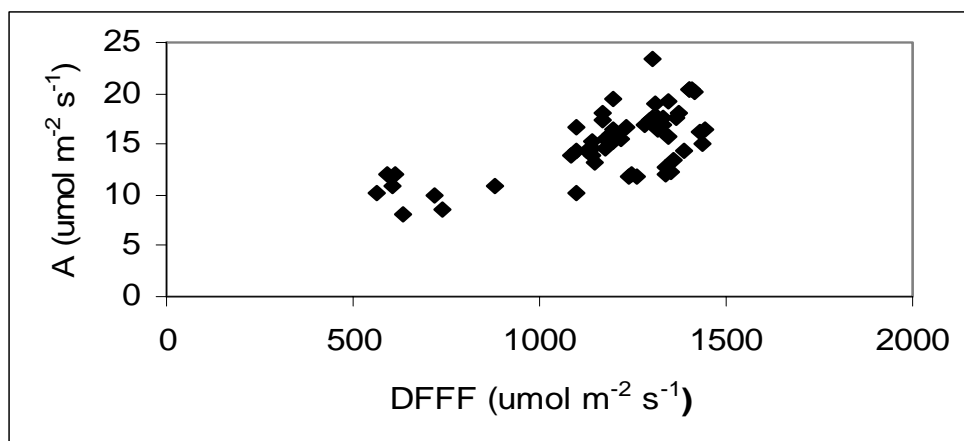


Fig. 9. Relación entre Densidad de Flujos de Fotones Fotosintéticos (DFFF) y Tasa de Asimilación de CO₂ (A) de pimentón (Híbrido: Porto) en condiciones de invernadero Localidad: Villa de Cura, Venezuela.

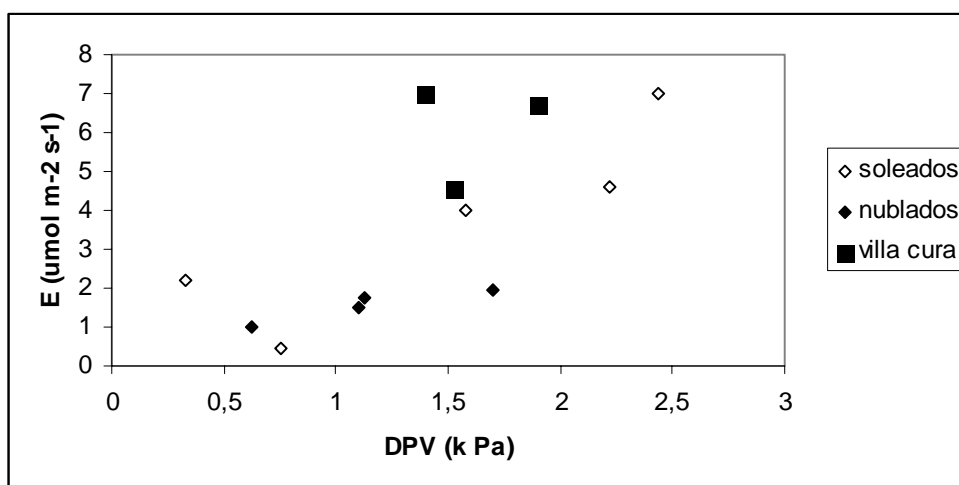


Fig. 10 Relación diferencia de presión de vapor de agua (DPV) y transpiración en plantas de pimentón (cultivar: Porto). Días nublados y soleados en Sartenejas

En resumen en Venezuela según el reporte preliminar que presentamos el número de hectáreas con invernaderos no sobrepasa las 60 h, lo cual es una extensión pequeña y muestra que aún el cultivo bajo invernadero en Venezuela es incipiente. Algunos aspectos básicos deben tenerse en cuenta para la instalación de invernadero como son la altura y la disposición perpendicular a los vientos predominantes lo cual le permite evitar altas temperaturas dentro de los invernadero que ya de por sí son mas altas que en el exterior. Es recomendable que cada invernadero tengan ventanas laterales y si es posible también

aperturas en el techo que permitan abrirse y cerrarse. Esto ayudaría una mejor mezcla del aire dentro de los invernaderos especialmente en horas del mediodía, momento en el que las temperaturas en el interior de los invernaderos son más altas debido precisamente a altas radiaciones y también donde se han obtenido menores concentraciones de CO₂. Si se impide aumentos muy drásticos de la temperatura tendremos óptimos valores de actividad fotosintética.

Agradecimiento: Este artículo fue apoyado por el convenio Universidad de Los Andes-Viveros el Horticultor. Se agradece el apoyo de información dada por los Ingenieros Rafael Figueiral y Alexander Contreras.

Referencias Bibliográficas.

Aloni B. and Karni L. 2002. Effects of CO₂ enrichment on yield, carbohydrate accumulation and changes in the activity of antioxidative enzymes in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) Journal of Horticultural Science and Biotechnology 5:534-540.

Avilan J.R. y Eder H. 1986. Sistemas y regiones agrícolas de Venezuela. Fundación Polar Caracas Venezuela 3 tomos.

Bailey B. J. 2000 Wind driven leeward ventilation in a large greenhouse. Acta Horticulturae 443: 155-162

Baudoin W. Grafiadellis M., Jiménez R., La Malfa G., Martinez Garcia P., Monteiro A., Nisen A. Verlot H. Villele O. Zabeltitz Ch. 2003 El cultivo protegido en clima de invernadero. Estudios FAO. Producción y protección Vegetal.

Boodley J. 1996. The commercial Greenhouse. Delmar Publishers. 2nd edition p. 612

Critten D.L. and Bailey B.J. 2002 A review of greenhouse engineering developments during the 1990 s. Agricultural and forest Meteorology 112 : 1-22.

Da Silva R. 2004 Estudio climático y fisiológico de pimentón (*Capsicum annuum* L) en invernaderos con apertura cenital . Informe Final. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela 74 p.

Graedel T.E. and Crutzen P. 1993 Atmospheric change : An earth system perspective. W.H. Freeman and Company 446 p.

Jaimez, R., Da Silva R., D'Aubeterre A., Allende J. Rada F. Figueiral R. 2005. Variaciones microclimáticas en invernadero: efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annuum*). Agrociencia.39:41-50

Langhans R. 1980. Greenhouse Management. Halcyon Press Third Edition. Ithaca New York p 267.

Langton F., Horridge J.S., Hamer P.J. C. 2000 Effects of the glasshouse environment on leaf temperature of pot chrysanthemum and dieffenbachia. *Acta Horticulturae* 534: 75-83.

Montero J. and Anton A. 2000 Buoyancy driven ventilation in tropical greenhouses. *Acta Horticulturae*. 534: 41-48

Ozcelik N. and Akilli M. 1997. Effects of CO₂ enrichment on vegetative growth, yield and quality of greenhouse-grown tomatoes in soil and soilless cultures. *Acta Horticulturae* 491:155-160.

Shilo E., Teitel M., Mahrer Y., Boulard T. 2004. Air-flow patterns and heat fluxes in roof-ventilated multi-span greenhouse with insect proof screens. *Agricultural and forest meteorology* 122: 3-20.

Vassiliou N.N., Martzopoulos G. and Martzopoulos L. 2000 Determination of natural ventilation rate in a double span arch type greenhouse. *Acta Horticulturae* 534 171 179.

Willits D. H. 2000. Constraints and limitations in greenhouse cooling: challenges for the next decade. *Acta Horticulturae* 534: 57-65