

# MATERIALES COLOREADOS PARA CALENTAMIENTO DE INVERNADERO E INFLUENCIA DE LOS MISMOS EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS<sup>1</sup>

S.Bistoni, A. Iriarte<sup>2</sup>, M.Saracho y V. Luque  
INENCO<sup>3</sup>, Catamarca  
Facultad de Ciencias Agrarias - U.N.Ca  
Mtro. Quiroga N° 93 - 4700 - Catamarca

S.Killian  
Cátedra de Fisiología - U.N.Ca

L. Saravia, R. Echazú  
INENCO - Salta - U.N.Sa.

## RESUMEN

Una de las formas que se han propuesto en trabajos anteriores para el calentamiento de invernaderos es colocar, en la parte superior de la estructura, bolsas de plástico transparente por cuyo interior circula agua, con el fin de captar la radiación en exceso que ingresa por la cubierta y que puede ser perjudicial para las plantas. A fin de mejorar la eficiencia del sistema se propone el empleo de sustancias que absorban las ondas electromagnéticas en el infrarrojo y que sean transparente a las longitudes de onda del visible, necesarias para la fotosíntesis.

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de una bolsa colectora cuando circulan distintos líquidos coloreados. Por otro lado se evalúa el efecto de las diferentes longitudes de onda sobre procesos tales como germinación, emergencia de plantas, crecimiento, enraizamiento y otros efectos fotomorfogénicos.

## INTRODUCCION

En trabajos anteriores (Biagi S. et al 1994 y Saravia L. et al 1993) se propuso, para el calentamiento de invernaderos la utilización de bolsas plásticas de polietileno transparente, circulando agua por su interior y colocados en la parte superior del mismo, permitiendo que la radiación que ingresa por la cubierta incida directamente sobre las mismas. De esta forma es posible captar el excedente de radiación, convertirla en energía térmica, almacenarla y utilizarla cuando se la necesite. A fin de mejorar la eficiencia de colección se hicieron ensayos variando el líquido circulante. Se usaron líquidos coloreados a los cuales se les determinó previamente sus espectros de absorción y transmisión.

Como el sistema ha sido propuesto para calentamiento de invernaderos y además existen actualmente en el mercado internacional una serie de materiales de distinta coloración capaces de filtrar la luz solar, y producir cambios no sólo en la intensidad sino también en su calidad, se hizo necesario evaluar el efecto que las diferentes longitudes

---

<sup>1</sup> Financiado por:  
SEDECYT- U.N.Ca  
INENCO - BID CONICET N° 307

<sup>2</sup> Miembro de Carrera del CONICET

<sup>3</sup> Convenio U.N.Ca. - U.N.Sa. - CONICET

de onda tienen sobre procesos tales como: germinación, emergencia de plantas, crecimiento, enraizamiento y otros efectos fotomorfogénicos.

En el presente trabajo se estudia el comportamiento experimental de una bolsa colectora cuando circulan distintos líquidos coloreados. Por otro lado se describen los ensayos realizados con el objeto de determinar los efectos que distintas calidades de luz provocan en las plantas. Éstos pretenden registrar datos sobre germinación, absorción de agua, emergencia, alargamiento de entre nudos, crecimiento de hojas, crecimiento caulinar, crecimiento radical y enraizamiento de estacas caulinares.

## ANTECEDENTES

Se puede decir que la luz es un importante factor ambiental que controla el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Esto es debido a que la luz interviene por lo menos en dos grandes procesos o conjunto de procesos:

**1.- Fotosíntesis y procesos asociados como fotorrespiración.** Para la fotosíntesis los pigmentos receptores son las clorofilas, feofitinas, ficobilinas y carotenoides. La calidad de luz activa para el proceso fotosintético medido en 5 especies arbóreas va desde 400 nm hasta 710 nm (Clark J. y Lister G. 1974). En otros trabajos se determinó que el espectro, para 22 especies de plantas cultivadas, está entre 350 y 750 nm (McCree K. 1970). Otros determinan que los espectros para 33 plantas cultivadas, entre los que se encuentran 7 especies de árboles se encuentra entre 344 nm a 750 nm (Inada K. 1976). También se advierte una diferencia entre las especies arbóreas y las especies herbáceas consideradas en el trabajo. Para las especies arbóreas la acción en el ultravioleta y el azul en relación al rojo es considerablemente menor que en las plantas herbáceas.

Por otro lado la luz regula actividades enzimáticas como la síntesis y degradación de la catalasa (Hertwing B. et al 1992), la inactivación del complejo mitocondrial de la piruvato dehidrogenasa (Gemel J. y Randall D. 1992). Interviene, en este caso, a través del fitocromo en la síntesis de metabolitos secundarios como la vindolina en *Catharanthus roseus* (Aerts R. y De Luca V. 1992). La estimulación de la síntesis de estos alcaloides diméricos es importante si se tiene en cuenta que son utilizados en el tratamiento de tumores cancerosos en seres humanos.

**2.- Fotomorfogénesis.** Se refiere al desarrollo estructural de la planta influenciado por la luz. Existen, por lo menos, cuatro pigmentos involucrados en la fotomorfogénesis:

**a) Fitocromo.** Es el que mejor se conoce. Se encuentra en dos formas principales, con intermediarios, intercambiables según la calidad de luz que reciban. Estas formas son  $P_R$  que absorbe luz de 660 nm y  $P_{FR}$  que recibe luz de 730 nm de longitud de onda. El  $P_{FR}$  es termodinámicamente inestable y activo para procesos tales como inhibición del alargamiento internodal, expansión foliar, disminución de la relación V/R (vástago/raíz), entre otros.

**b) Criptocromo.** Absorbe en el azul y UV - A. Interviene, por ejemplo, en los mecanismos de apertura y cierre de estomas, en el fototropismo y en el desarrollo del protonema en helechos.

**c) Fotoreceptores UV.** Técnicamente no se consideran pigmentos. Absorben en los 280 y 320 nm.

**d) Protoclorofilina.** Absorbe luz roja, por reducción de clorofila "a" (Salisbury, F.B y Ross, C, 1994).

Por lo expuesto se deduce que es posible modificar el crecimiento y desarrollo de las plantas someténdolas a tratamientos de luz de distinta longitud de onda. Estos tratamientos pueden inducir, inhibir, estimular o regular procesos como la germinación, la absorción de agua, el enraizamiento, el alargamiento caulinar, la pérdida de agua, el incremento de peso seco de vástago y raíz.

## ENSAYOS REALIZADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los ensayos realizados para determinar la eficiencia de colección se realizaron en un invernadero con cubierta de vidrio con condiciones controladas. Se utilizó una bolsa colectora y se usó como líquido circulante sustancias coloreadas a las cuales se les determinó el espectro de absorción y la transmitancia espectral. Para determinar la absorción se utilizó un espectrofotómetro U.V., marca METROLAB, M1700 que barre longitudes de onda entre 200nm y 1100 nm, mientras que para determinar la transmitancia se empleó un espectrómetro portátil LICOR 1800. Este equipo se conecta a una computadora y con el mismo programa de comunicación se realizan los cálculos y los gráficos. Estas mediciones se realizaron entre los 300 nm y 1100 nm de longitud de onda. Para la determinación del espectro de transmitancia se colocó sobre el sensor una bandeja de polietileno común de 50 micrones con una película de aproximadamente 10 mm de espesor de la sustancia a estudiar. Del análisis de los espectros obtenidos concluimos que las sustancias óptimas para ser utilizadas como filtro solar son: el cloruro de cobre ( $\text{Cl}_2\text{Cu}_4$ ) al 2.5% y el sulfato de cobre ( $\text{Cu}_2\text{SO}_4$ ) al 2.5%, ya que ambas muestran alta transmitancia para longitudes de onda (400 - 550 nm) que favorecen la actividad fotosintética de las plantas, absorbiendo la zona infrarroja (780 - 900 nm).

En la figura N°1 se muestra la eficiencia instantánea representativa del colector-intercambiador para cinco de los líquidos ensayados.

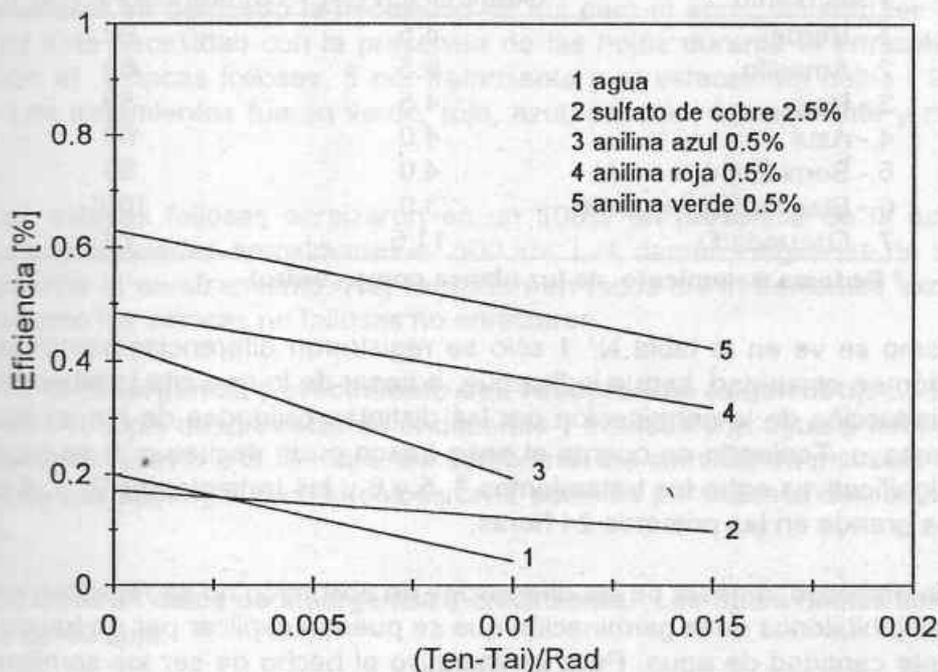


Figura N° 1. Eficiencias instantáneas representativas del colector para distintos líquidos.

Como puede apreciarse en la figura, si comparamos las eficiencias en el caso 1 y 2 podemos decir que la eficiencia mejora cuando se utiliza sulfato de cobre en lugar de agua, sobre todo para mayores diferencias de temperatura entre la entrada de agua y la ambiente interior. Cuando se utilizan las anilinas de colores: azul, roja y verde la eficiencia de colección aumenta considerablemente, en razón de que presentan un coeficiente de absorción mayor. Teniendo en cuenta este hecho y el que los espectros de estas sustancias que muestren baja transmitancia en el visible, se plantearon varios ensayos para analizar la influencia que las distintas calidades de luz tienen sobre las plantas.

A tal efecto se construyeron pequeños invernaderos tipo túnel de 1m largo x 0.50 m de ancho y 0.50 m de alto con cubiertas de colores con transmitancias en los siguientes rangos de longitudes de onda: amarillo (500 - 1100 nm), azul (800 - 1000 nm), rojo ( 600 - 980 nm) y verde (720 - 1080 nm), transparente (350 - 800 nm), media sombra (80% de intensidad del visible).

**Ensayo N° 1: Germinación de *Catharanthus roseus* (Vinca):** Se colocaron a incubar en cajas de Petri de vidrio, sobre papel de filtro con agua destilada, con 2 repeticiones de 100 semillas por tratamiento. Los tratamientos fueron Luz verde, Luz roja, Luz azul, Luz blanca, Luz Amarilla y media sombra. Se cuantificó la absorción de agua a las 24 hs. por diferencia de peso y la germinación a los 7 días. La intensidad fue de 500 lux y la fuente un fluorescente blanco, temperatura ambiente  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . En el caso de oscuridad se trabajó con un filtro verde, considerando éste el más inactivo para el fitocromo. Los resultados se muestran en la tabla N°1.

Tabla N° 1: Germinación de *Catharanthus roseus* a los 7 días y diferencia de peso fresco a las 24 hs. de incubación.

Tratamiento	Germinación (%)	Diferencia PF (%)
1.- Verde	4.5	92
2.- Amarillo	6.5	69
3.- Rojo	4.5	59
4.- Azul	4.0	69
5.- Semi Sombra	4.0	80
6.- Blanca Fluorescente	3.0	100*
7.- Oscuridad	11.5	73

\* Se toma tratamiento de luz blanca como control.

Como se ve en la tabla N° 1 sólo se registraron diferencias significativas en la germinación en oscuridad, lo que indica que, a pesar de lo que cita la bibliografía, no se produce inducción de la germinación por las distintas calidades de luz en las condiciones del ensayo. Teniendo en cuenta el peso fresco pude decirse que se registran diferencias significativas entre los tratamientos 1, 5 y 6 y los tratamientos 2, 3, 4 y 7. La absorción es grande en las primeras 24 horas.

Sin embargo, a pesar de las diferencias de absorción no se registran concomitantes efectos inhibitorios de la germinación que se puedan explicar por no haber absorbido la suficiente cantidad de agua. Pero es llamativo el hecho de ser las semillas que más agua absorbieron en el primer día, las que presentan el menor porcentaje de germinación. Probablemente se registre, no una estimulación de la absorción por efecto de la luz blanca, sino más bien una falta de regulación de la entrada de agua con el eventual consiguiente daño inhibitorial.

**Ensayo N° 2: Crecimiento de Phaseolus vulgare (poroto):** Se evaluó el efecto de las distintas calidades de luz sobre el crecimiento de Phaseolus vulgare. Se trabajó con 4 repeticiones de seis plantas cada una. Los tratamientos son: oscuridad, verde, rojo y luz blanca. Los resultados se muestran en la tabla N° 2.

Tabla N° 2: Efecto de distintas longitudes de onda sobre el largo de entrenudos, tamaño de hoja, Peso fresco(PF), Peso seco (PS) y relación Vástago-Raíz (V/R) a los 15 días de la emergencia.

Tratamientos	Oscuridad	Verde	Rojo	Blanca
Largo entre nudos:				
entre cuellos y cotiledones (mm)	292.50	170.00	193.00	167.00
entre cotiledones y hojas (mm)	283.00	120.00	166.00	94.20
Largo de hojas (mm)	20	40	35	63
Largo de peciolo (mm)	15	45	80	25
Peso fresco (g)	2.9992	2.5114	3.2072	2.4987
Peso Seco (g)	0.1611	1.1090	0.2742	0.2623
V/R - PS	4.44	2.74	3.09	2.64
V/R - PF	2.57	1.67	1.50	1.54

Se ve claramente el efecto diferencial de las distintas longitudes de onda así como también el efecto de la oscuridad. La oscuridad, al mantener al fitocromo en su estado de  $P_R$ , no permite la expansión foliar, se presentan entrenudos más largos y la relación V/R es mucho mayor. Todos éstos son efectos conocidos de la ausencia del fitocromo en su estado  $P_{FR}$ .

**Ensayo N° 3: Enraizamiento de Tradescantia (planta de jardín):** Debido a que en ensayos anteriores se demostró la necesidad de luz para el enraizamiento, se intentó correlacionar esta necesidad con la presencia de las hojas durante el enraizamiento. Se trabajó con a) estacas foliosas, 5 por tratamiento y b) estacas sin hojas ( 2 por tratamiento). Los tratamientos fueron verde, rojo, azul, amarillo, transparente y media sombra.

Las estacas foliosas enraizaron en un 100% en presencia de la luz blanca o amarilla de intensidades aproximadas a 500 lux. Las demás longitudes de onda parecen no permitir el enraizamiento. Hay brotación en todos los tratamientos excepto en el azul. Asimismo las estacas no foliosas no enraizaron.

**Ensayo N° 5: Emergencia y crecimiento de Prosopis alba (algarrobo):** Se trabajó con semillas de Prosopis desprovistas de endocarpio y tratadas con agua a temperatura inicial de ebullición previo a la siembra. Se sembraron las semillas en macetas con arena. El riego fue por subirrigación. Se colocaron 2 semillas por maceta con un total de 14 macetas.

Se tomaron datos de emergencia y crecimiento. Los datos finales corresponden a plantas de 40 días.

En la figura N° 2 se puede ver que en todos los colores se registran emergencias pero que los porcentajes finales presentan más diferencias que las velocidades iniciales.

Los mejores tratamientos son transparente y rojo. Este puede explicarse, eventualmente, a través de la acción del fitocromo, recordando que el fitocromo activo, para

muchos procesos entre ellos la germinación, es el  $P_{FR}$  cuya presencia se consigue sometiendo a las plantas a longitudes de onda de 660 nm o luz blanca.

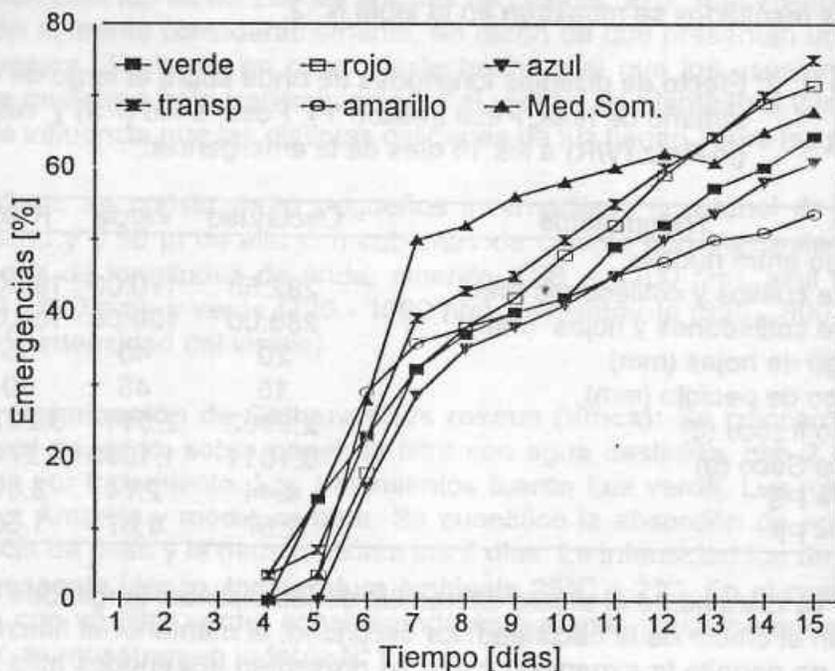


Figura N° 2. Emergencias para distintas calidades de luz

La tabla N° 3 muestra que el amarillo ejerció un efecto positivo sobre el peso fresco, si se lo compara con el control ( transparente). Esto no se repite si se considera el peso seco lo que podría significar que se está frente a un efecto de incremento de la absorción o de ahorro de agua. Este "ahorro" de agua se puede dar por un efecto sobre la apertura y cierre estomático.

Tabla N° 3: Efecto de distintas calidades de luz sobre la partición de materia seca y fresca

Tratamiento	Peso Seco (%)		Peso Fresco (%)	
	Vástago	Raíz	Vástago	Raíz
Verde	82.96	17.04	89.56	10.44
Rojo	86.65	13.35	83.06	16.94
Azul	79.35	20.65	91.29	8.71
Amarillo	81.63	18.37	60.41	39.59
Media Sombra	85.52	14.48	77.47	22.53
Transparente	81.69	18.31	75.10	24.90

Hay un efecto de aumento de peso seco en el rojo. Para explicar esto se debe tener en cuenta que la clorofila tiene un pico de absorción en el rojo.

No sólo es importante tener en cuenta el efecto sobre el peso seco y fresco totales sino también lo que se denomina partición de materia seca y fresca porque es necesario que el crecimiento de vástago y raíz sea armónico. Si se considera el PF se ve una diferencia significativa en favor del vástago con respecto al de la raíz en el tratamiento con luz azul. Esta diferencia no sólo no se da en el caso del PS sino, todo lo contrario,

ya que el del vástago es menor que el de la raíz. Este resultado podría implicar efectos del criptocromo sobre la apertura y cierre estomático que hayan producido una disminución en la pérdida de agua. Pero este efecto positivo sobre el PF se entendería a través de algún tipo de regulación producida por la luz azul.

Tabla N° 4 . Porcentajes de P. Fresco y P. Seco de hojas y plantas

Tratamientos	Hojas		Planta	
	PS (%)	PF(%)	PS(%)	PF(%)
Verde	34.77	38.68	56.08	52.00
Rojo	42.44	46.53	110.99	93.23
Azul	22.93	29.59	24.81	65.40
Amarillo	35.93	49.56	68.25	108.08
Media sombra	30.40	49.43	40.29	86.64
Transparente	100	100	100	100

También puede observarse en la tabla N° 4 que tanto el PF como el PS de las hojas se ven afectados negativamente por los tratamientos impuestos si se los compara con el control (transparente). En este caso puede ser la intensidad lumínica lo que está ejerciendo efecto a través del proceso fotosintético.

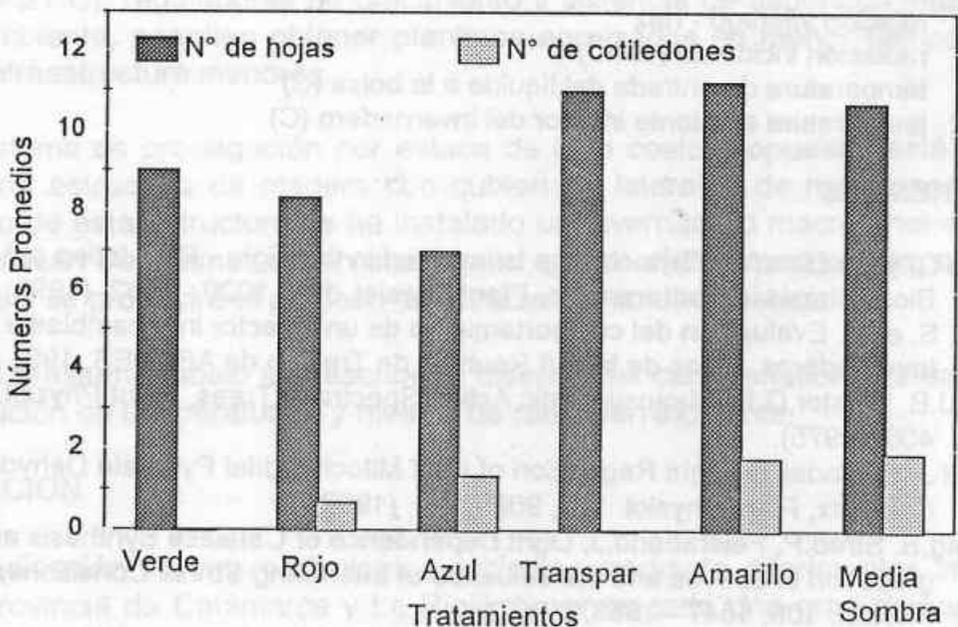


Figura N° 3. Efecto de las calidades de luz sobre el n° de hoja y cotiledones

De la figura N° 3 se tiene que la menor intensidad que se logra con media sombra, ya que los resultados de los tratamientos transparente, amarillo y media sombra, no afecta el número de hojas. La longevidad de los cotiledones que puede estar sugiriendo el grado en el avance ontogénico es mayor para todos los tratamientos exceptuando el control (transparente) y el verde.

#### CONCLUSIONES

A pesar de la mejora observada en la eficiencia del colector - intercambiador cuando se utilizan los líquidos coloreados, no se justifica su empleo debido al aumento

de costo y de funcionamiento. Por otro lado los tratamientos que demostraron tener mayor efecto sobre las plantas fueron el transparente y el amarillo. Como una alternativa de trabajo se propone el estudio del comportamiento de estos colectores - intercambiadores, contruídos con plásticos de colores, por los cuales circule directamente agua.

En cuanto a la influencia de las calidades de luz sobre plantas sería conveniente probar distintos regímenes de luz en lo que respecta a la duración de la exposición de la misma. En el caso del *Catharanthus* ésto es importante considerando que es una planta que produce una serie de sustancias usadas en oncología. También se sabe que la síntesis de estas sustancias depende del sistema fitocromo. De manera que el estado de este pigmento (dependiente de la luz) influye directamente en la cantidad de producto activo útil para la medicina. Se sugiere un estudio del efecto combinado de longitudes de onda e intensidades, así como el estudio sobre especies que se cultivan actualmente bajo cubierta para determinar y comparar su comportamiento.

## NOMENCLATURA

P <sub>R</sub>	fitocromo rojo
P <sub>FR</sub>	fitocromo rojo lejano
PF	peso fresco (g)
PS	peso seco (g)
V/R	relación vástago - raíz
Rad	radiación incidente (W/m <sup>2</sup> )
Ten	temperatura de entrada del líquido a la bolsa (C)
Tai	temperatura ambiente interior del invernadero (C)

## REFERENCIAS

- Aerts,R.J y De Luca V., Phytochrome Is Involved in the Light - Regulation of Vindoline Biosynthesis in *Catharanthus*, *Plant Physiol.* 100, 1029 - 1032, (1992).
- Biagi , S. et al, Evaluación del comportamiento de un colector intercambiador para invernaderos, *Actas de la XVI Reunión de Trabajo de ASADES*, 1994
- Clark,J.B. y Lister,G.R. Photosynthetic Action Spectra of Trees, *Plant Physiol.* 55,401 - 406, (1975).
- Gemel J. y Randall D, Light Regulation of Leaf Mitochondrial Pyruvate Dehydrogenase Complex, *Plant Physiol.* 100, 908 - 914, (1992).
- Hertwig,B. Streb.P, Feierabend,J, Light Dependence of Catalase Synthesis and Degradation in Leaves and the Influence of Interfering Stress Conditions, *Planta Physiol.* 100, 1547 - 1553, (1992).
- Inada, K. Action spectra for photosynthesis in higher plants, *Plant Physiol.* 17,355 - 365, (1976).
- McCree, K.J, The Action Spectrum, Absortance and Quantum Yiel of Photosynthesis in Crop Plants, *Agricultural Meteorology*,
- Salisbury, F.B y Ross,C, 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Ibero América, 487 - 514.
- Saravia, L. et al, Diseño y construcción de un sistema integrado invernadero - secador con calentamiento combinado solar - biomasa. *Actas de la XVI Reunión de Trabajo de ASADES*, 1993.