



EFFECTO DE LA TERMICIDAD SOBRE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN AMBIENTES PROTEGIDOS DEL TRÓPICO ALTO COLOMBIANO

Giovanna Quintero-Arias¹, John Fabio Acuña C.²
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia
Sede Bogotá

RESUMEN

En agricultura protegida, la propiedad de termicidad de las películas plásticas afecta la temperatura, la humedad relativa y los niveles de radiación, los cuales son considerados como factores reguladores de crecimiento en las plantas, cuando son mantenidas las condiciones de nutrición y abastecimiento de agua. En el presente trabajo se evaluó la respuesta morfofisiológica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo gourmet, cultivada bajo dos tipos de película plástica (Térmica y no térmica) como material de cubierta de los invernaderos. Para determinar la variación climática en los dos módulos de invernadero se realizó el análisis de comparación de medias mediante la prueba t-Student. El seguimiento y análisis de las variables morfofisiológicas se realizó mediante análisis de comparación de medias ANOVA, obteniendo diferentes respuestas para cada variedad. Los resultados evidenciaron que para las condiciones de la Sabana de Bogotá, se presentaron diferencias significativas en los factores climáticos de producción en los dos invernaderos y por ende en la calidad y respuesta del cultivo en estudio. Estas evaluaciones son una herramienta para la toma de decisiones en la selección adecuada de películas plásticas para implementación de ambientes protegidos como estrategia para la producción de cultivos.

PALABRAS CLAVE: Ambientes protegidos, invernaderos, plasticultura, temperatura, intensidad luminosa.

ABSTRACT

In protected agriculture, ownership of termicity of plastic films affects the temperature, relative humidity and radiation levels, which are considered as factors regulating plant growth, when they maintained the conditions of nutrition and water. In this paper the morfo-physiological response of three varieties of lettuce (*Lactuca sativa*) gourmet, cultivated under two types of plastic film (thermal and non-thermal) as covering material of greenhouses was evaluated. To determine climatic variation in the two greenhouses Means analysis were compared by Student t test. Monitoring and

¹ Ingeniera Agrícola M. Sc. Profesional Investigador. Grupo de Gestión en Tecnología, Innovación y Diseño Agroindustrial – GTI. Universidad Nacional de Colombia.

² Ingeniero Agrícola Ph. D. Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia.



analysis of variables morphophysiological analysis was performed using ANOVA mean comparison, getting different answers for each variety. The results showed that for the conditions of the Sabana de Bogotá, significant differences in climatic factors of production in the two greenhouses and hence on the quality and crop response in the study were presented. These assessments are a tool for decision making in the proper selection of plastic films for implementing protected as a strategy for crop production environments.

KEYWORDS: protected environments, greenhouses, plasticulture, temperature, light intensity.

INTRODUCCION

Los cultivos protegidos juegan un papel importante en la producción de vegetales, pues ofrece la posibilidad de manejar las condiciones de luz (cantidad y calidad), temperatura, humedad, agua y la disponibilidad de nutrientes, en mayor o menor medida, dependiendo de los niveles de automatización con los que se cuente. Por lo tanto, este tipo de producción presenta algunas ventajas en comparación con la producción al aire libre, como optimizar los parámetros climáticos relacionados con el crecimiento y desarrollo del cultivo. La superficie de producción bajo invernadero a nivel mundial ha venido en aumento. Los países con mayor producción bajo invernadero ocupan 2.952.178 hectáreas, concentradas en China, Japón, Corea, España y Turquía; México (11.759 ha) y Estados Unidos (8.425 ha) poseen las mayores extensiones de cultivos bajo invernadero en América (Kacira, 2011).

La incorporación de diversos tipos de aditivos a las cubiertas plásticas empleadas en los invernaderos, modifican las características de resistencia, transmitancia, difusividad, entre otros, ofreciendo por un lado mejoras en las propiedades de estos materiales (mecánicas, ópticas, térmicas) y por otro, brindando condiciones climáticas particulares a los cultivos, generando diferentes respuestas en los procesos de crecimiento de las plantas.

Para determinar el efecto de las variaciones climáticas producidas por el tipo de cubierta, se hace necesario tener en cuenta las siguientes variables:

Parámetros climáticos

El clima es un factor determinante en el crecimiento de las plantas, y su respuesta a estos factores depende de la variedad y de su estado fisiológico; la producción de plantas de alta calidad se ve afectada directamente por la luz (energía lumínica) y la temperatura (energía térmica). La energía lumínica traducida como radiación fotosintéticamente activa (PAR) es indispensable en el proceso de fotosíntesis y por tanto, en la acumulación de biomasa. La energía térmica es el principal factor ambiental que influye en la tasa de desarrollo (Lambers et al., 2008).

Parámetros fisiológicos

Sadras et al. (2000), definen al desarrollo de las plantas como una sucesión progresiva de estados diferenciados morfológica y fisiológicamente. Las variaciones en las condiciones ambientales alteran la evolución de los procesos metabólicos fundamentales, el transporte de asimilados, la evolución del crecimiento, la dinámica de la expansión foliar y los factores de partición de biomasa (Salisbury & Ross, 2000). Entre las variables empleadas para evaluar la eficiencia fisiológica de la planta se cuentan los siguientes:

Tasa relativa de crecimiento (TRC): expresa el crecimiento en términos de una tasa de incremento en tamaño por unidad de tamaño y tiempo (Pedroza et al., 1997); depende de la fotosíntesis total y de la respiración.

Índice de área foliar (IAF): expresa la superficie de la hoja por unidad de área de superficie ocupada por la planta. Aumenta con el crecimiento del cultivo hasta alcanzar un valor máximo en el cual se alcanza la máxima capacidad para interceptar la energía solar (Hunt, 1989)

Relación de área foliar (RAF): .es un índice de la superficie foliar de la planta con base en la masa seca definido como la fracción de masa seca total que corresponde a las hojas (Flórez et al., 2006).

Eficiencia Fotosintética: La relación entre el valor de fluorescencia máxima (F_m) y la fluorescencia variable (F_v) es proporcional a la máxima eficiencia fotoquímica, y es una de las variables de fluorescencia más estudiadas siendo tomada como parámetro para determinar el estrés de la planta (Demming-Adams & Adams, 1992). Las investigaciones realizadas por Havaux citada por Baker & Rosenqvist (2004) señalan que la disminución en los valores del parámetro F_v/F_m denotan una disminución de la acción del fotosistema II (PSII) y por lo tanto una disminución en la eficiencia de la fotosíntesis debida a factores abióticos.

MATERIALES Y METODOS

Se llevaron a cabo dos ciclos de cultivo en dos unidades experimentales ubicadas en la zona de invernaderos de la sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia ($4^{\circ}38'17''$ N, $74^{\circ}5'20''$ W, 2576 msnm), la temperatura que oscila entre $19,4^{\circ}\text{C}$ y $9,1^{\circ}\text{C}$, la humedad relativa presenta un valor medio anual de 78%, se registran en promedio 1476 horas de brillo solar anual y 940 mm como precipitación anual con carácter bimodal (IDEAM, 2007).

El material de cubierta de los invernaderos corresponde a dos tipos de películas transparentes coextruidas de polietileno de baja densidad con las siguientes características: Invernadero 1 (Térmica): película plástica térmica de filtro total, con valores de termicidad de 87%, transmisión de luz total de 81%, transmisión de luz difusa de 30% y filtro UV a 380 nm. Invernadero 2 (Convencional): película plástica no térmica sin filtro con valores de termicidad de 50%, transmisión de luz total de 86%, transmisión de luz difusa de 18% y no posee filtro UV.

Para el análisis de las variables climáticas y evaluar la relevancia en las diferencias climáticas presentadas en las unidades experimentales se realizaron comparaciones de medias empleando la prueba de significación de la distribución t de Student, mientras que para el análisis de las

variables de respuesta del cultivo se empleó un diseño factorial 2 x 3, donde los factores de efectos fijos fueron los tipos climas generados en cada unidad (Térmica y Convencional) y se tomaron como niveles en cada factor las tres variedades de lechuga empleadas, con seis repeticiones en bloques al azar. Para comparar las medias de las interacciones significativas se empleó la prueba LSD de Fisher. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistix 8.0 para Windows.

Temperatura y Humedad Relativa: durante los dos ciclos de cultivo y con el objeto de caracterizar el clima de cada unidad experimental, se tomaron medidas continuas de temperatura (°C) y humedad relativa (%) a lo largo del día por medio de dataloggers colocados en el centro de cada unidad experimental. Los datos fueron tomados cada hora durante los periodos de medición, analizando las diferencias entre temperaturas y humedad relativa promedio, máximas y mínimas obtenidas en las dos zonas de medición de cada unidad experimental para determinar la significancia de las diferencias encontradas.

Material Vegetal: se emplearon plántulas de lechuga (*Latuca sativa*) tipo gourmet en tres variedades, dos del tipo verde crespa (Casabela y Vera) y una del tipo morada (Lollo Rosso) producidas en semilleros sobre bandejas plásticas, las cuales fueron trasplantadas a los 25 días para el primer ciclo productivo, y a los 28 días después de la siembra para el segundo ciclo en estudio. Los muestreos se realizaron cada 15 días tomando tres plantas de cada variedad en cada una de las unidades de invernadero, para un total de cuatro muestreos por ciclo productivo. El área foliar se determinó mediante un acumulador de área foliar Licor®; los datos de masa seca se registraron después del secado del material vegetal en horno a 60°C por 72 horas.

Respuesta fisiológica: se realizó el análisis de la respuesta fisiológica a partir de tres índices derivados de las medidas directas de crecimiento obtenidas por cálculos del análisis funcional (Carranza y otros, 2009). Las fórmulas empleadas para la obtención de los parámetros Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Índice de Área Foliar (IAF) y Relación de Área Foliar (RAF) se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Componentes de los parámetros de crecimiento determinados

Índice	Descripción	Fórmula	Unidades
TCR	Tasa de crecimiento relativo	$(1/W)(dW/dt)$	$G\ g^{-1}\ d^{-1}$
IAF	Índice de área foliar	L_a/P	Adimensional
RAF	Relación de área foliar	L_a/W	$cm^2\ g^{-1}$

W= materia seca total (g); L_a = área foliar (cm^2); P= área foliar por unidad de superficie de suelo (cm^2); dW/dt = variación de la masa seca en función del tiempo.

Eficiencia fotosintética: Con intervalos de 15 días a la misma hora (14:00), se tomaron 3 registros por parcela para un total de 18 plantas en cada variedad dentro de cada unidad experimental. Las mediciones se realizaron siguiendo la metodología propuesta por Murchie & Lawson (2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura y Humedad Relativa

Los rangos de variación de temperatura presentados en el invernadero con cubierta térmica oscilan entre 0,2°C y 7,1 °C en el día, y 0,2°C y 0,6°C en la noche; mientras que para el invernadero con cubierta convencional oscilan entre 0,1°C y 5,5°C en el día y 0,1°C y 1,5°C en la noche. Estos gradientes verticales de temperatura se deben a la menor densidad del aire caliente como lo explican Moller et al. (2003), Piscia (2012), Sumathy (1999) y Tanny (2013).

En la tabla 2 se presentan los valores máximos, mínimos y promedio diurnos y nocturnos registrados para cada ciclo del cultivo, mostrando diferencias altamente significativas entre las temperaturas tomadas a nivel de dosel de cultivo y a 1,5 m de altura en el centro del invernadero, coincidente con lo presentado por Acuña (2009) mediante simulación para invernaderos de flores en Bogotá, y por Villagrán et al. (2012) en invernaderos para otras regiones del país. Lo anterior indica que para el caso de temperatura, la ubicación del sensor es clave para la correcta toma de decisiones en favor del cultivo.

Tabla 2. Valores promedio de temperatura a nivel de dosel y a 1,5 m registrados para cada tipo de cubierta (análisis de comparación de medias t-Student)

TEMPERATURA °C	TERMICA				CONVENCIONAL			
	CICLO 1		CICLO 2		CICLO 1		CICLO 2	
	1,5 m	DOSEL	1,5 m	DOSEL	1,5 m	DOSE L	1,5 m	DOSE L
PROMEDIO DIURNA	21,2 ‡	25,3 ‡	21,2 ‡	24,8 ‡	21,4 ‡	24,1 ‡	22,1 ‡	24,4 ‡
PROMEDIO NOCTURNA	11,8 ns	12,1 ns	11,6 ns	11,8 ns	11,4 ‡	13,3 ‡	11,2 ‡	13,9 ‡
MAXIMA	33,2 ‡	38,3 ‡	37,7 ‡	47,6 ‡	34,1 ‡	44,0 ‡	39,9 ‡	48,3 ‡
MINIMA	5,4 ‡	6,3 ‡	5,3 ‡	6,5 ‡	4,8 ‡	6,7 ‡	4,8 ‡	6,0 ‡

‡: p<0,01, †: p<0,05, ns: no significativo

Para el caso de la humedad relativa, no se presentan diferencias estadísticas entre los valores medidos en los dos puntos del invernadero, lo cual se explica por el alto índice de renovación del aire, mayor a 50 renovaciones por hora, debido al volumen pequeño del invernadero y al área de ventilación del mismo, con lo cual se consiguen valores de humedad relativa similares a los presentados por el aire del ambiente exterior. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Arellano-García et al. (2011) para invernaderos con ventilación natural y con la investigación realizada por De Sá Andrade et al. (2011) en invernaderos con diferentes cubiertas plásticas. Lo anterior indica que para esta variable, la toma de decisiones no se ve afectada por el punto de ubicación del sensor.

En el gráfico 1 se presenta la relación entre humedad y temperatura para los ciclos de cultivo generada a partir de valores promedio semanales. En la unidad con cubierta térmica se mantienen los valores óptimos de humedad (60% - 80%) y temperatura (7°C -23°C) el 66,1% del día, mientras que en la cubierta convencional lo hace el 64,6% en el primer ciclo. En el segundo ciclo, la cubierta

térmica mantiene condiciones óptimas el 63,5% del día y la convencional 62,0% del tiempo, mostrando similitudes con las observaciones realizadas por Dufault et al. (2009) y Brunini et al. (1976). Es de anotar que el tiempo de zona de confort, es aquel en donde tanto por temperatura como por humedad se encontraban en el rango óptimo. Los puntos fuera de este rango nos indican un nivel de estrés por cualquiera de las dos variables, causando cierres estomáticos o disminución en las tasas de crecimiento, debido al consumo energético de la planta para mantenerse trabajando en estas condiciones. Sin embargo, se resalta que en ningún momento las plantas llegaron a condiciones de estrés severo que causara daños permanentes o letales, que afectaran las tendencias o las mediciones en este estudio; Meca Abad (2012) observó un comportamiento similar en sus investigaciones en invernaderos realizadas en Almería.

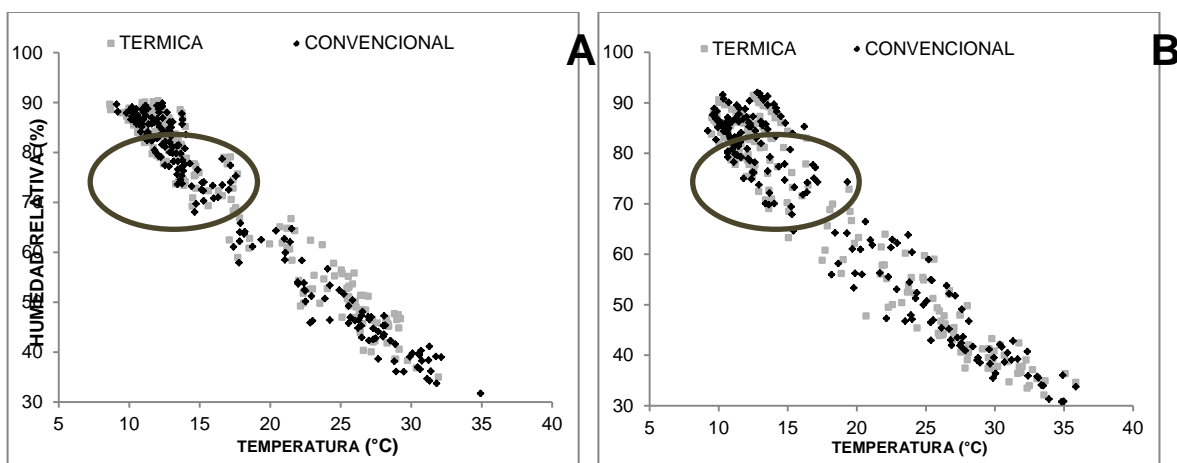


Gráfico 1. Descripción de temperatura y humedad relativa en los invernaderos. A- Ciclo 1 (mayo a junio), B- Ciclo 2 (septiembre a noviembre)

Respuesta fisiológica

Índice de Área Foliar (IAF)

El tipo de cubierta no influyó en los resultados obtenidos de IAF, puesto que no se encontraron diferencias significativas en los valores obtenidos entre variedades y entre cubiertas. El valor máximo se presentó en la variedad Lollo Rosso bajo cubierta convencional (5,38) y el mínimo se presentó en la variedad Vera bajo cubierta térmica (2,43), estos valores son menores que los presentados por Tei et al. (1996) y Archila et al. (1998), donde registran valores de IAF superiores a 12 obtenidos 75 Días Después del Transplante (DDT). Carranza et al. (2009) en sus investigaciones, presentan valores de 6,78 a 61 días después del transplante en lechugas variedad Batavia cultivadas en suelos salinos en la sabana de Bogotá, con lo que puede inferirse que los valores de IAF obtenidos reflejan que las plantas se han visto sometidas a estrés térmico, que redundará en un alargamiento del ciclo de cultivo.

Relación de Área Foliar (RAF)

No se presentó influencia por parte de la cubierta para este parámetro. Hasta los 18 días después de transplante se observa que las plantas bajo la cubierta térmica presentan mayores valores de RAF que los presentados en la cubierta convencional, tiempo después del cual las plantas bajo los dos ambientes presentan comportamientos similares. La variedad Lollo Rosso tuvo un comportamiento diferente a las otras variedades bajo la cubierta convencional, presentando aumento de la RAF hasta los 25 DDT, mientras que las demás variedades tuvieron un comportamiento siempre decreciente. Esto muestra que en las variedades verdes el incremento de biomasa y área foliar se realiza de manera proporcional, en la variedad morada se presentan diferentes tasas de crecimiento entre los parámetros.

Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)

La TCR presentó el comportamiento típico para este índice, mostrando valores altos al inicio del periodo de medición y disminuyendo a medida que aumenta la acumulación de materia seca. Se observaron diferencias significativas debidas a la cubierta en la variedad Lollo Rosso, donde los valores obtenidos en la cubierta convencional son menores que los obtenidos en la cubierta térmica y que los registrados por Archila et al. (1998) y Carranza et al. (2009). Los valores obtenidos para las tres variedades cultivadas bajo cubierta térmica, muestran que el incremento de materia seca en este tipo de cubierta es más acelerado que en la cubierta convencional hasta los 39 DDT para las variedades Lollo Rosso y Casabela y hasta los 25 DDT para la variedad Vera, desde donde disminuye la acumulación de materia seca (0,14 g g⁻¹ d⁻¹ para la variedad Vera y 0,09 g g⁻¹ d⁻¹ para las variedades Lollo Rosso y Vera).

Bajo la cubierta convencional se presentan los menores valores de TCR, llegando a presentarse diferencias entre cubiertas para este índice de 83% para la variedad Lollo Rosso, 60% para la variedad Casabela y 42% para la variedad Vera en la segunda semana después del transplante. La variedad Lollo Rosso presenta la menor acumulación de materia seca a lo largo del ensayo (0,09 g g⁻¹ d⁻¹ en la segunda semana y 0,01 g g⁻¹ d⁻¹ en la séptima semana). Estos resultados corroboran lo presentado por De Grazia et al. (2001), donde encontraron que la radiación es el factor determinante del crecimiento, y con Choudhury (2000) donde resalta que la acumulación de materia seca está fuertemente determinada por la fracción difusa de la irradiancia incidente.

Tabla 3. Valores de comparación de medias para las variables de eficiencia fisiológica

CUBIERTA	VARIEDAD	RAF (cm ² g ⁻¹)	IAF	TCR (g g ⁻¹ d ⁻¹)	Fv/Fm
TERMICA	Lollo Rosso	405,86 a	5,03 ab	0,417 a	0,822 ab
CONVENCIONAL	Lollo Rosso	477,50 a	5,38 a	0,073 b	0,808 c
TERMICA	Casabela	214,23 b	5,06 ab	0,288 ab	0,805 c
CONVENCIONAL	Casabela	165,71 b	3,83 bc	0,097 b	0,827 a
TERMICA	Vera	181,60 b	2,43 c	0,138 ab	0,809 c
CONVENCIONAL	Vera	154,50 b	3,40 c	0,135 ab	0,813 bc

Letras distintas representan diferencias significativas (LSD p<0,05)

Eficiencia fotosintética

El tipo de cubierta influyó de manera significativa la respuesta de la variedad Lollo Rosso. En esta variedad se presenta una tendencia decreciente del parámetro a medida que transcurren los

días después del trasplante, también se observa que los valores obtenidos en la cubierta convencional son menores que los alcanzados en la cubierta térmica. La variedad Casabela muestra un incremento constante de la eficiencia fotosintética a medida que transcurren los días después del trasplante, este comportamiento se presenta en las dos cubiertas, mientras que en la variedad Vera el parámetro F_v/F_m permanece dentro de un rango que oscila entre los 0,80 y 0,82. Tsormpatsidis y otros (2010) evaluaron el efecto de la radiación ultravioleta en variedades de lechuga verdes y rojas, encontrando que su eficiencia fotosintética no se ve alterada porque activan sus diferentes mecanismos de aclimatación, sin embargo observó que, si se alteran las condiciones de radiación a las cuales se ven expuestas (como ser trasladadas de un ambiente con radiación total a otro con filtro UV) se produce una disminución de la eficiencia fotosintética, traducida en la reducción del valor del parámetro F_v/F_m , observándose la disminución en la acumulación de biomasa seca y una reducción importante en los niveles de antocianinas en las variedades de hojas rojas.

CONCLUSIONES

El uso de cubiertas térmicas disminuye el rango de temperaturas registradas en el invernadero, incrementando en 2,31% el tiempo en el cual el cultivo de lechuga permanece en condiciones óptimas de humedad (60% - 80%) y temperatura (7°C -23°C).

Al medir la eficiencia fisiológica del cultivo, se aprecia que la interacción significativa entre la variedad y el tipo de cubierta, depende de la variedad. En este caso, la película térmica afectó de manera significativa a la variedad Lollo Rosso, mientras que las variedades Casabela y Vera no se ven afectadas significativamente por el tipo de film empleado.

• TRABAJOS CITADOS

- Acuña, J. F. (2009). *Grupo de Investigación en Tecnología de Invernaderos y Agroplasticultura*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Archila, J., Contreras, U. H., Pinzon, H., Laverde, H., & Corchuelo, G. (1998). Analisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). *Agronomía colombiana*, 16(1), 68-75.
- Arellano-García, M. A., Valera-Martínez, D., Urrestarazu-Gavilán, M., Quezada-Martín, M. d., Murguía-López, J., & Zermeño-González, A. (octubre-diciembre de 2011). ventilación natural y forzada de invernaderos tipo almería y su relación con el rendimiento de tomate. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 379-386.
- Baker, N. R., & Rosenqvist, E. (agosto de 2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), 1607-1621.
- Brunini, O., Lisbao, R., Bernardi, J., & Pedro Junior, M. (junio de 1976). Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia - Revista científica do Instituto Agronômico do Estado de Sao Paulo*, 35(19), 213-219.

- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 41-48.
- Choudhury, B. J. (2000). A sensitivity analysis of the radiation use efficiency for gross photosynthesis and net carbon accumulation by wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101, 217-234.
- De Grazia, J., Tiftonell, P. A., & Chiesa, A. (2001). Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Investigación agraria. Producción y protección vegetal*, 16(3), 355-365.
- De Sá Andrade, J. W., Farias Junior, M., Araújo de Sousa, M., & Correa Rocha, A. (2011). Utilizacáo de diferentes filmes plásticos como cobertura de abrigos para cultivo protegido. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33(3), 437-443.
- Demming-Adams, B., & Adams, W. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43, 599-629.
- Dufault, R. J., Ward, B., & Hassell, R. L. (2009). Dynamic relationships between field temperatures and romaine lettuce yield and head quality. *Scientia Horticulturae*, 120, 452-459.
- Flórez, V., Miranda, D., Chaves, B., Chaparro, L., Cárdenas, C., & Farias, A. (2006). Parámetros considerados en el análisis de crecimiento en rosa y clavel en los sistemas de cultivo en suelo y en sustrato. En V. Flórez, A. D. Fernández, D. Miranda, B. Chaves, & J. M. Guzmán (Edits.), *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Hunt, R. (1989). Plant growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. *Physiologia Plantarum*, 75(2), 237-244.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo*. (F. Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, Ed.) Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Kacira, M. (2011). *The University of Arizona Agricultural & Biosystems Engineering*. Recuperado el 3 de junio de 2015, de <https://ag.arizona.edu/ceac/sites/ag.arizona.edu.ceac/files/WorldGreenhouseStats.pdf>
- Lambers, H., Pons, T. L., & Chapin, S. (2008). *Plant physiological ecology 2nd edition*. New York: Springer Verlag.
- Moller, M., Tanny, J., Cohen, S., & Teitel, M. (2003). *Micrometeorological Characterisation in a Screenhouse* (Vol. 614). *Acta Horticulturae* (ISHS) 614.
- Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, 64(13), 3983-3998.
- Pedroza, M., Corchuelo, G., & Angarita, A. (1997). Análisis de crecimiento de *Limonium sinuatum* Mill cv. Midnight Blue propagada sexual y asexualmente a partir de yemas vegetativas y florales. *Agronomía Colombiana*, 14(1), 1-12.
- Piscia, D. (diciembre de 2012). Analysis of night-time climate in plastic-covered greenhouses. *Tesis doctoral*. (D. d. Tèrmics, Ed.) Terrassa, España: Universitat Politècnica de Catalunya .



MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



- Sadras, V. O., Echarte, L., & Andrade, F. H. (2000). Profiles of Leaf Senescence During Reproductive Growth of Sunflower and Maize. *Annals of Botany*, 85, 187–195.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2000). *Fisiología Vegetal*. México: Grupo editorial Iberoamericana.
- Sumathy, K. (1999). Effect of spectral quality on horticultural plant propagation in a greenhouse. *Applied Energy*, 64, 175-180.
- Tanny, J. (enero de 2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26-43.
- Tei, F., Scaife, A., & Aikman, D. P. (1996). Growth of Lettuce, Onion, and Red Beet. 1. Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency. *Annals of Botany*, 78, 633-643.
- Tsormpatsidis, E., Henbest, R. G., Battey, N. H., & Hadley, P. (2010). The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system. *Annals of Applied Biology*, 357-366.
- Villagrán, E. A., Gil, R., Acuña, J. F., & Bojacá, C. R. (2012). Optimization of ventilation and its effect on the microclimate of a colombian multispan greenhouse. *Agronomía Colombiana*, 30(2), 282-288.