

APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN DEL EFECTO DE LAS VARIABLES AMBIENTALES EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS BAJO AMBIENTES PROTEGIDOS.

CUCUNUBO BOSA, P.C.¹, VARGAS CRUZ, J.², ACUÑA C., J.F.³.

¹ Estudiante de Ingeniería Agrícola, Auxiliar de investigación, Departamento de Ingeniería Agrícola y Civil, Universidad Nacional de Colombia, pccucunubob@unal.edu.co

² Ingeniería Agrícola MSc, Grupo de investigación GTI, Departamento de Ingeniería Agrícola y Civil, Universidad Nacional de Colombia, jevargasr@unal.edu.co

³ Ingeniero Agrícola Ph., Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Agrícola y Civil, Universidad Nacional de Colombia, jfacunac@unal.edu.co

RESUMEN.

En el siguiente trabajo de investigación se determinó la influencia de las variables de temperatura y humedad relativa del ambiente, sobre la temperatura de cultivo de hierbabuena (*Mentha Spicata*). El presente ensayo se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá, en dos invernaderos con las mismas condiciones de suelo y láminas de riego, y dos tipos de películas plásticas para generar condiciones climáticas diferentes, causadas por los niveles de difusión de luz (82% y 35%). Se tomaron datos simultáneos de temperatura del interior del invernadero y humedad relativa del aire mediante datalogger, y datos de la temperatura de cultivo mediante cámara termográfica. Se realizó una correlación entre estos datos apreciando diferencias significativas entre los valores medidos para los distintos ambientes y los valores presentados por cada planta. Se evaluó la conductancia estomática del cultivo para determinar el momento en que la planta se encuentra en estrés y correlacionar con los datos de temperatura en planta y ambiente. Los resultados indican que existen diferencias entre los puntos críticos ambientales y los puntos críticos de cultivo. Se concluye que la termografía es útil para la toma de decisiones de manejo durante las fases de producción.

Palabras clave: conductancia estomática, temperatura de cultivo, termografía.

APPLICATION OF THERMOGRAPHY AS A TOOL FOR MEASURING THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL VARIABLES ON CROP PRODUCTION IN GREENHOUSE

ABSTRACT.

In the following research the influence of the variables of temperature and relative humidity on the culture temperature of *Mentha spicata* was determined. The test was conducted on the campus of the National University of Colombia-Bogotá. In two greenhouses under the same conditions of soil and water depths, with two types of plastic films to generate different climatic conditions, caused by light diffusion levels (82% and 35%). Simultaneous data inside the greenhouse temperature and relative humidity by datalogger were taken, the temperature data growing was taken by thermal imager. A correlation was made between these data appreciating significant differences between measured for the different environment and for the each plant measured values. Stomatal conductance values of the growing were evaluated for the time when the plant is in stress and data correlated with plant and ambient temperature. The results indicate that there are differences between critical environmental points and critical points of crop. We conclude that thermography is useful for making management decisions during the phases of production.

Keywords: stomatal conductance, temperature of crop, thermography.

INTRODUCCIÓN

La termografía es una técnica que se utiliza para identificar si los cultivos están bajo estrés hídrico por déficit, a través de la relación con la conductancia estomática, temperatura ambiental o imágenes referencia húmeda y seca, según sea el método utilizado, y a partir de esto efectuar la planificación sobre la cantidad y frecuencia del riego, como se ha implementado en algodón (Padhi, Misra, & Payero, 2011). En este caso en particular del cultivo de algodón se implementó una variante de las técnicas tradicionales (Jones et al., 2003; Idso et al., 1981) utilizando la termografía multidireccional, la cual se usó para realizar un análisis más profundo del impacto del estrés hídrico en las plantas dependiendo de la dirección de la onda de luz propagada sobre el suelo y la planta. (Luquet, et al., 2002).

Otro cultivo en el que se ha implementado la termografía con el mismo objetivo, es el pepino en ambiente protegido, en el cual se tiene en cuenta la conexión entre la medidas de temperatura de dosel de las plantas y los índices de conductancia estomática, y el potencial de agua del cultivo, proporcionando resultados satisfactorios, para evitar el déficit hídrico antes que se presenten daños fisiológicos considerables en el cultivo (Kaukoranta, Murto, Takala, & Tahvonen, 2005). Estos resultados concuerdan con productos como las habas en el que la imagen termográfica es útil para la determinación del estrés hídrico, según Grant, Chaves, & Jones (2006). También se han realizado ensayos para observar la respuesta del cultivo de maíz a diferentes láminas de riego en noventa y dos variedades, en el cual se estableció la relación entre las temperaturas medidas a través de la termografía y el índice de estrés hídrico, información útil para la selección del material vegetal más tolerante a las sequías (Romano, et al., 2011).

Varias investigaciones han demostrado que la termografía es muy usada para llevar a cabo estudios sobre la programación del riego a partir de los cambios de temperatura del cultivo la cual es una variable dependiente del abastecimiento de agua (Padhi, Misra, & Payero, 2011) y las condiciones medioambientales de desarrollo en el invernadero. Otros ensayos permiten correlacionar dicha influencia con la apertura y cierre de estomas, aunque no de forma precisa, ya que tienen en cuenta la susceptibilidad de la temperatura de la hoja a las condiciones medioambientales (Jones, 1999). Esta consideración se da en *Jatropha curcas*, para analizar el estrés por déficit en condiciones medioambientales poco óptimas, ya que el índice de conductancia estomática es sensible a factores abióticos, las dimensiones y el ángulo de medida de las hojas (Maes, Achten, Reubens, & Muys, 2010). Estas variables pueden convertir a la termografía en un método menos preciso si se toma dicho parámetro para la toma de decisiones sobre los requerimientos hídricos del cultivo. Sin embargo, es importante anotar que la técnica se puede aplicar a diferentes sistemas, desde árboles hasta cultivos, a través de la cual es posible identificar las interacciones entre las plantas y el medio ambiente (Costa, Grant, & Chaves, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de las condiciones medioambientales de temperatura y humedad relativa de cada invernadero, usando películas plásticas con diferente difusividad térmica, sobre la temperatura de cultivo aplicando la termografía y así, realizar una correlación con la información de conductancia estomática para establecer la eficiencia de usar esta herramienta para evaluar el estrés hídrico del cultivo de hierbabuena.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en dos invernaderos ubicados en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá (4°38'07.2"N 74°04'57.3"W) con una orientación de este-oeste. Durante la investigación fueron denotados como Invernadero SP e Invernadero DIF, usando películas plásticas con difusividad del 35% y 82% respectivamente. Las dimensiones de cada invernadero son 3m de altura central, 1,5m de altura de canal y 9m de largo. Las plantas de hierbabuena (*Mentha Spicata*) fueron trasplantadas 45 días después de la germinación. Se

distribuyeron 40 plantas en una cama doble de 1.20m x 2.30m, con un distanciamiento de 0.23m entre plantas y 0.2m entre líneas, en cada invernadero. Se seleccionó turba negra para trasplantar la hierbabuena y se colocó una capa de cascarilla de arroz para disminuir la evaporación de agua en el suelo del cultivo. Durante el período de desarrollo, se usó riego por goteo, aplicando dos láminas de riego, T1 100% y T2 75% de la lámina calculada como óptima en términos de agua aprovechable. La temperatura y humedad relativa del invernadero fue medida con datalogger, se ubicaron en el centro de cada invernadero. El equipo registró los datos cada hora, durante el período de desarrollo. En cada invernadero, se seleccionaron 4 (plantas en las cuales se tomaron las medidas durante el progreso de la investigación. Se determinaron tres horas para tomar las medidas, 9am, 12m y 3pm considerando los puntos críticos de temperatura del ambiente durante el día; sin embargo, para el presente trabajo solo se muestran los resultados obtenidos a las 9 de la mañana donde se registran las mayores diferencias entre los dos invernaderos, después que trascurrieran 16 horas luego del riego. Durante este mismo periodo de tiempo, se tomaron los datos de temperatura y conductancia estomática de las plantas seleccionadas usando una cámara termográfica y un porómetro debidamente calibrado. Para obtener la información por medio de imágenes termográficas, se ubicó la cámara sobre la planta de tal manera que se pudiera captar el follaje en su máxima amplitud; además, se tomó una imagen termográfica general de cada invernadero en las horas establecidas. Las medidas de conductancia estomática se tomaron en el haz de la hoja en cada planta durante un lapso de tiempo de 30 segundos, dentro de un rango de 0 a 1000 mmol-m⁻²-s⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la temperatura ambiente y humedad relativa en los dos invernaderos de estudio.

El cultivo de hierbabuena se extiende en zonas donde se presenta clima templado y húmedo (Japon, J., 1985); sin embargo, el cultivo se ha desarrollado en zonas frías bajo ambientes protegidos donde se proporcionan las condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo óptimo del cultivo (Castro Restrepo, et al., 2013; Acuña, 2009). Según varios autores (Curioni, A y O. Arizio. 2006), para su desarrollo la hierbabuena soporta hasta 3°C como temperatura mínima y hasta 40°C como temperatura máxima, teniendo en cuenta una humedad relativa HR mayor en el caso de presentarse altas temperaturas y menor en el caso de acercarse a a temperaturas inferiores de los 5 grados.

En la Figura 1, se presenta el comportamiento de la temperatura ambiente T_a y la humedad relativa HR entre los dos invernaderos, en donde se evidencia la diferencia de las condiciones ambientales de cada uno, las cuales son dependientes de la película plástica. En el caso de la cubierta SP con un 35% de difusión de la luz es mayor la temperatura ambiental T_a máxima, mínima y promedio, y menor la humedad relativa HR máxima, mínima y promedio respecto al plástico DIF con mayor difusión de la luz (82%).

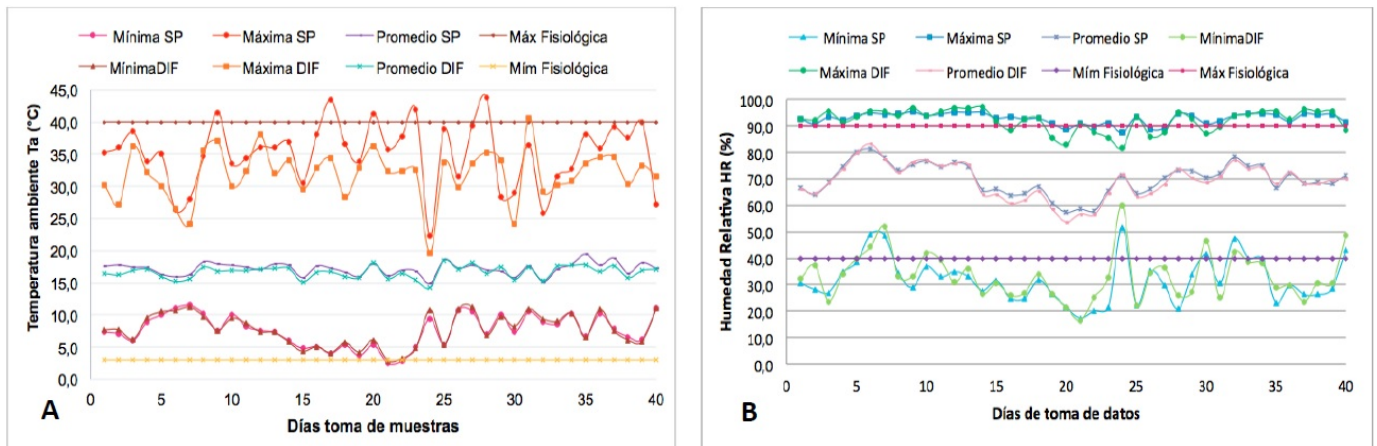


Figura 1. Comportamiento de la temperatura ambiente Ta (A) y la humedad relativa HR en los dos invernaderos de estudio (B).

Realizando una prueba estadística de estos resultados por medio de la prueba de comparación de medias T Student para pruebas relacionadas, se encontró que al trabajar dos invernaderos de cubiertas diferentes se tienen microclimas distintos generados por las características de las cubiertas plásticas en cada uno de ellos. Aunque el fabricante garantiza la misma capacidad de termicidad de los dos plásticos, la diferencia en la tendencia del comportamiento de las temperaturas entre ambos invernaderos, y una diferencia estadística significativa entre las humedades relativas medidas en horas de la mañana demuestran lo contrario. Esto destaca la importancia de los efectos de las pantallas en el microclima de los cultivos y el uso del agua según las necesidades y condiciones del mismo, lo cual se ha investigado en varios estudios durante las últimas dos décadas (Moran et al., 2014).

La temperatura del aire interior de un invernadero, es el resultado integral de varios procesos de transferencia de energía simultáneos que incluyen el intercambio de radiación, convección (ventilación) y la evapotranspiración. Por esto, la existencia del efecto sombra dentro de este reduce la cantidad de energía radiante almacenada, y por lo tanto tiene el potencial de reducir la temperatura del aire (Josef, 2014). Este fenómeno se presenta dentro del invernadero SP que tiene un menor porcentaje de difusión de la luz con respecto al invernadero DIF, el cual garantiza la difusión de la luz con la posibilidad de evitar el 82% de sombra, y por tanto menores lugares de pérdida de calor.

Experimentos que se llevaron a cabo aplicando sustancias a la cubierta que impidían el paso de determinado porcentaje de radiación solar, disminuyeron los valores de temperatura de ambiente y presión de vapor, repercutiendo en el cultivo y proporcionando información para identificar las condiciones hídricas del cultivo (Baillie, Kittas, & Katsoulas, 2000). Tanto la temperatura como la humedad del ambiente son determinantes en el rendimiento del cultivo ya que afectan los procesos fisiológicos de la plantas, puesto que se puede presentar un aumento o disminución de la temperatura de cultivo y por lo tanto condicionar los requerimientos hídricos dentro de los invernaderos (Trigui, Barrington, & Gauthier, 1999). Como se menciona anteriormente, la temperatura juega un papel importante, ya que la temperatura del cultivo presentará cambios, si la temperatura del ambiente en el que se encuentra varía (Grant, Chaves, & Jones, 2006).

Relación de la temperatura del dosel (Td) tomada por imágenes termográficas para cada tratamiento con la temperatura ambiente (Ta).

En la ilustración 1 se observa el resultado de usar la termografía como mecanismo para detectar la temperatura del dosel de las plantas de hierbabuena (*Mentha spicata*). Donde el equipo suministra la imagen termográfica con la información de la temperatura de dosel a través de la captación de la radiación infrarroja de la planta. A partir de la información suministrada se pueden realizar interpretaciones sobre el estado de la planta y las condiciones medioambientales en las que se encuentra, y tomar decisiones sobre los requerimientos hídricos (Padhi, Misra, & Payero, 2011; Luquet, et al., 2002; Kaukoranta, Murto, Takala, & Tahvonon, 2005, Romano, et al., 2011; Jones, 1999; Maes, Achten, Reubens, & Muys, 2010) ideales para el cultivo.

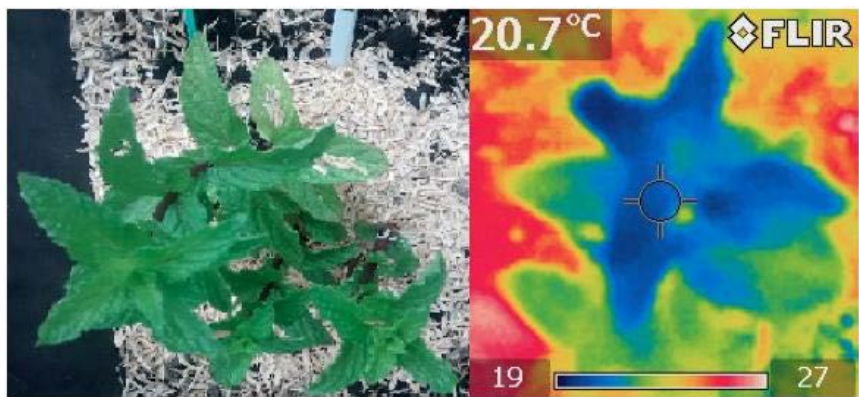


Ilustración 1. Comparación imagen real e imagen termográfica del dosel del cultivo.

Como se nombró anteriormente, las condiciones ambientales del invernadero son dependientes de los materiales que se usen para diseñar la estructura, sobre todo si se trata de la cubierta, ya que ésta afecta variables como la luz, temperatura, y humedad que influyen en el cultivo (Castilla, N., 2004) c.p. (Espí, E., 2012). En este caso específico, las determinadas condiciones ambientales en los invernaderos, en especial la temperatura ambiental muestran una correlación con la temperatura del dosel de las plantas de hierbabuena (*Mentha spicata*) directamente proporcional, ya que a medida que aumenta Ta hay una elevación de Td como lo muestra la Figura 2.

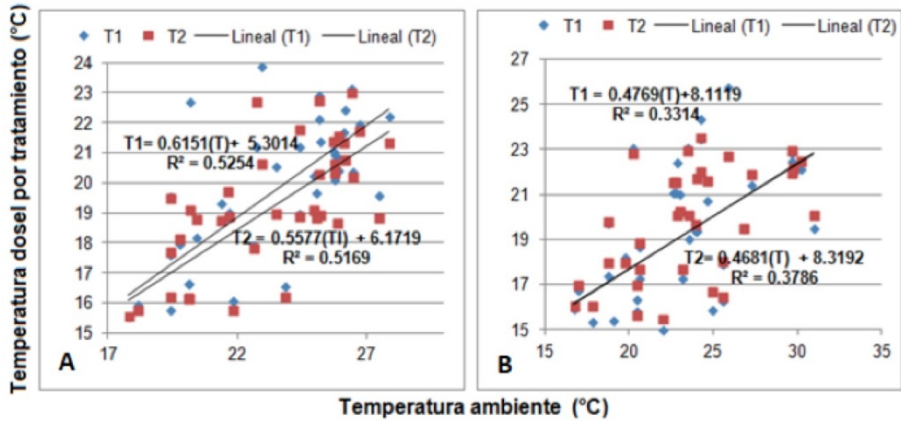


Figura 2. Relación de la temperatura del dosel (Td) tomada por imágenes termográficas para cada tratamiento con la temperatura ambiente (Ta) (A. Invernadero SP, B. Invernadero DIF).

La ley cero de termodinámica explica que dos cuerpos tienen la misma lectura de temperatura incluso si no están en contacto (Cengel & Boles, 2011) y está presente el fenómeno de la transferencia de calor por conducción, convección y radiación principalmente, dicho mecanismo no requiere la presencia de un medio natural para realizar la transferencia ya que se da a través de ondas electromagnéticas a favor del gradiente de temperatura, y todo cuerpo emite radiación en diferente intensidad y dirección, así mismo absorbe radiación emitida por otros cuerpos (Cengel & Ghajar, 2011). Es por estos conceptos que en la Figura 2 se observa una relación directa entre las variables, ya que hay una transferencia de calor hacia el cultivo y por lo tanto un proceso para entrar en equilibrio térmico; es necesario considerar que otros elementos como el suelo y los elementos estructurales que conforman el invernadero también emiten y absorben radiación, pero no se consideraron dentro del estudio.

Realizando un análisis estadístico de la correlación lineal de (T_a) y (T_d), se nota una diferencia marcada entre el comportamiento de estas dos variables para los tratamientos de SP y DIF a las 9 de la mañana. Donde en SP que tiene un plástico con condiciones normales de difusión de la luz y permite la relación más lineal entre la respuesta de (T_d) y (T_a) para los dos tratamientos de riego. Por el contrario, en DIF la respuesta no tiene un claro comportamiento lineal dado que las altas y bajas temperaturas (T_a) presentadas en el invernadero elevan y bajan de manera drástica las temperaturas del dosel (T_d), modificando el comportamiento sin mostrar una tendencia clara de correlación los tratamientos T1 y T2.

Estos resultados en SP concuerdan con Barrios G., et al., (2011) quienes obtuvieron correlaciones mayores de $r=0,60$, en el estudio del efecto del déficit hídrico del suelo y temperatura alta del aire en las relaciones hídricas y temperatura del dosel del cultivo (T_c), en el rendimiento de la semilla de frijol. Donde T_c aumentó a medida que T_a se incrementó durante el período de medición entre las etapas, sobre todo en los ambientes de donde las plantas sufrieron más altos niveles de estrés hídrico.

Relación de la temperatura del dosel (T_d) tomada por imágenes termográficas para cada tratamiento con la Humedad Relativa (HR).

Teniendo en cuenta que HR afecta la apertura y cierre de los estomas, la transpiración varía dependiendo de los niveles de conductancia estomática y por lo tanto influye en el balance de energía de la hoja, lo que a su vez se representa en T_d (Costa, Grant, & Chaves, 2013). Como se observa en la Figura 3 a medida que aumenta HR en los invernaderos, T_d disminuye ya que a través de la transpiración regula su temperatura, sin importar el tipo de película plástica bajo la cual está el cultivo.

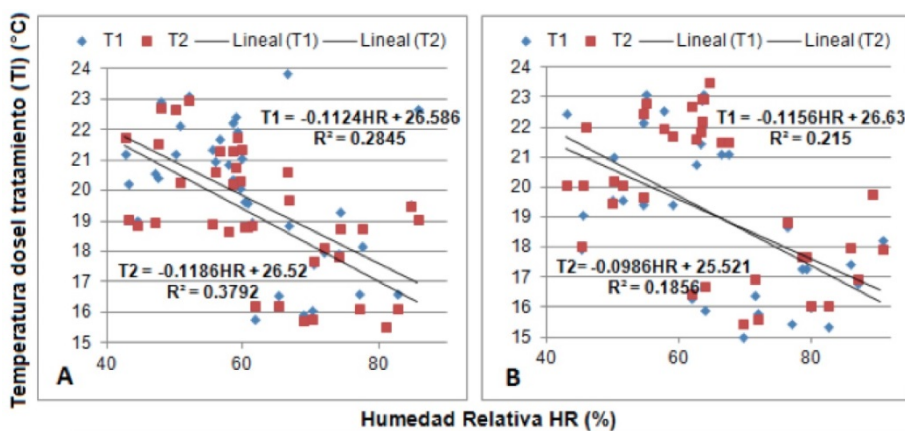


Figura 3. Relación de la temperatura del dosel (T_d) tomada por imágenes termográficas para cada tratamiento con la Humedad Relativa (HR) (A. Invernadero SP, B. Invernadero DIF).

Estos resultados concuerdan con varias investigaciones que han demostrado la existencia de factores que afectan la conductancia estomática de diferentes variedades de plantas, como son la humedad del aire (Aasamaa & Söber, 2010; Suzuki, et al., 2015; Blonquist Jr., Norman, & Bugbee, 2009), el potencial hídrico, la concentración de CO₂ y la intensidad lumínica (Pérez, Rojas, & Melgarejo, 2010). El factor más significativo es la humedad relativa, en ensayos donde las plantas enfrentan períodos de sequía, la conductancia estomática de las plantas disminuyó a medida que se redujo la humedad del aire en el ambiente (Aasamaa & Söber, 2010); así mismo, estudios en tomate demostraron que a medida que aumentó la humedad relativa en el invernadero, se presentó una elevación en la conductancia estomática (Suzuki, et al., 2015), situación similar en hortalizas, lo que a su vez significa un aumento en los niveles de clorofila, lo que favorece el crecimiento del cultivo (Blonquist Jr., Norman, & Bugbee, 2009).

Por otro lado, es importante identificar que a pesar que las pendientes de las regresiones lineales son muy similares, presentan unos cambios pequeños que se pueden dar por el tipo de plástico, en cuanto al invernadero SP la difusividad es del 35% y el invernadero DIF es del 82%, lo que permite entender cómo se comportan las condiciones ambientales en el invernadero. En cuanto al invernadero DIF la difusividad del calor es más homogénea durante todo el día, mientras que el invernadero SP presenta cambios más bruscos en cuanto a la pérdida de calor en la noche, por lo que se puede asumir que los cambios de humedad relativa se dan teniendo en cuenta lo anterior y así mismo la intensidad del estrés en el cultivo.

Relación de la temperatura del dosel (Td) tomada por imágenes termográficas para cada tratamiento con la respuesta de los mismos según la conductancia estomática.

El déficit de agua en las plantas “provoca un cierre estomático y por lo tanto una reducción en la tasa de transpiración que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal” (Berni, et al., 2009). Luego, en la Figura 4 se puede observar la correlación obtenida entre Td y gs para los dos invernaderos, en el cual se muestra un alto grado de dispersión entre los dos. Sin embargo, se obtuvo una relación lineal muy pequeña donde a medida que aumenta la temperatura del dosel aumenta la apertura estomática lo que explicaría que la planta se encuentra en un evidente estrés hídrico. Por un lado a medida que aumenta Td, la planta debe transpirar más y abrir sus estomas para regular sus temperatura en la mañana horas donde el clima del invernadero es propicio para la normal regulación metabólica de la planta a diferencia del mediodía, y por el otro como lo muestra la Figura 2 a medida que aumenta la temperatura ambiental Ta aumenta la temperatura del dosel Td.

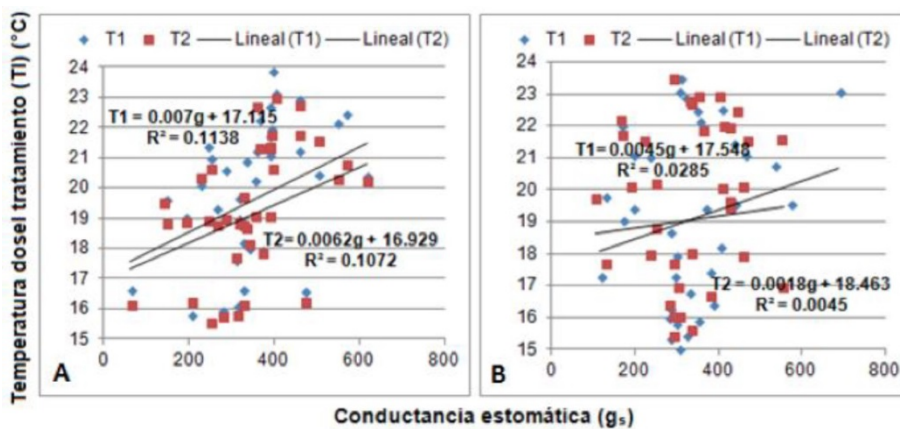


Figura 4. Relación de la temperatura del dosel Td tomada por imágenes termográficas para cada tratamiento con la Conductancia Estomática (gs) (A. Invernadero SP, B. Invernadero DIF).

Luego, es claro que T_d se ve afectada por la apertura de los estomas, ya que este movimiento de cierre y apertura es necesario para que las plantas realicen la fotosíntesis, lo cual de forma implícita involucra la pérdida de agua en forma de vapor a través del ostiolo de los estomas. Un aspecto determinante en el grado de apertura de los estomas es el estado hídrico de la planta, los cuales controlan la pérdida de agua por transpiración (Pérez, Rojas, & Melgarejo, 2010), evitando que en casos de estrés hídrico por déficit la planta pierda un alto contenido de agua, afectando el crecimiento y el rendimiento del cultivo, lo cual hace que la frecuencia de apertura de los estomas sea menor, disminuyendo la transpiración y elevando la temperatura de las hojas (Blonquist Jr., Norman, & Bugbee, 2009). En cada tratamiento se observaron valores de T_d diferentes, esto se debe a que la densidad estomática del cultivo varía dependiendo de las condiciones ambientales en las que se establece la planta, como la intensidad de la luz, la concentración ambiental de CO_2 (Pérez, Rojas, & Melgarejo, 2010), el déficit de presión de vapor, la temperatura de hoja y la humedad del suelo (Jones 1992; Lake et ál. 2001) c.p. (Pérez, Rojas, & Melgarejo, 2010); además la baja concentración de clorofila en las hojas imposibilita la apertura de estomas (Matsumoto, Ohta, & Tanaka, 2005).

CONCLUSIONES

Una variación en el porcentaje de difusión de la luz en las películas de invernadero influye en un aumento o disminución de la temperatura ambiental (T_a) y de la humedad relativa (HR) en comparación a un plástico de difusión normal, según la hora del día en que se presenten los rayos solares con respecto al efecto sombra que se presenta dentro de los invernaderos. En horas de la mañana y de la tarde el efecto sombra implica tener zonas de pérdida de calor durante estas horas, mientras que al medio día la sombra

es minimizada en ambos invernaderos y presenta un comportamiento similar de las variables climáticas. Luego, las propiedades de los plásticos de invernadero pueden influir claramente en el comportamiento y desarrollo del cultivo, ya que intervienen en el microclima formado dentro de las unidades experimentales y las necesidades de las plantas en las condiciones del mismo. Entre estas necesidades de las plantas se reconoce como la más importante la adquisición de agua para realizar sus principales actividades metabólicas. La transpiración en especial regulada por la apertura y cierre de estomas que varía la temperatura del dosel de la planta, se puede controlar a través de imágenes termográficas y utilizar como método de detección de estrés hídrico para control de riego. De tal forma, la temperatura de la hoja actúa como un buen indicador del estado hídrico de la planta, ya que cuando las plantas están sufriendo estrés hídrico aumentan su temperatura, dado por el cierre de estomas para evitar el proceso normal de transpiración. Características que son claras en el estado de estrés hídrico del cultivo en comparación a la medida conductancia estomática (g_s) que se ve altamente influenciada por las condiciones ambientales de desarrollo, la fotosíntesis y la respiración de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- Aasamaa, K., & Söber, A. (23 de Octubre de 2010). Stomatal sensitivities to changes in leaf water potential, air humidity, CO_2 concentration and light intensity, and the effect of abscisic acid on the sensitivities in six temperate deciduous tree species. *Environmental and Experimental Botany*, 72-78.
- Acuña C. J.F. (2009). Control climático en invernaderos. Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia. Opciones Gráficas Editores Ltda.
- Baille, A., Kittas, C., & Katsoulas, N. (28 de Diciembre de 2000). Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 293-306.
- Barrios G., E. J., López C., C., Kohashi S., J. (2011). Relaciones Hídricas Y Temperaturas Altas En Frijol Del Tipo "Flor De Mayo". *Agronomía Costarricense* 35(1), 131-145.

- Berni, J. A., Zarco Tejada, P. J., Sepulcre Cantó, G., Fereres, E., & Villalobos, F. J. (2009). Estimación de conductancia estomática y detección de estrés hídrico en vegetación mediante imágenes térmicas de alta resolución espacial obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, 25-28.
- Blonquist Jr., J. M., Norman, J. M., & Bugbee, B. (30 de Junio de 2009). Automated measurement of canopy stomatal conductance based on infrared temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1931-1945.
- Castro Restrepo, D., Díaz García, J. J., Serna Betancur, R., Martínez Tobón, M. D., Urrea, P. A., Muñoz Durango, K., y otros. (2013). Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales. Rionegro, Antioquia, Colombia: Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). Termodinámica (Septima ed.). México: McGraw Hill.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones (Cuarta ed.). México: McGraw Hill.
- Costa, J. M., Grant, O. M., & Chavez, M. M. (2013). Thermography to explore plant-environment interactions. *Journal of Experimental Botany*, 3937-3949.
- Espí, E. (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. Cuadernos de estudios agroalimentarios, 71-88.
- Grant, O. M., Chavez, M.M., & Jones, H. G. (2006). Optimizing thermal imaging as a technique for detecting stomatal closure by drought stress under greenhouse conditions. *Physiologia Plantarum*, 507-518.
- Curioni, A y O. Arizio. 2006 Plantas Aromáticas y Medicinales. Ed. Hemisferio Sur Bs As.
- Idso S.B., R.D. Jackson, P.J. Pinter, R.J. Reginato, J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability, *Agricultural Meteorology*, 24, pp. 45-55.
- Japon Q., J. (1985). Cultivo del perejil y de la hierbabuena. Madrid: Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación.
- Jones, H. G. (16 de Marzo de 1999). Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139-149.
- Jones H.G. and Leinonen, I. 2003 .Thermal imaging for the study of plant water relations. *Journal of Agricultural Meteorology*, 205-217.
- Josef, T. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens. A review, *Biosystems Engineering*, Volume 114, Issue 1,26-43.
- Kaukoranta, T., Murto, J., Takala, J., & Tahvonen, R. (9 de Febrero de 2005). Detection of water deficit in greenhouse cucumber by infrared thermography and reference surfaces. *Scientia Horticulturae*, 447-463.
- Luquet, D., Bégué, A., Vidal, A., Clouvel, P., Dautat, J., Olios, A., y otros. (24 de Agosto de 2002). Using multidirectional thermography to characterize water status of cotton. *Remote Sensing of Environment*, 411-421.
- Maes, W. H., Achten, W. M., Reubens, B., & Muys, B. (22 de Diciembre de 2010). Monitoring stomatal conductance of *Jatropha curcas* seedlings under different levels of water shortage with infrared thermography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 554-564.
- Matsumoto, K., Ohta, T., & Tanaka, T. (11 de Julio de 2005). Dependence of stomatal conductance on leaf chlorophyll concentration and meteorological variables. *Agricultural and Forest Meteorology*, 44-57.
- Moran, P., Josef, T., Or, S., Meir, T., Shabtai, C., Yosepha, S., & Yair, I. (2014). The effect of screen type on crop micro-climate, reference evapotranspiration and yield of a screenhouse banana plantation, *Scientia Horticulturae*, Volume 180, 32-39.
- Padhi, J., Misra, R. K., & Payero, J. O. (23 de Septiembre de 2011). Estimation of soil water deficit in a irrigated cotton field with infrared thermography. *Field Crops Research*, 45-55.
- Pérez, L. V., Rojas, Y. A., & Melgarejo, L. M. (2010). Agua. En L. M. Melgarejo, M. Romero, S. Hernández, J. Barrera, M. H. Solarte, D. Suárez, y otros, *Experimentos en fisiología vegetal* (págs. 63-78). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Romano, G., Zia, S., Spreer, W., Sanchez, C., Cairns, J., Araus, J., y otros. (23 de Agosto de 2011). Use of thermography for high throughput phenotyping of tropical maize adaptation in water stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 67-74.
- Trigui, M., Barrington, S. F., & Gauthier, L. (22 de Mayo de 1999). Effects of humidity on tomato (*Lycopersicon Esculentum* cv. Truss) water uptake, yield, and dehumidification cost. *Canadian Agricultural*, 135-140.
- Suzuki, M., Umeda, H., Matsuo, S., Kawasaki, Y., Ahn, D., Hamamoto, H., y otros. (18 de Marzo de 2015). Effects of relative humidity and nutrient supply on growth and nutrient uptake in greenhouse tomato production. *Scientia Horticulturae*, 44-49.