

## ANÁLISIS DEL ÍNDICE GRADO DÍA Y DEL ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO E HIDROPONÍA

Vázquez-Lee, Jairo<sup>1</sup>; Munguía-López, Juan P.<sup>1\*</sup>; Arellano-García, Marco A<sup>1</sup>; Grajales-Sarabia, Fátima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Departamento de Plásticos en la Agricultura.

Blvd. Enrique Reyna N° 140, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Egresado del programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura, CIQA.

\*Correo de contacto: [juan.munguia@ciqa.edu.mx](mailto:juan.munguia@ciqa.edu.mx)

### RESUMEN

Se analizó el Índice Grado Día (IGD) y el Índice de estrés Hídrico en el cultivo (IEHC) de tomate hidropónico (*Lycopersicon esculentum* Mill) indeterminado tipo bola bajo invernadero en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) de Saltillo Coahuila México en el año 2011. Para el experimento se establecieron diferentes porcentajes de drenaje (tratamiento 1; 10%, tratamiento 2; 15%, tratamiento 3; 20% y tratamiento 4; 30%), se midió la temperatura del dosel (Tc) de las plantas mediante termometría infrarroja y la temperatura del aire (Ta) con un termopar de alambre fino FWT cada hora durante las 24 horas del día. Se calculó el IGD y el IEHC en cada tratamiento. En las plantas del tratamiento 1, Tc resultó mayor que Ta y provocó que en el periodo de mediciones el SDD acumulado fuera de 2080.31 °C mientras que en el tratamiento 4, Tc fue menor que Ta y por esto el SDD acumulado fue de -316.17 °C. La acumulación de SDD con valores positivos representa a un cultivo con deficiencias de riego y SDD con valores negativos representa a un cultivo bien regado. Las cantidades de riego aplicadas para mantener los porcentajes de drenaje en cada tratamiento tuvieron un efecto marcado en el IEHC, las plantas del T1 manifestaron el mayor IEHC con un valor promedio de 0.8, mientras que las plantas de T4 el IEHC fue de 0.5. El SDD indica que la temperatura de la hoja es superior o inferior que la temperatura del aire dependiendo de la cantidad de riego que se está aplicando; en cambio, el IEHC indica el nivel de riego necesario para mantener la temperatura óptima de la planta por lo que el IEHC es mejor que el SDD si se requiere conocer la cantidad de agua necesaria para los cultivos.

**Palabras clave:** índice de estrés hídrico, Índice grado día, hidroponía, termometría infrarroja.

### INTRODUCCIÓN

El agua representa mundialmente uno de los recursos naturales de mayor importancia en la producción agrícola, dada su escasez relativa, su baja disponibilidad y calidad. Debido a esto, se han desarrollado diversas tecnologías tendientes a mejorar el uso de este recurso, sistemas de conducción y métodos de riego más eficientes, que permiten aumentar la superficie regada, mejorar rendimientos y ampliar la rentabilidad de los cultivos y el suelo (San Martín y Acevedo 2001).

La aplicación de termómetros infrarrojos fue iniciado por Idso *et al.*, 1977 y Jakcson *et al.*, 1977 midieron temperaturas del dosel y del aire todos los días durante una temporada completa en el cultivo de trigo y definieron el estrés grado-día IGD o SDD (*stress degree day* por sus siglas en inglés) como la diferencia entre la temperatura del dosel (Tc) y la temperatura del aire (Ta). Idso *et al.*, (1981), encontraron que si el contenido de humedad del suelo es suficiente para la planta, la diferencia entre la temperatura de la hoja y la temperatura del aire es cero o con valor negativo, pero si las plantas sufren de estrés hídrico, este valor es arriba de cero.

En la actualidad, debido a la escasez de agua en las regiones áridas y semiáridas del mundo, se ha optado por métodos que miden la temperatura de la hoja de la planta a través de la termometría infrarroja y está teniendo un uso práctico por ser una herramienta sencilla, confiable, de fácil manejo y precisión para determinar las necesidades hídricas de los cultivos debido a que se basa en el balance de energía entre la temperatura del aire y la temperatura del dosel de la planta y el déficit de presión de vapor (DPV) que dependen del cultivo y de las condiciones atmosféricas (López-López *et al.*, 2009). La temperatura de la hoja es usada como un indicador del estrés hídrico de las plantas (Jackson *et al.*, 1981; Jackson 1982). Idso *et al.*, (1981) desarrollaron el método empírico del IEHC para la cuantificación de la tensión de humedad en los cultivos en regiones áridas, el cual depende de la determinación de las líneas base las cuales son específicas del cultivo y están influenciadas por el clima (Bucks *et al.*, 1985). Estas líneas base indican la temperatura de la planta cuando no está sometida a estrés hídrico (fue introducido primero por Idso *et al.*, 1981), y cuando la planta se encuentra en condiciones de máximo estrés hídrico.

Algunos autores han utilizado el método de la termometría infrarroja para programar riegos, Orta *et al.*, (2002), Erdem *et al.*, (2003, 2005, 2009), González *et al.*, (2005), López-López *et al.*, (2009) demostrando la eficiencia de esta herramienta para la programación de riegos en la agricultura.

Los objetivos del presente trabajo fueron: I) Optimizar el desempeño de la termometría infrarroja como una herramienta útil para estimar los índices de estrés hídrico de una manera continua durante todo el ciclo de cultivo II) Derivar los límites superior e inferior del Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de invernadero (IEHC) y III) Normalizar los valores del índice grado día (IGD) para las condiciones de cultivo de tomate en hidroponía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 27' de latitud Norte, 100° 58' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altura de 1502 msnm, el clima corresponde a un seco estepario. Para el experimento se utilizó un híbrido de tomate de crecimiento indeterminado de nombre Gabriela de la casa comercial Hazera. El experimento se llevó a cabo bajo un invernadero tipo túnel orientado E-O con una superficie de 7.3 m de ancho por 14.5 m de largo y la altura cenital de 3.48 m, la cubierta del invernadero es de polietileno difuso de baja densidad, con un espesor de 180 micras. El invernadero cuenta con equipo de control de clima.

El estudio se realizó mediante un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos establecidos de acuerdo al porcentaje de drenaje T1 (10%), T2 (15%), T3 (20%) y T4 (30%), con tres repeticiones, dando un total de 12 unidades experimentales, las cuales consistieron de tres "bolis" de polietileno tipo taco con dimensiones de 90 cm x 30 cm x 15 cm y como sustrato se utilizó una relación 80:20 de perlita y polvo de fibra de coco.

El trasplante se realizó el día 24 de Marzo del 2011 y se colocaron 6 plantas por bolis, el tratamiento consistió de tres repeticiones de tres bolis y se agregó en cada extremo un bolis como borde, dando un total de 54 plantas por tratamiento.

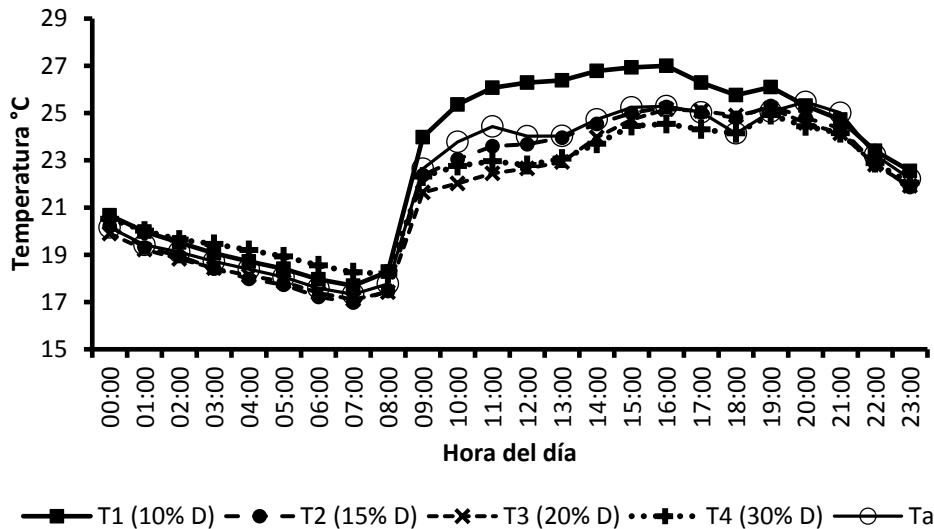
El marco de plantación fue de 1.5 m entre hileras con doble fila separadas a 0.15 m y 0.3 m entre plantas por fila, dando un total de 40,000 plantas por hectárea. La solución nutritiva que se utilizó fue  $N^{+}$  168 ppm,  $P^{+}$  31 ppm,  $K^{+}$  273.7 ppm,  $Ca^{+2}$  190 ppm,  $Mg^{+2}$  72.9 ppm. Para medir la temperatura del dosel de la planta ( $T_c$ ) se utilizaron sensores infrarrojos marca Apogee-Inst colocados directamente sobre una planta representativa por tratamiento a una distancia de 5 cm del haz de la tercera hoja de la parte superior y para la temperatura del aire ( $T_a$ ) se utilizó un termopar de alambre fino tipo E colocado en la parte central del invernadero. Las mediciones se realizaron a partir de los 106 DDT por el aumento de la demanda hídrica ya que la planta estaba en la etapa de fructificación, estos sensores se colocaron en una planta representativa en cada tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Índice grado día (IGD)

El IGD se define como el diferencial de la temperatura de la planta en comparación con la temperatura ambiental durante un período de tiempo determinado. Idso y colaboradores (1982) mencionan que valores positivos de IGD indican que  $T_c$  es mayor que  $T_a$  y que obteniendo valores negativos de IGD  $T_c$  es menor que  $T_a$ , todo esto depende de las condiciones de abastecimiento hídrico en las plantas entre otros factores ambientales. Las plantas de T1 con menor cantidad de riego son las que estuvieron en condiciones de estrés durante el día al tener  $T_c$  mayor

que  $T_a$  (figura 1) y los tratamientos T2, T3 y T4 mantuvieron  $T_c$  menor que  $T_a$  por lo que estuvieron en condiciones hídricas adecuadas para su desarrollo.



**Figura 1.** Temperatura de la hoja y del aire en cultivo de tomate hidropónico en invernadero correspondiente al día 109 después de trasplante. Nota: T1, T2, T3 y T4 indican la temperatura de la hoja por tratamiento.  $T_a$ = temperatura del aire.

Las acumulaciones de grados día por ciclo en cada tratamiento fueron T1= 2008.31, T2= 571.18, T3= -85.18 y T4= -316.17, por lo que T1 resultó ser el tratamiento más estresado y T4 estuvo en condiciones hídricas óptimas para el desarrollo de las plantas. Mazariegos (2006) concluye que el IGD es un indicador muy confiable del estado hídrico en que se encuentra la planta, ya que valores positivos nos indican que la planta se encuentra bajo estrés y si los valores son negativos o cercanos a cero nos indican que la planta tiene condiciones favorables para su desarrollo.

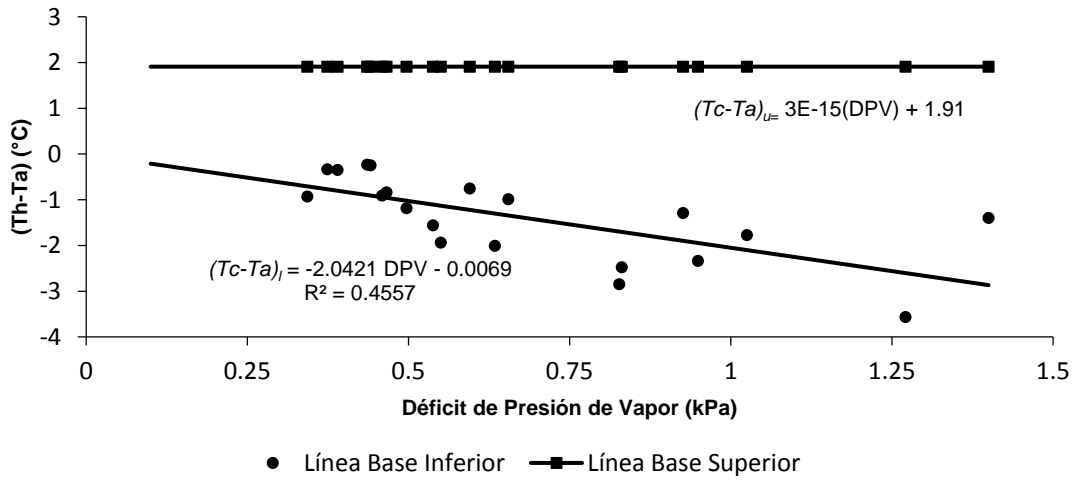
#### Índice de Estrés Hídrico (IEHC)

El período de medición de la temperatura del aire ( $T_a$ ) y temperatura del dosel ( $T_c$ ) fue a partir de los 105 a los 158 días después de trasplante y con los datos obtenidos se hizo el cálculo del IEHC mediante el modelo empírico propuesto por Idso *et al.*, (1981), describiendo la diferencia de temperaturas sin estrés hídrico como una función del déficit de presión de vapor (DPV) para la línea base inferior y a la máxima diferencia de temperaturas bajo estrés hídrico como la línea base superior.

Un DPV igual a cero indica que el aire contiene el máximo vapor de agua posible (HR= 100%). El límite de la línea base inferior cambia en función de la presión de vapor debido al DPV. López-López *et al.*, (2009) registró el DPV de 0.3 a 4 kPa en el cultivo de tomate de cáscara en campo abierto.

En esta investigación, el límite inferior se desarrolló en un rango de DPV de 0.34 a 1.4 kPa debido a que el espacio de volumen de aire en el invernadero es menor que en campo abierto y se mantiene un control de las variables climatológicas. Las ecuaciones que definen las líneas base del límite inferior del CWSI es  $T_c - T_a = -2.9684 DPV + 0.5108$   $R^2 = 0.6623$ , donde  $T_c - T_a$  se expresa en °C y el DPV en kPa y el valor promedio de la línea base superior fue de 1.91 °C con una temperatura promedio de la hoja de 29.93 °C (Figura 2).

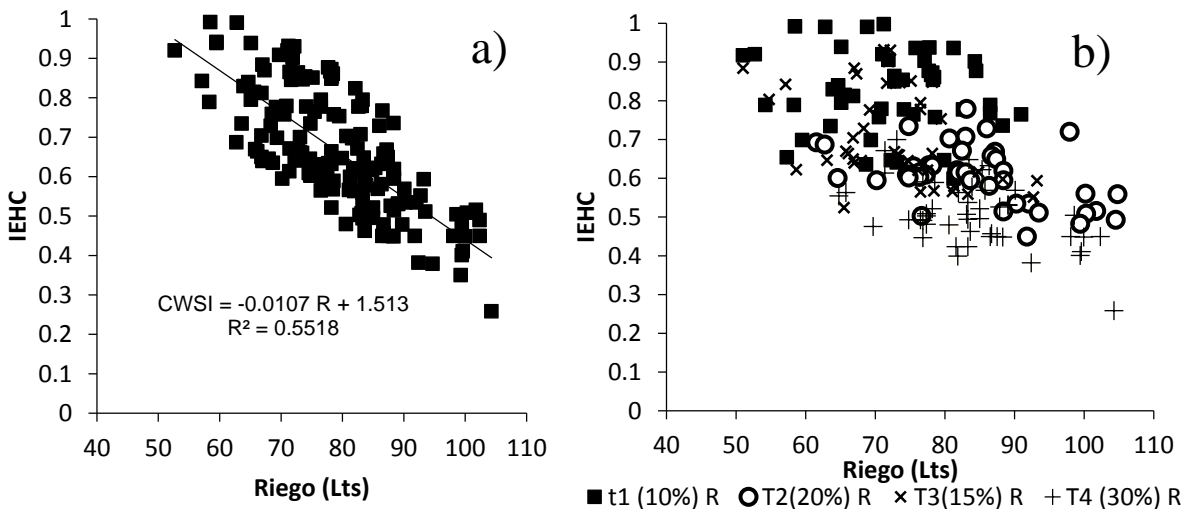
En el cultivo de melón, Erdem *et al.*, (2002) calcularon la ecuación del límite inferior  $T_c - T_a = -1.2042 VPD + 0.4716$   $R^2 = 0.52$  y 3.4 °C como límite superior. En el cultivo de tomate de cáscara, López-López *et al.*, (2009) como límite inferior obtuvo la siguiente ecuación  $T_c - T_a = 1.21 - 1.31 DPV$  y como promedio de límite superior 2.8 °C. Esto hace notar la sensibilidad que tiene el cultivo de tomate bajo invernadero frente a condiciones de estrés hídrico en comparación con otros cultivos.



**Figura 2.** Líneas base superior e inferior en la relación entre Tc-Ta y el déficit de presión de vapor (DPV) para el cultivo de tomate de invernadero en el período del mes de Julio- Agosto del año 2011.

Los valores de IEHC dependen de la cantidad de riego aplicada en el cultivo, (Orta *et al.*, 2002, Erdem *et al.*, 2005 y 2006, López-López *et al.*, 2009) el índice está en el rango de 0 a 1 y representan a un cultivo en condiciones de riego adecuado hasta el momento en que está sometido a estrés hídrico.

Las variaciones del IEHC basadas en el modelo empírico de Idso *et al.*, 1981 establecidas bajo los cuatro niveles de drenaje se muestran en la figura 3a. Generalmente los valores de IEHC son sensibles a aumentos de riego, días de alta y baja radiación solar que afectan directamente su valor. En el tratamiento T1 con menor cantidad de riego, los valores del IEHC estuvieron en el rango de 0.63 a 0.99 y una media de 0.8, en el tratamiento T2 obtuvo valores desde 0.48 a 0.88 con una media de 0.69, los valores del tratamiento T3 estuvieron entre 0.44 a 0.82 con una media de 0.6, y en el tratamiento T4 el comportamiento del IEHC estuvo entre 0.38 y 0.69 con una media de 0.5. por lo que el tratamiento T1 que se manejó con la menor cantidad de riego obtuvo el mayor IEHC (figura 3b) y manifestó el mayor estrés hídrico.



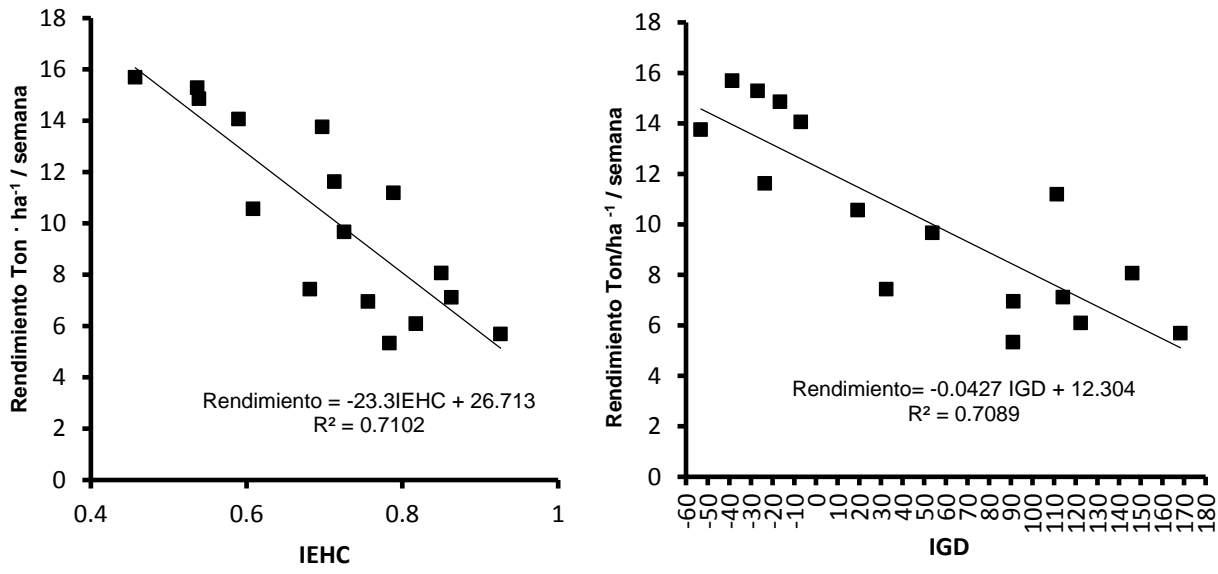
**Figura 3.** a) IEHC en función de la cantidad de riego aplicada en cultivo de Tomate de Invernadero. b) comportamiento del IEHC por tratamiento. Período Julio-Agosto 2011.



Durante el tiempo de mediciones de las variables de temperatura, el tratamiento T1 con menor cantidad de riego se distinguió por mantener  $T_c > T_a$  durante las horas de radiación solar llegando a estar de tres a cuatro  $^{\circ}\text{C}$  más que la temperatura del aire y los tratamientos T3 y T4 con mejores condiciones de riego estuvieron uno y dos  $^{\circ}\text{C}$  menos que la  $T_a$ , esto coincide con lo descrito por Jackson, (1982) por lo que fue afectado notablemente en los procesos de transpiración, fotosíntesis y respiración entre otros.

Como se ha mencionado, el IEHC cercano a uno indica un mayor estrés hídrico, por lo tanto como era de esperarse, las plantas que estuvieron expuestas a menor cantidad de riego manifestaron un mayor estrés, y su rendimiento fue afectado considerablemente. El resultado de la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) del análisis estadístico indica una diferencia significativa en los rendimientos ( $P=0.01$ ), siendo los tratamientos T4 y T3 que estuvieron bajo condiciones adecuadas de riego los que produjeron los mayores rendimientos  $235.4 \text{ ton ha}^{-1}$  y  $218.3 \text{ ton ha}^{-1}$  respectivamente; y los tratamientos que estuvieron bajo estrés hídrico obtuvieron los menores rendimientos, T2 produjo  $166.7 \text{ ton ha}^{-1}$  y T1 estadísticamente fue el que obtuvo el menor rendimiento con  $163 \text{ ton ha}^{-1}$ . Los resultados del efecto del IEHC coinciden con los obtenidos por Yazar *et al.*, (1999), Orta *et al.*, (2002), Erdem *et al.*, (2005, 2006) y López-López *et al.*, (2009).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede distinguir que ambos índices indican el nivel de estrés que presentan las plantas, coincidiendo en que cuando se presentan valores altos de IGD e IEHC las plantas manifiestan daños en su crecimiento vegetativo y producción de materia seca que trae como consecuencia bajos rendimientos de los cultivos. Figura 4.



**Figura 4.** Efecto de los índices IEHC e IGD en el rendimiento de cultivo de tomate hidropónico, período Julio-Agosto 2011  
 Sin embargo, el IGD solo nos muestra que la temperatura de la hoja es superior o inferior que la temperatura del aire dependiendo de la cantidad de riego que se está aplicando y en cambio, el IEHC indica el nivel de riego necesario para mantener la temperatura óptima de la planta. En este experimento, en los diferentes niveles de drenaje, el IGD nos dio un valor de grados día acumulados en un período de tiempo determinado diferenciando al cultivo cuando es regado suficientemente para mantener la temperatura de la hoja menor que la temperatura del aire tal y como ocurrió en los tratamientos T3 y T4 y demuestra que en los tratamientos T1 y T2 el comportamiento de la temperatura de la hoja fue superior que la temperatura del aire.

En cambio, conociendo los límites de las líneas base inferior y superior del cultivo de tomate bajo invernadero se puede calcular el IEHC y así manejar un nivel de riego en el cual las plantas están en condiciones óptimas para su desarrollo y mejora la eficiencia del uso del agua tal y como ocurrió en el T4.

## CONCLUSIONES

El efecto que tiene el estrés hídrico sobre el desarrollo de los cultivos es perjudicial cuando está presente en periodos de tiempo prolongados, las plantas detienen su crecimiento por las altas temperaturas internas, sus procesos fisiológicos se detienen y afecta drásticamente su desarrollo por lo que se debe tener especial atención en la programación de riegos y evitar pérdidas en los rendimientos de los cultivos.

La importancia de este estudio fue la obtención de los límites de las líneas base superior e inferior para el cálculo del IEHC en la producción de tomate de invernadero con lo cual se puede analizar el nivel de estrés que presentan las plantas cuando están expuestas en condiciones adversas de desarrollo.

Analizando ambos índices de estrés hídrico, se concluye que el IEHC es más preciso que el IGD si se requiere conocer la cantidad de agua diaria necesaria para aplicar a los cultivos coincidiendo en que cuando se presentan valores altos de IGD y IEHC las plantas manifiestan daños en su crecimiento vegetativo y generativo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bucks, D. A., Nakavamma, F. S., French, O. F., Regard, W. W., Alexander, W. L. (1985). Irrigated guayule evapotranspiration and plant water stress. *Agricultural water management* 10: 61-79.
- Erdem Y., Erdem T., Orta A. H., Okurosy (2003) H. Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI) Faculty of Agriculture, Department of Farm Structure and Irrigation, University of Trakya, 59030 Tekirdag-Turkey.
- Erdem T., Orta A. H., Erdem Y., and Okursoy H.(2005). Crop water stress index for potato under furrow and drip irrigation systems. Faculty of Tekirdag, Agriculture, Department of Farm Structures and Irrigation, University of Trakya, 59030 Tekirda~ Turkey
- Erdem Y., Erdem T., Orta A.H. & Okursoy H. (2006). Canopy-air temperature differential for potato under different irrigation regimes, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 56:3, 206-216
- González M. P., Moran M. S., Mateos L., Bryant R. (2005). Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. Centro de Investigación y Formación Agraria, IFAPA, Alameda del Obispo s/n, 14071 Córdoba, Spain. *Irrig Sci.* DOI 10.1007/s00271-005-0023-7
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J., Hatfield. J. L.1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*: 24: 45-55.
- Idso, S. B. (1982). Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* 27: 59-70.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., Pinter P. J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17: 1133.
- Jackson, R. D. (1982). Canopy temperature and crop water stress. In *Advances in Irrigation*, Volume 1. D.I. Hillel, Editor. Academic Press. p. 43-85.
- López- López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., López-Cruz, I. L., Sánchez -Cohen, I., Ruiz-García, A. (2009). Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de cáscara (*physalis ixocarpa* Brot.)*Revista Chapingo. Serie horticultura*, Vol. 15, Núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 259-267 Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Mazariegos, S. S. (2006). Programación del riego en base a diferencias térmicas entre el follaje y el aire en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero en dos medios de producción (suelo y perlita). Tesis de licenciatura. UAAAN.
- Orta A.H., Erdem T., Erdem Y. (2002). Determination of water stress index in sunflower. Department of Farm Structure and Irrigation, Faculty of Tekirdag Agriculture, University of Trakya, 59030 Tekirdag, Turkey. *Helia*, 25, Nr. 37, p.p. 27-38
- San Martín J.P. y Acevedo E. (2001) Temperatura de canopia, CWSI y rendimiento en genotipos de trigo. Laboratorio de relación suelo-agua-planta. Facultad de ciencias agronómicas. Universidad de Chile.
- Yazar A., Howell T. A., Dusek D. A., Copeland K. S. (1999). Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. Department of Irrigation and Agricultural Structures, Cukurova University, TR-01330 Adana, Turkey.