

TEMPERATURA FOLIAR DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y AIRE INFLUENCIADA POR EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR

Leaflet temperature of lettuce (*Lactuca sativa*) and air influenced by the vapor pressure deficit

Marcelo Tarqui Delgado¹; Freddy Carlos Mena Herrera²; Juan Javier Quino Luna²; Susana Gutiérrez Villalobos³; Ronald Reynaldo Coela Poma³

RESUMEN

El índice de estrés hídrico del cultivo (IEHC), es la determinación de la tasa de transpiración del cultivo y el déficit de presión de vapor. El IEHC se basa en la teoría del balance de energía en una superficie, que se puede relacionar con las funciones lineales del diferencial de temperatura entre el cultivo, aire y déficit de presión de vapor, el cual a partir de la termometría infrarroja que es una herramienta para la estimación del estrés hídrico, la programación del riego. El objetivo fue determinar la relación e influencia entre la diferencia de temperatura del cultivo y del aire con el déficit de presión de vapor en el cultivo de la lechuga, para comprobar la existencia de una correlación estadística entre las variables en ambientes atemperados para determinar el IEHC a través de diferentes dosis de riego. El estudio se realizó en ambiente controlado, estableciendo un diseño experimental unifactorial con tres niveles de lámina de riego o láminas de reposición a 50, 75 y 100 % de la ET_c, en la Estación Experimental de Cota Cota, Universidad Mayor de San Andrés, en los meses de mayo, junio y julio, se usó de termómetro infrarroja, para obtener la temperatura de cultivo y las variables climáticas se obtuvieron con una estación automática DAVIS, se realizó el análisis estadístico y correlaciones estadísticas entre las variables. Los mejores tratamientos para determinar el IEHC, son las láminas de reposición de 100 y 75% de la ET_c, en cuanto a la diferencia de temperatura del cultivo y aire con el déficit de presión de vapor, presentando la relación para (lámina de riego 100%ET_c); $T_c - T_a = -2.9315 * DPV + 1.2851$, con un coeficiente de correlación de 0.72, el tratamiento de lámina de riego 75%ET_c, presenta el modelo de $T_c - T_a = -2.9623DPV + 1.2192$, con una correlación de 0.70.

Palabras clave: Índice de estrés hídrico del cultivo, termometría infrarroja, déficit de presión de vapor, temperatura de cultivo.

ABSTRACT

The index of water stress of the crop (IWSC), is the determination of the rate of transpiration of the crop and the deficit of vapor pressure. The IWSC is based on the energy balance theory on a surface, which can be related to the linear functions of the temperature differential between culture, air and vapor pressure deficit, which from the infrared thermometry that is a Tool for the estimation of water stress, irrigation programming. The objective was to determine the relationship and influence between the temperature difference of the crop and the air with the pressure deficit of steam pressure in the lettuce culture, to verify the existence of a statistical correlation between the variables in temperate environments to determine The IWSC through different doses of irrigation. The study was carried out in a controlled environment, establishing a unifactorial experimental design with three levels of irrigation sheet or replacement sheets at 50, 75 and 100% of the ET_c, at the Cota Cota Experimental Station, Universidad Mayor de San Andrés, in In the months of May, June and July, an infrared thermometer was used to obtain the culture temperature and the climatic variables were obtained with a DAVIS automatic station. Statistical analysis and statistical correlations between the variables were performed. The best treatments to determine the IWSC, are the 100% and 75% ET_c replacement sheets, in terms of the temperature difference of the crop and air with the vapor pressure deficit, with the ratio for irrigation laminate 100 %Etc); $T_c - T_a = -2.9315 * DPV + 1.2851$, with a correlation coefficient of 0.72, the treatment of irrigation sheet 75% ET_c, presents the model of $T_c - T_a = -2.9623DPV + 1.2192$, with a correlation of 0.70.

Keywords: Index of crop water stress, infrared thermometry, vapor pressure deficit, crop temperature.

¹ Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. marcelotarquidelgado@gmail.com

² Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

³ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la lechuga es susceptible a la carencia o ausencia de disponibilidad de agua ocasionando estrés hídrico, teniendo efectos en el desarrollo y rendimiento del cultivo (Montes, 2004). Su sistema radicular es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y no soporta un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve (PROMOSTA, 2005). Según INIFAP (2011), el cultivo requiere una lámina de riego de 50 cm, más 10 cm de lavado de sales. La lámina de riego puede ser distribuida en 6 mm diarios de agua durante los meses frescos (otoño-invierno) y 10 mm durante los meses cálidos (primavera verano). Como son volúmenes de agua muy pequeños, se sugiere aplicar riegos con intervalos de dos a tres días para prevenir alguna eventualidad en el funcionamiento del equipo que requiera reparación y evitar daños a la planta por estrés de humedad.

Una de las funciones de la superficie vegetal, a través de la evaporación de agua a la atmósfera, es funcionar como un estabilizador de la temperatura de las hojas ante la demanda evapotranspirativa del ambiente atmosférico. Jackson et al. (1981) presentaron la teoría del balance energético que separa la radiación neta en calor sensible del aire y calor latente que incide en la transpiración. Las mediciones de la temperatura foliar con termómetros infrarrojos es una herramienta importante para detectar el estrés hídrico en los cultivos (Cohén et al., 2005; Yuan et al., 2004).

La diferencia de temperaturas, de acuerdo a varias investigaciones (Jackson et al., 1981, Idso et al., 1986, Rojas, 2009), está directamente relacionada con el déficit hídrico en los cultivos agrícolas, por lo que es considerado como indicador de las condiciones de la planta que generalmente se asocia con problemas en el suministro de agua. Para obtener mediciones confiables de la temperatura infrarroja del dosel, la técnica se debe practicar en cultivos con cobertura completa, en condición de cielo despejado y relativamente sin viento (Turner, 1997), las variaciones que experimentan las condiciones del cultivo y del ambiente constituyen una generalidad durante el trabajo de relevamiento a campo. La influencia del déficit de presión de vapor, sobre las mediciones de la temperatura infrarroja del dosel evita esta dificultad para generar información de interés práctico (De la Casa et al. 2003).

El uso de la diferencia entre temperatura foliar y el aire para detectar estrés hídrico en las plantas está basada en dos principios; a) el adecuado riego del cultivo, el cual llega a transpirar a su potencial máximo, resultando que la temperatura de la hoja sea menor que la temperatura del aire, b) en el cultivo en que el déficit hídrico aumenta, la transpiración declina y la temperatura de la hoja aumenta relativamente a la temperatura del aire (Preston et al., 1992).

El Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (IEHC), es una medida de la transpiración que ocurre en una planta en el tiempo de medición, mediante el registro de la temperatura de la planta y el déficit de presión de vapor del agua. Este enfoque metodológico es necesario para la correcta programación del riego en campo abierto. Las mediciones del estrés hídrico de los cultivos en conjunto con sistemas eficientes de riego permiten incrementar el rendimiento a través de un manejo adecuado (Rutilo, 2009). El uso de la termometría infrarroja para medir el IEHC, es una herramienta confiable en la programación de riego, combinado con sistemas eficientes para maximizar la productividad de cultivos (López et al., 2009). Al respecto el método ha cobrado importancia por ser sencillo y práctico, consiste en obtener la temperatura del cultivo por medio del termómetro de rayos infrarrojo, permitiendo medir la diferencia entre la temperatura de aire y del cultivo (Rojas, 2009).

Es por estas razones que el objetivo de la investigación fue determinar la relación entre la diferencia de temperatura del cultivo y la temperatura del aire con el déficit de presión de vapor en el cultivo de la lechuga, a diferentes láminas de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro Experimental Cota Cota de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, en el municipio de La Paz, provincia Murillo, que se encuentra a 20 km de distancia de la ciudad de La Paz. Geográficamente situado a 16° 32' 04" latitud sur y 68° 03' 44" longitud oeste y una altitud de 3445 m s.n.m. La zona se caracteriza por presentar un suelo de textura franco arcilloso. El sector presenta una estructura media que permite la infiltración del agua (Guzmán, 2000).

El material vegetal utilizado fue semilla de lechuga variedad “Grand Rapid”, marca SEMINIS. Se realizó el almácigo de las semillas el 29 de abril y se obtuvieron las plántulas para el trasplante el 20 de mayo de 2015, las platabandas fueron de madera con drenaje, sustrato preparado y esterilizado en base a materia orgánica con estiércol ovino, tierra de lugar y arena homogenizada, el trasplante fue realizado el 21 de mayo y la cosecha fue el 21 de julio del 2015. El marco de plantación fue rectangular con dimensiones de 0.25 m entre hileras y 0.30 m entre plantas, obteniéndose una densidad de 13 plantas m⁻².

Las características físicas del suelo son densidad aparente de 1.10 y 1.20 g cm⁻³ a las profundidades de 10 y 30 cm, respectivamente; el porcentaje de humedad a capacidad de campo fue de 20.43% y el punto de marchitez permanente de 10.9%, donde el tiempo de infiltración de agua en el suelo es de 45.09 mm h⁻¹ de textura franco arenosa, las características químicas se muestran en la Tabla 1, el pH lo clasifica como suelo neutro y no salinos expresado en base a la conductividad eléctrica en extracto etéreo.

Tabla 1. Características químicas del suelo del área experimental.

Muestras	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	Cationes de cambio (meq 100 g ⁻¹ suelo)					N (%)	M.O. (%)	CaCO ₃ (%)	P (ppm)
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	TBI				
1	7.25	0.73	16.33	5.80	0.73	3.24	26.10	0.45	8.81	1.14	229.09
2	7.23	0.76	12.71	5.97	0.72	4.47	17.90	0.38	7.09	1.43	329.60
3	7.23	0.78	13.12	5.92	0.71	4.43	18.26	0.43	8.50	1.73	315.40

CE = Conductividad eléctrica; TBI = Total de bases intercambiables; Ca = calcio; Mg = magnesio; K = potasio; Na = sodio; MO = materia orgánica; N = Nitrógeno; P = Fósforo; CaCO₃ = Carbonato de Calcio; dS m⁻¹ = deciSiemens por metro; ppm = partes por millón.

Para la determinación de la relación entre la diferencia de las temperaturas del aire y cultivo con relación al déficit de presión de vapor (DPV), se realizó a través de tres tratamientos aplicando diferentes cantidades de riego establecidas en láminas aplicadas en 100%, 75% y 50% de la demanda evaporativa del cultivo. López et al. (2009), menciona que para determinar el límite superior e inferior de la ecuación se usa el método desarrollado por Idso et al. (1986), que considera los cambios en los límites inferior y superior debido a la DPV, este déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión de saturación a una temperatura de aire (e_s) y presión actual de vapor (e_a).

$$DPV = e_s - e_a \quad (1)$$

Dónde: e_s= presión de saturación a una temperatura de aire (kPa); e_a= presión actual de vapor (kPa).

La presión de vapor de agua a saturación e_s, en kPa es la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a una temperatura (°C), calculándose con la siguiente expresión.

$$e_s[T^\circ] = 0.611 \exp \left[\frac{17.27 T^\circ}{T^\circ + 237.3} \right] \quad (2)$$

Dónde: e_s= presión de saturación a una temperatura de aire (kPa), T°= temperatura de aire (°C).

La presión de vapor de agua actual (e_a), se calculó con el uso de la humedad relativa (HR) y despejando la expresión ya que se tiene como dato la presión de vapor de agua a saturación (e_s).

$$HR = \left[\frac{e_a}{e_s} \right] \times 100 \quad (3)$$

Dónde: HR= humedad relativa (kPa).

La determinación del límite inferior y superior del índice de estrés hídrico del cultivo se efectuó a partir de la diferencia de temperatura del cultivo y del aire circundante, como variable dependiente, relación de DPV como variable independiente, a través de la regresión lineal se obtuvo la ecuación bajo la siguiente expresión:

$$T_c - T_a = a + b * DPV \quad (4)$$

Dónde: T_c - T_a = diferencia de temperatura de cultivo y aire circundante (°C); DPV = déficit de presión de vapor (kPa); a = intercepto; b = pendiente de la ecuación.

El límite inferior se determinó a partir del tratamiento de lámina de riego 100% de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) donde se consideró, que las temperaturas del cultivo son menores que las temperaturas del

aire, es decir un cultivo con transpiración, sin estrés hídrico y bien regado. El límite superior se obtuvo a partir de mediciones realizadas en el tratamiento de lámina de riego 50% ETc, que es severamente estresado por el déficit hídrico con problemas de transpiración considerando que la temperatura de cultivo es mayor que la de aire.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encuentra una relación entre el déficit de presión de vapor, con la diferencia de la temperatura del cultivo y el aire, para las láminas de riego de 100% y 75% de la demanda evaporativa del cultivo, a diferencia del tratamiento de 50% ETc el cual disminuye el coeficiente de correlación.

Para el análisis y determinación del límite inferior se comparó las variables obtenidas de la diferencia entre la temperatura de cultivo y el aire circundante, se utilizó el déficit de presión de vapor para el horario donde se realizó la medición de 10:00 am a 4:00 pm en los meses de mayo, junio y julio, se obtuvo el parámetro de la variable dependiente (diferencia de temperatura) y variable independiente (déficit de presión de vapor), la temperatura cultivo se midió apuntando diagonalmente hacia el cultivo (aproximadamente 45° a la horizontal y una distancia de 35 centímetros) y de todas las cuatro direcciones cardinales, N, E, S, W, al

mismo tiempo se midió la temperatura del aire (Rojas, 2009).

Se tomaron datos de temperatura cultivo con un termómetro infrarrojo Modelo HER-425 en forma de pistola y variables climáticas a través de la estación automática Davis en horarios de 8 a 18 horas, durante el periodo fenológico de la planta, los datos climáticos fueron descargados por el software, (WeatherLink 5.9.0) para su tratamiento.

El procesamiento de los datos fue mediante el análisis estadístico, resultado del tratamiento uno (lámina de riego 100%ETc), se obtuvo el modelo $T_c - T_a = -2.9315 * DPV + 1.2851$, con un coeficiente de determinación de 0.5151 y una aceptable relación entre las variables con coeficiente de correlación de 0.7177, el tratamiento dos (lámina de riego 75%ETc), determinó la relación importante existente entre el déficit de presión de vapor con la diferencia de la temperatura del cultivo y aire, el modelo obtenido es $T_c - T_a = -2.9623 DPV + 1.2192$ con un coeficiente de determinación de 0.4918 y coeficiente de correlación de 0.7014. El tratamiento tres (lámina de riego 50%de la ETc), presento el modelo de $T_c - T_a = -1.6541x + 4.5623$ con un coeficiente de determinación de 0.2376 y coeficiente de correlación de 0.4874, observándose que no existe una correlación existiendo una mayor variabilidad en este último tratamiento entre la variables estudiadas (Figura 1,2 y 3).

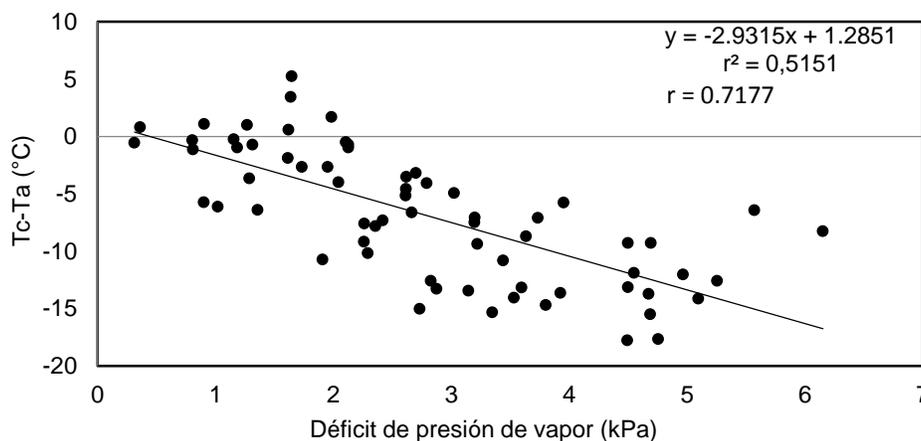


Figura 1. Límite inferior del cultivo de lechuga lámina de reposición de 100%ETc (Cultivo bien regado con evapotranspiración).

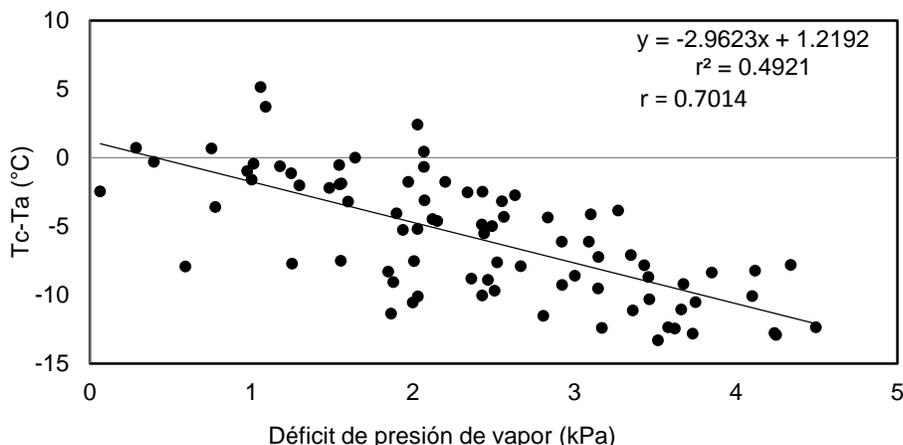


Figura 2. Límite inferior del cultivo de lechuga lámina de reposición de 75%ETc.

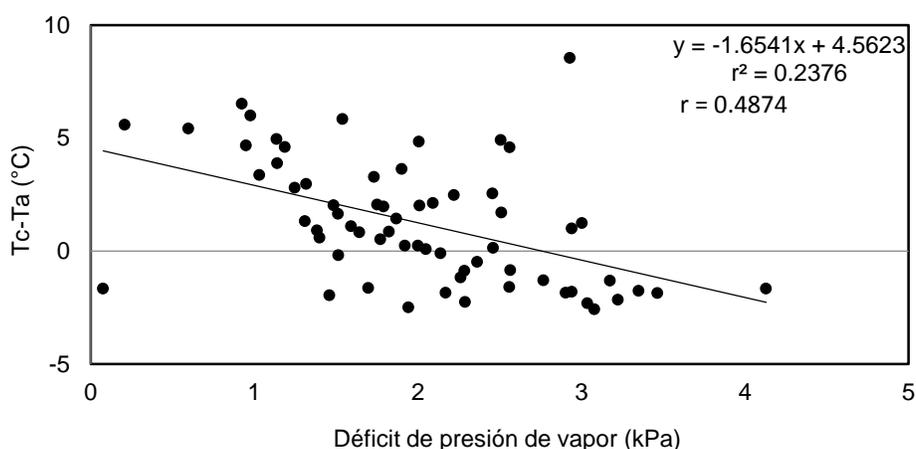


Figura 3. Límite inferior del cultivo de lechuga lámina de reposición de 50%ETc.

Los valores recomendables para la obtención de la línea base, del índice de estrés hídrico son los tratamientos de 100% y 75% de acuerdo al requerimiento hídrico del cultivo, en cuanto a la variabilidad existente en el tratamiento tres, de lámina de riego 50% ETc, es debido a que el cultivo se encuentra en estrés hídrico, existiendo un cierre estomático parcial en cada planta, el cual en base a ello existe una variabilidad en la temperatura del cultivo menos el ambiente.

Cuando un cultivo presenta estrés hídrico, los estomas se cierran y la transpiración decrece por lo que la temperatura de la hoja se incrementa. Cuando una planta transpira completamente, no hay estrés hídrico y la temperatura de la hoja oscila de 1 a 4 °C menos que la temperatura ambiental; en este caso el IEHC es cero. Cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 a 6 °C más que la temperatura del aire (López et al., 2009). En este caso, el déficit hídrico es alto, y la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida con el incremento de la temperatura foliar; cuando la planta está muerta

o no transpira en mucho tiempo el IEHC es uno (Jackson et al., 1986).

Preston (1992), menciona que el cultivo bien irrigado transpira a su potencial máximo, con el resultado de que la temperatura de foliar sea más baja que la temperatura del aire, al relacionarlo con el DPV, de los tratamientos 100% y 75% de ETc.

López et al. (2009), indican que un valor del déficit de presión de vapor (DPV), igual a cero muestra que el aire contiene el máximo vapor de agua posible (humedad relativa=100 %). El límite inferior del IEHC cambia en función de la presión de vapor debido al DPV. El IEHC varía entre los valores de cero y uno cuando las plantas se someten a condiciones apropiadas de riego hasta condiciones totalmente de estrés hídrico. El rango que se sugiere que varíe el DPV es de 1 a 6 kPa, para definir la línea base que puede ser usada en otras localidades, Gardner y Shock (1989). De acuerdo con el método propuesto por Idso (1982) reportó la siguiente relación para el cálculo del límite inferior en el cultivo de lechuga

$T_c - T_a = -2.96 * DPV + 4.18$ para el índice de estrés hídrico del cultivo.

El estrés hídrico es el primer factor a considerar sospechoso para la existencia una mayor variabilidad entre la diferencia de temperatura del cultivo y ambiente, frente al DPV pero de la misma manera hay que tomar en cuenta otros factores como la deficiencia de nutrientes, plagas o problemas en el suelo. Otros factores donde se toma en cuenta las mediciones con termómetros infrarrojos el cual son confiables y no invasivo con la desventaja que se toman de unos pocos puntos y la uniformidad de la humedad del suelo para largas áreas puede no ser uniforme (Cohen et al., 2005).

Se debe tomar en cuenta el uso de los instrumentos (Garrity y OToole, 2005) en cuanto a los factores micro climáticos, tomar mayor atención a la temperatura del cultivo, sobre todo donde la cubierta o área foliar del cultivo no es uniforme, porque se puede medir indistintamente la temperatura del suelo Moran et al. (1994). De acuerdo Martin et al. (1994), encontraron que hay que tomar en cuenta la radiación solar y la velocidad del viento.

CONCLUSIONES

Los modelos recomendados que presentan una correlación estadísticamente alta, entre la diferencia de temperatura del cultivo y aire con el DPV, para la determinación del límite inferior del índice de estrés hídrico del cultivo (IECH), para la programación de riego, donde los tratamientos de lámina de riego 100%ET_c y 75%ET_c son los más recomendables, con coeficientes de correlación 0.72 y 0.70, existiendo una mejor relación entre las diferencias de temperatura del cultivo y aire con el déficit de presión de vapor.

BIBLIOGRAFÍA

Cohen, Y., Alchanatis, V., Meron, M., Saranga, Y., Tsipris, J. 2005. Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. *Journal of Experimental Botany* 56: 1843-1852.

De la Casa, A., Ovando, G., Rodríguez, A., Bressanini, L. 2003. Revista técnica Agrícola. Evaluación del estrés hídrico en papa con datos de termometría infrarroja y humedad de suelo. Chile.

Garrity, D.P., OToole, D. 2005. Selection for reproductive stage drought avoidance in rice, using infrared thermometry. *Agronomy Journal* 87: 773-779.

Gardner, B. R., y Shock, C.C. 1989. Interpreting the crop Water Stress Index. A.S.A.E. pp 2642.

Guzmán, A. 2000. Comportamiento agronómico de tres variedades de cebolla (*Allium cepa* L.) con la aplicación de cuatro abonos orgánicos en la zona de Cota Cota. Tesis de licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 93 p.

Idso, S.B., Clawson, K.L. 1986. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assesment and the CO₂/Climate connection. *Water Resources Research*, 22(12): 1133-1138.

Idso, S. 1982. Non – water – stressed baselines, a key to measuring and enterpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27: 59 – 70.

INIFAP. 2011. Fertirrigación en el Cultivo de lechuga en Guanajuato. Mexico, Guajuato. pp. 32.

Jackson, R.D., Idso, S., Reginato, R. J., Pinter, P. J. 1981. Canopy Temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research* 17:1133.

Jackson, R.D., P.J. Pinter., Reginato, R. J., Idso, S. 1986. Detection and evaluation of plant stresses for crop and management decisions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 24: 99 – 106.

López, R., Arteaga R., Vázquez, M., López, I., Sánchez, I. 2009. Evapotranspiración del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) estimada mediante el potencial mátrico del suelo husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) Crop Evapotranspiration Estimated by Soil Matric Potential. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (2): 157 – 168, 2.

López, R., Arteaga R., Vázquez, M., López, I., Sánchez, I. 2009. Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Rev. Agricultura Técnica en México*. Vol. 35 Núm.1, p. 97-111.

Martin, D.L., Whener, D.J., Throssell, C.S. 1994. Models for predicting the lower limit of the canopy-air temperature difference of two cool season grasses. *Crop Sci.* 34: 192-198.

Montes, R, A. 2004 Evaluación agronómica de 5 cultivares de lechuga en condiciones de invernadero. Tesina de licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. Facultad de Agronomía.

Preston, K.A., Chalmers, D.J., Moremong, M. 1992. Canopy air temperature difference and soil water as predictors of water stress of Apple trees grown in a humid, temperate climate. *J. Amer.Soc.Hort.Sci.* 117: 453 – 458.

Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, A. Vidal. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 49: 246-263.

PROMOSTA (Proyecto de Modernización de los Servicios de la Tecnología Agrícola), 2005. Guías

tecnológicas de frutas y vegetales. Editorial Universidad de Costa Rica. Costa Rica. pp. 11.

Rojas, M. 2009. Determinación del momento de riego mediante la temperatura de la cobertura cultivo en el cultivo de jitomate, bajo condiciones de invernadero. Tesis doctoral. Texcoco, México.

Rutilo A. 2009, Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Primera Edición. Champingo, México.

Turner, N.C. 1997. Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 58:293-338.

Yuan, G.Y., Luo, X., Sun, S., Tang, D. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in Winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 64: 29-40.

Artículo recibido en: 28 de marzo 2017

Aceptado en: 30 de mayo 2017