

**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN EQUIPO PARA MONITOREO DE LA TEMPERATURA FOLIAR DE UN CULTIVO DE JITOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) EN INVERNADERO

**Antonio Martinez-Ruiz^{1*}, Julio Torres-Sandoval², Cándido
Mendoza-Perez³, Agustín Ruiz-García⁴, José Guillermo
Cebada-Reyes⁵, Rutilo López López⁶**

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Fecha 16/octubre/2018



SEDRAE
SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL
Y AGROEMPRESARIAL

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**



AMERD
ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE RIEGO Y DRENAJE, A.C.



SM GEODIM
MODELOS DE INFORMACIÓN DE LA TIERRA



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



INTRODUCCIÓN

Medir con precisión la temperatura de los cultivos, puede ayudar a entender las relaciones entre la energía interna, estado fisiológicos y factores ambientales. La temperatura de la hoja afecta al balance de energía en los cultivos y a las tasas de varios procesos fisiológicos tales como la respiración, fotosíntesis, y transpiración (Miller, 1971).

El déficit hídrico es uno de los factores más importantes que limitan el rendimiento de los cultivos, por lo tanto, el monitoreo del estado hídrico es importante para dar riegos razonables y ahorro de agua por los cultivos.



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



OBJETIVO

- Desarrollar un equipo de bajo costo para el monitoreo de la temperatura foliar en un cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del cultivo

La investigación se realizó a cabo en un invernadero tipo capilla de vidrio de 8 x 8 m y en otro invernadero tipo cenital de plástico de dimensiones de 8 x 15 m, ambos localizados en la Universidad Autónoma Chapingo.

Se establecieron dos cultivos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivar “CID F1” durante la estación otoño-invierno y primavera-verano, en sistema hidropónico, usando como sustrato tezontle, con una densidad de siembra de 3.5 plantas por m². El primer cultivo se trasplantó el 21 de agosto de 2015 y el segundo el 24 de abril de 2016.



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Desarrollo e instalación del equipo

El sistema está conformado por cinco sensores infrarrojo modelo MLX 90614 (rangos de temperaturas de -20 a 120 °C con resolución de 0.14 °C). Las mediciones de los sensores se almacenaron en una memoria flash microSD, las mediciones se mostraron en una pantalla LCD de 16x4. Los sensores, el adaptador de memoria, la pantalla LCD y el reloj de tiempo real se conectaron a un microcontrolador Arduino Mega modelo ATmega 2560. El circuito armado se insertó en un contenedor de plástico para protección y para facilitar la instalación en el cultivo. Alimentado de un convertidor-regulador de voltaje de 9 Volts de salida (Figura 1).



Figura 1. Fase de prueba del prototipo



**IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE**
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



Variables medidas

Para comparar los datos de la temperatura foliar medido por el equipo de sensores infrarrojos, se instalaron 4 termopares tipo T (rango de medición -260°C a 400°C , precisión de $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$) uno en cada hoja, dos ubicados en la parte media de la planta y dos a 30 cm arriba de la parte media, insertados en la nervadura del envés de las hojas que alcanzaron la madurez fisiológica, conectados a un dataloger modelo UX100-014 para el almacenamiento de los datos.

Los sensores del equipo desarrollado se instalaron a una distancia de 20 cm y 45° sobre las hojas muestreadas.

se registraron datos del 06 al 21 de noviembre de 2015 para el ciclo de otoño-invierno (Figura 2) y del 02 al 08 de junio de 2016 para el ciclo de cultivo de primavera-verano (Figura 3)

La transpiración se midió con un lisímetro de pesada con una balanza marca sartorius COMBICS 3 (150 kg, ± 2 g de precisión).



Figura 2. Instalación de los sensores infrarrojos y termopares Tipo T en el cultivo otoño-invierno



Figura 3. Monitoreo del cultivo de jitomate con el equipo de sensores infrarrojos durante primavera-verano





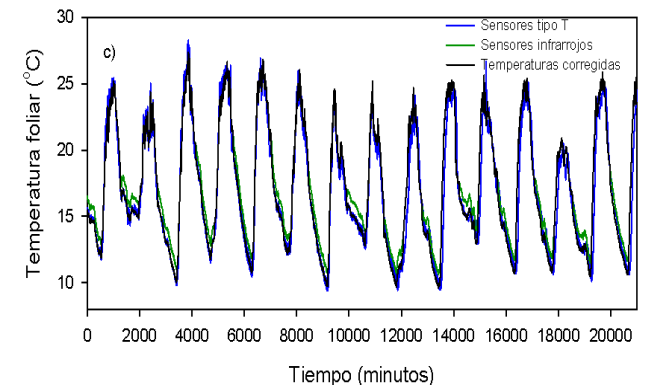
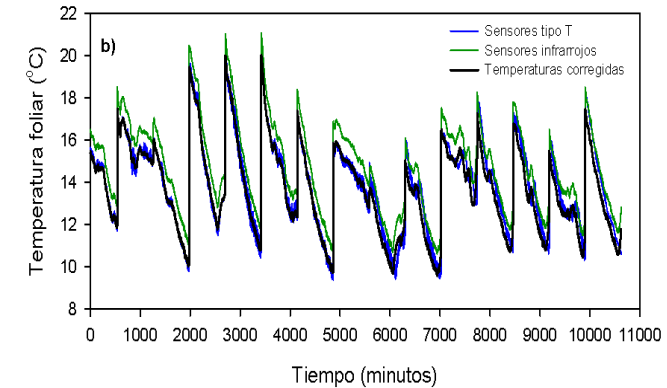
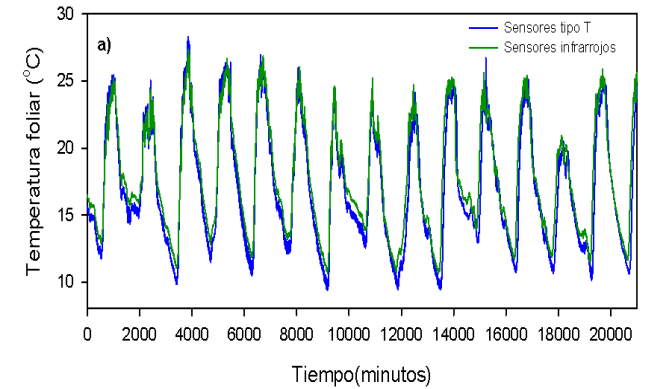
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4 a) se muestran los valores registrados de temperatura foliar en °C por los sensores termopares tipo T y el equipo construido con sensores infrarrojos.

los valores menores a 18°C, registrados por el equipo son ligeramente superiores a los termopares tipo T, por lo que fue necesario buscar el valor de temperatura para ajustar estas diferencias y hacerlas coincidir con los sensores testigos (Figura 4b).

El valor de ajuste para las temperaturas nocturnas fue de 1.03 °C, resultado de un análisis de frecuencia de las desviaciones entre los sensores testigos y el equipo construido, tomándose el promedio de los valores del percentil 75 (Figura 4c)

Figura 4. Valores de temperatura foliar de los termopares tipo T y sensores infrarrojos a) durante el día sin correcciones, b) durante la noche y c) durante el día con correcciones



La figura 5a y 5b) muestran la dispersión de los pares de datos de los sensores testigos (termopares tipo T) y el equipo construido con sensores infrarrojos antes y después de hacer las correcciones de los datos registrados durante la noche.

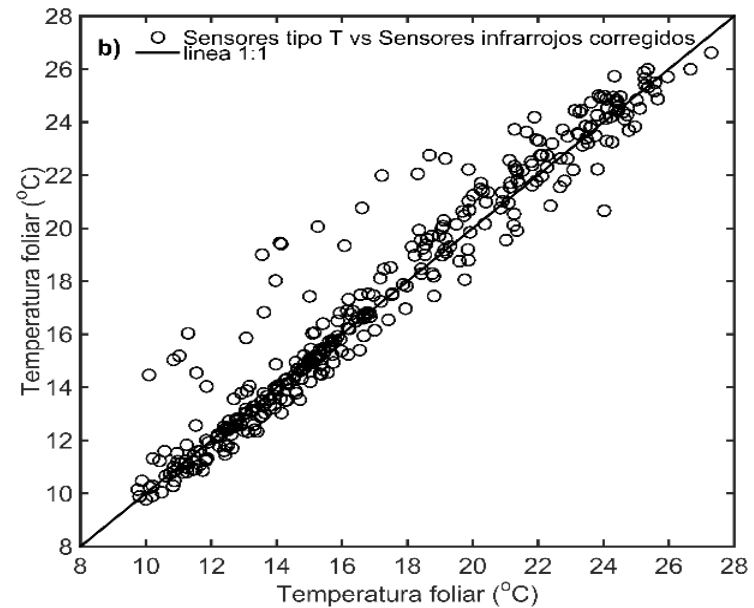
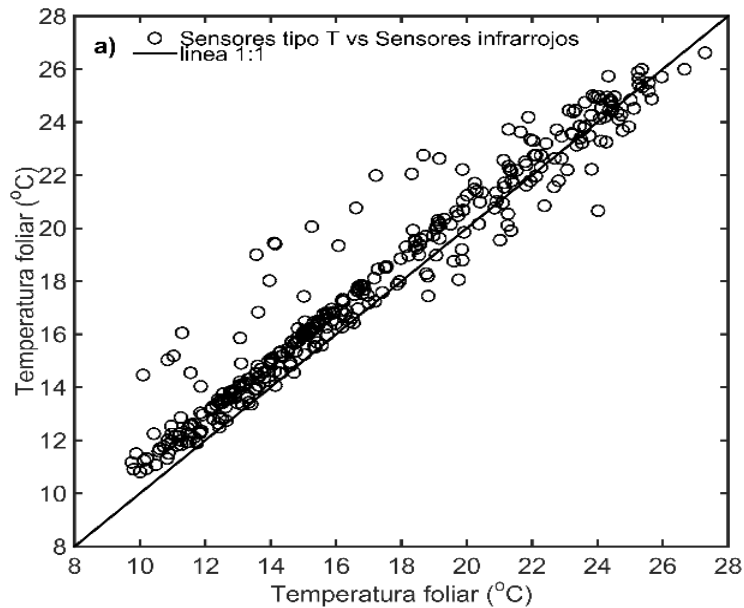


Figura 5. Valores promedio de cada hora de temperatura foliar de los termopares tipo T y sensores infrarrojos, a) sin corrección y b) con correcciones

En este caso no hubo diferencias en los estadísticos de RMSE (0.94) y en R2 (94%), pero si en el valor de sesgo paso de -078 (sobrestima) a 0.27 (subestima ligeramente)



En la figura 6 y 7 se presentan los datos de temperatura del aire y la temperatura del cultivo, así como las diferencias entre estas, para los dos bloques de datos.

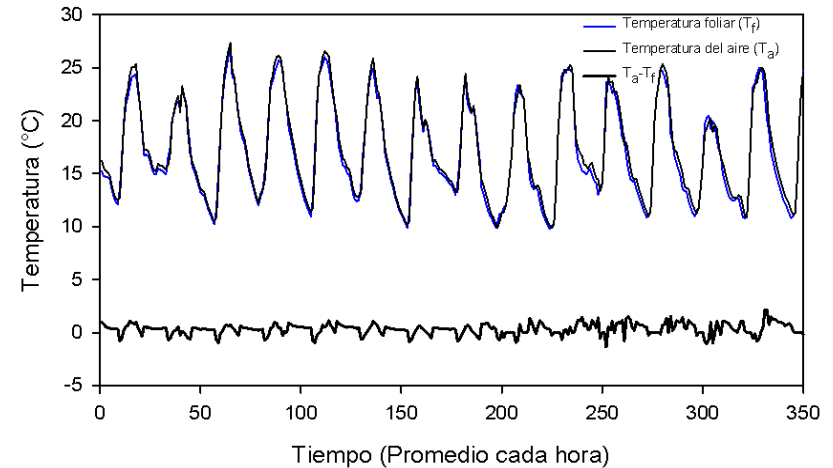


Figura 6. Temperatura foliar (T_f), temperatura del aire (T_a) y diferencias entre la temperatura del aire y temperatura foliar ($T_a - T_f$) del 6 al 21 de noviembre del 2015.

Donde se observa que las diferencias son más marcadas para el cultivo de la estación de primavera verano, cabe resaltar que ambos cultivos se manejaron en condiciones sin restricción de agua y nutrimentos.

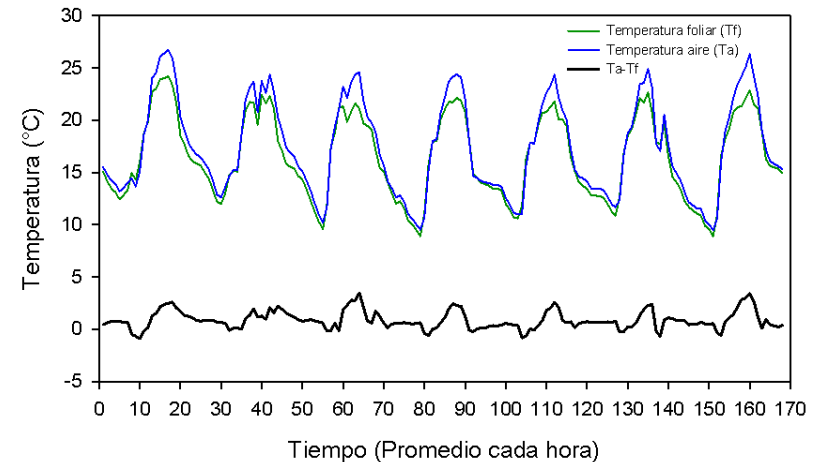


Figura 7. Temperatura foliar (T_f), temperatura del aire (T_a) y diferencias entre la temperatura del aire y temperatura foliar ($T_a - T_f$) del 02 al 08 de junio del 2016.



Para el ciclo otoño invierno los valores de humedad relativa en la mayoría de los días están por encima del 65%, mientras que para el ciclo primavera verano se registraron valores hasta de 30%. Probablemente las casi nula diferencias encontradas para los datos de temperatura del aire y de la hoja durante otoño invierno haya sido a la alta humedad relativa registrada en el interior del invernadero.

Con la figura 8 se corrobora que las pocas diferencias encontradas entre la temperatura foliar y del aire durante otoño-invierno es debido a la alta humedad relativa más que el nivel de radiación

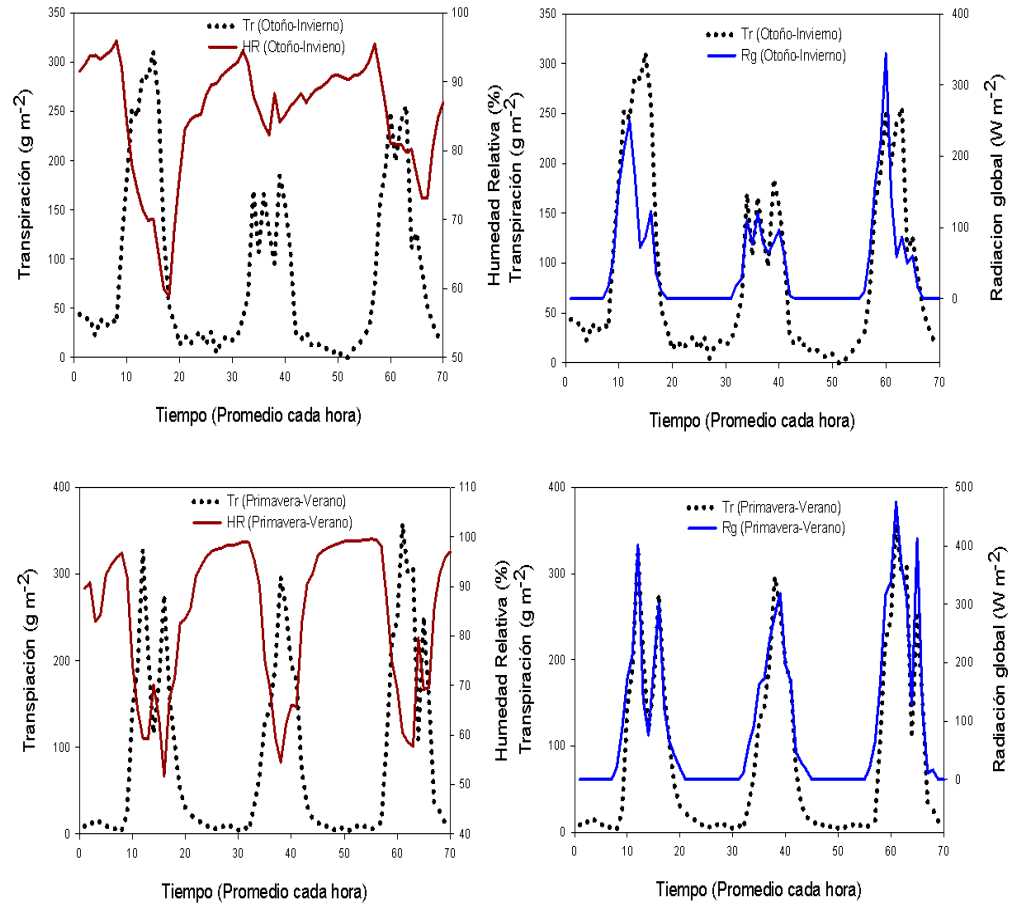


Figura 8. Humedad relativa, radiación global y transpiración para tres días del ciclo otoño-invierno y primavera-verano.



IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



CONCLUSIONES

- El equipo es factible de ser aplicado para fito-monitoreo, para medición de la temperatura foliar como indicador del estado hídrico del cultivo en la programación de riegos a partir de caracterizar el índice de estrés hídrico.
- Las mediciones con el equipo desarrollado mostraron mayor estabilidad en las mediciones que los sensores termopares tipo T.
- Los sensores infrarrojos no están en contacto con las hojas como en el caso de los termopares que constantemente se tienen que cambiar de hoja por la necrosis provocada en el punto de inserción.
- este equipo es de bajo costo se requiere una inversión de aproximadamente 2500 pesos además de que se pueden conectar más de cinco sensores, comparado con el costo de los termopares tipo T que supera los 10000 pesos y con una cantidad limitada de sensores conectados en el dataloger.

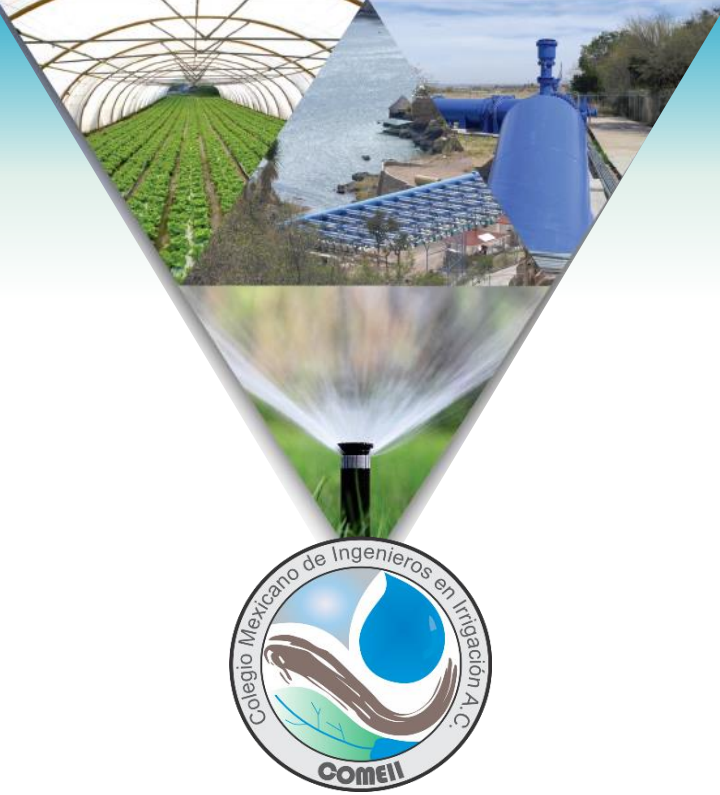


IV CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE
Del 15 al 18 de Octubre del 2018, Aguascalientes, Ags.



REFERENCIAS

- Çolak, Y. B., Yazar, A., Çolak, İ., Akça, H., & Duraktekin, G. (2015). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 372–382.
- Isoda, A. (2010). Effects of water stress on leaf temperature and chlorophyll fluorescence parameters in cotton and peanut. *Plant Production Science*, 13(3), 269–278.
- 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*, 15(3), 259–267.
- Lu Y., Wenly W., Zhang X., Zheng W. 2016. A review on leaf temperatura sensor: measurement methods and applications. *Computer and computing technologies in agriculture IX*.
- Martínez-Ruiz, A., López-Cruz, I. L., Ruiz-García, A., & Ramírez-Arias, A. (2012). Calibración y validación de un modelo de transpiración para gestión de riegos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, núm. 4, noviembre-diciembre, 2012, pp. 757-766 Instituto Nacional de Investigaciones. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (4), 757–766.



Gracias

DR. ANTONIO MARTINEZ RUIZ
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP)

Correo: amartinezr8393@gmail.com

