

AUTOMATIZACIÓN DE RIEGO MEDIANTE UN LISIMETRO DE PESADA EN INVERNADERO PARA CHILE HUACLE (*Capsicum annum* L.)

Magali Ismene González-Rivas^{1*}; Antonio Ramírez-Ruíz²; Carlos Ramírez-Ayala³; Carlos Trejo¹; Carlos Ramírez-Ayala¹; Ebandro Uscanga-Mortera¹; Cecilia Peña-Valdivia¹; Enrique García-González⁴.

¹Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Posgraduados. Km. 36.5, Montecillo, Estado de México, CP. 56230. México.

* gonzalez.magali@colpos.mx - 5563402973

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CIRPAS- C.E. Valles Centrales, Calle Melchor Ocampo #7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca, C.P. 29140. México.

³Posgrado en Hidrociencias, Campus Montecillo, Colegio de Posgraduados. Km. 36.5, Montecillo, Estado de México, CP. 56230. México.

⁴Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Av. V. Guerrero 81, 1er. Piso, Col. Centro, Iguala de la Independencia, Guerrero, C.P. 40000. México

Resumen

La programación de riego en invernadero se enfoca en ¿Cuándo? y ¿Cuánto? de agua aplicar a las plantas. Este consumo depende de la evapotranspiración, que está en función de las condiciones climáticas, fenología de las plantas y características del sustrato. El lisímetro es un método directo para estimar la evapotranspiración, es el más exacto, pero de alto costo y nivel técnico. El automatizar con este dispositivo tiene la ventaja de reducir la mano de obra, solución de problemas de horario, ahorro de agua, y aportación de agua en tiempo real. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema automatizado, a partir, de un lisímetro de pesada, para proveer agua al cultivo de chile huacle mediante el riego por goteo para un sistema de producción en sustrato (tezontle) en invernadero. Este dispositivo se conformó de una báscula digital donde se colocó la planta a muestrear, los datos se recibieron y almacenaron en un ordenador y se programó el algoritmo para detectar una evapotranspiración propuesta (acumulada), con esto generar una señal (*setpoint*) en una tarjeta @Arduino-Uno y mediante un relevador accionar la bomba de agua del sistema de riego. La masa de agua recuperada a través del suministro por el riego (*setpoint*) fue la señal de apagado del sistema. Las pruebas se realizaron exitosamente en un invernadero del Colegio de Posgraduados durante 29 días consecutivos. Los valores de evapotranspiración y riego se compararon con el déficit de presión de vapor, confirmando la alta correlación que existe la demanda hídrica con esta variable.

Palabras claves: Programación de riego, Evapotranspiración, déficit de presión de vapor.

densidad de siembra, D_s . Entre más corto sea el intervalo de tiempo, en el cálculo, el error por la influencia del crecimiento de la planta es menor.

Para la programación del dispositivo, se utilizó el programa Visual Studio, donde se recopilaron los valores registrados en la balanza. La programación se basó en dos parámetros de masa: la primera masa de la planta en un tiempo 1 (M_1), al pasar 10 segundos se registra la segunda masa (M_2), con estos valores (M_1 y M_2) se calcula la evapotranspiración uno (E_1) con la ecuación propuesta anteriormente. E_1 se suma a la evapotranspiración anterior (E_a) para obtener la evapotranspiración acumulada (E). E se compara con el déficit de evapotranspiración propuesto por el usuario (DR). Hay dos opciones: 1) Cuando la evapotranspiración acumulada no alcanza el déficit ($E < DR$) la evapotranspiración anterior se sigue acumulando, y se continua con medición de las masas y cálculos de las evapotranspiraciones cada 10 segundos. 2) Si se alcanza este déficit ($E > DR$), se manda una señal al @Arduino-uno y este al relevador para encender la bomba que está conectado al sistema de riego por goteo. El agua brindada provoca que aumente la masa de la planta, la bomba se apaga cuando la masa alcanza la suma de la última masa medida (M_2) más el déficit de evapotranspiración establecido: $M_2 + DR$, en ese momento la evapotranspiración anterior (E_a) se programa a cero (porque se recuperó el riego) y se repite el ciclo.

El programa tiene una ventana (Figura 1) para que el usuario proporcione los datos de “Déficit de transpiración en kg”, que representa la evapotranspiración mínima que va a disminuir la planta, en este caso se propuso de 150 ml (0.15 kg); se propuso con el cálculo del agua fácilmente disponible para la planta, de la curva de retención de humedad para tezontle (una diferencia de 12.123% de humedad volumétrica, de 10 a 50 cm columna de agua). También te pide la “densidad de siembra (plantas/m²)”, en este caso al solo utilizar 1 que abarcaba toda el área de la balanza, se propuso un valor de 1. El programa guardo los valores de tiempo (fecha y hora), M_1 , M_2 , E y E_a cada 10 segundos en formato TXT.

Fe	Peso	Minuto Anterior	Minuto Posterior	Peso 1	Peso 2	Traspiracion	Traspiracion Acumulada	Estado
*								

Figura 1. Ventana disponible para que el usuario ingrese los valores requeridos.

La instalación se realizó en un invernadero dentro del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. Mex. La computadora se colocó dentro del invernadero protegida de madera blanca a su alrededor. La balanza, con la maceta y planta sobre el plato de pesado, se conectó al CPU de la computadora con un cable USB. Asimismo, el CPU se conectó al Arduino, que se comunicó con el relevador para encender una bomba de $\frac{3}{4}$ de caballo. De la bomba se conectó el sistema de riego por goteo (goteros autocompensantes de 4 L/h), cada gotero tuvo un distribuidor para cuatro estacas, colocando dos estacas en cada maceta, por lo

que cada maceta recibió un gasto de 2 L/h. Para las pruebas se utilizaron 50 macetas de 10 L con plantas de chile Huacle y como sustrato se utilizó tezontle de partícula media (tamaño medio de partícula de 2.01 mm).



Figura 2. Instalación de la báscula en el invernadero, conectada a la computadora y al sistema de riego por goteo para chile Huacle en Tezontle.

Al comenzar la prueba todas las macetas se establecieron a capacidad de maceta (10 cm ca: 35.38% Humedad volumétrica). La prueba se realizó durante 29 días consecutivos y con apoyo de un HOBO ® U12 se obtuvieron los valores de la temperatura y humedad relativa. Las primeras dos variables se utilizaron para calcular el déficit de presión de vapor, que se relacionó con el volumen de agua aplicado diario, para comprobar que la automatización estuviera funcionando de manera eficiente.

Resultados y Discusión

De los valores guardados en el dispositivo, como ejemplo el día 12 de la prueba (Figura 3) la evapotranspiración se mantuvo constante (igual) de 12 am a 6 am, a partir de esta hora la evapotranspiración aumentó, alcanzando el máximo valor a las 8 am (150 kg/m^2) donde dio el primer riego y la evapotranspiración regresó a cero, repitiendo el ciclo 5 veces más, terminando el último riego a las 7 pm, después la evapotranspiración volvió a ser constante (igual).

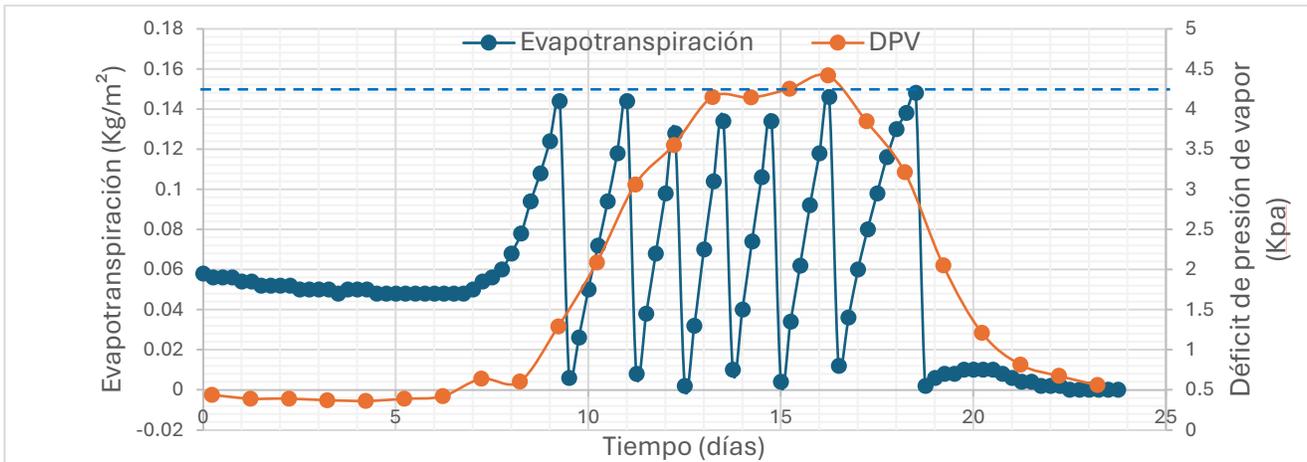


Figura 3. Evapotranspiración y riego registrados por el dispositivo durante 24 horas (línea azul). Déficit de presión de vapor (Naranja).

En la Figura 3 se observa la relación proporcional entre la evapotranspiración y el déficit de presión de vapor: entre mayor déficit de presión de vapor, mayor evapotranspiración y por consecuencia un mayor número de riegos.

El volumen de agua aplicada por planta durante los 29 días de prueba varía de un día a otro. En la Figura 4 se observa durante todos los días de prueba, como el volumen de agua aplicado por planta está relacionado con el déficit de presión de vapor: los días con mayor volumen de agua aplicado, tiene un mayor déficit de presión de vapor ambiental.

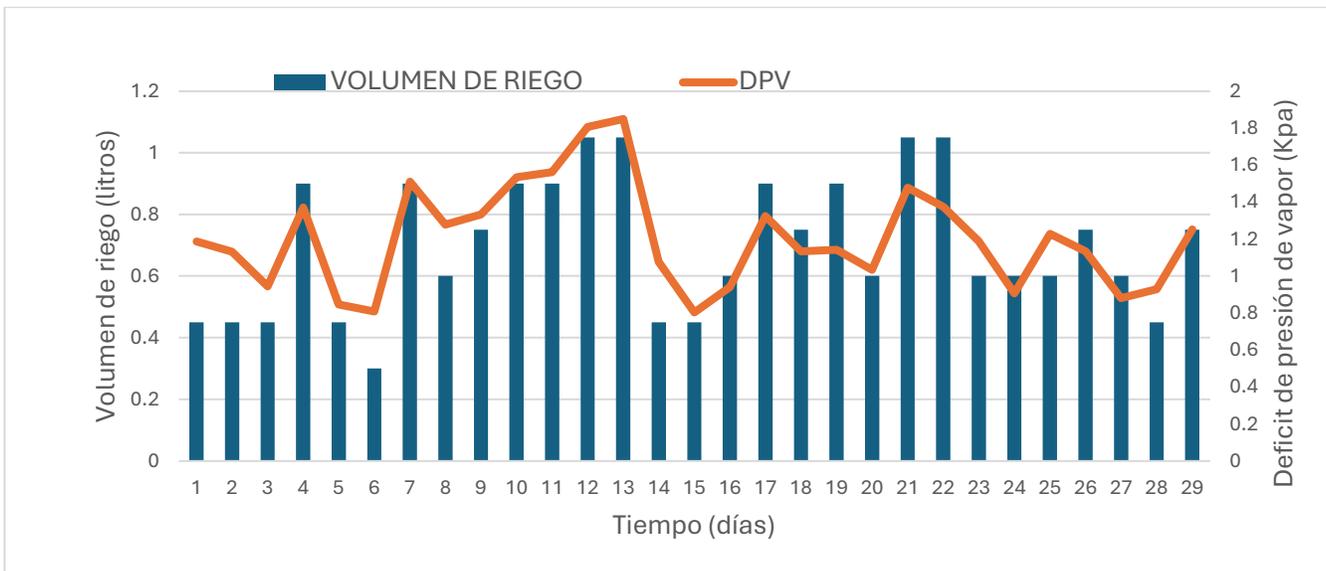


Figura 4. Volumen de riego proporcionado por planta durante los 29 días de prueba (barra azul). Déficit de presión de vapor durante los 29 días (línea naranja).

Para comprobar esta relación se realizó una regresión lineal promediando los días que tuvieron el mismo volumen de riego y el déficit de presión de vapor promedio de esos días. En la Figura 5 se observa como existió una relación lineal entre el volumen de agua aplicado por planta y el déficit de presión de vapor con un $R^2 = 0.9805$. El dispositivo brinda el volumen de agua necesaria en función del déficit de presión de vapor.

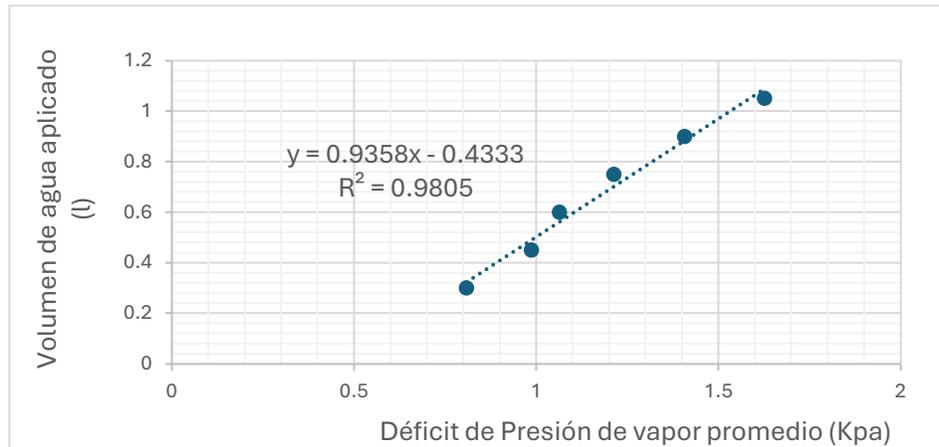


Figura 5. Relación del volumen de agua aplicada por planta (l) y el déficit de presión de vapor promedio.

Conclusiones

El lisímetro de pesada permitió desarrollar un sistema de riego por goteo automatizado para el cultivo del Chile Huacle (*Capsicum annum* L.) en macetas con tezontle, considerando la programación de la evapotranspiración para reponer el riego dentro del intervalo del agua fácilmente disponible para la planta. La evapotranspiración de las macetas de chile Huacle con tezontle, es proporcional al déficit de presión de vapor.

Referencias Bibliográficas

Castañón, L. (2004). Automatización del riego. Universidad politécnica de Madrid. 202-205.

De Almeida, C. D. G. C., Gordin, L. C., dos Santos Almeida, A. C., Júnior, J. A. S., de Almeida, B. G., & Provenzano, G. (2023). Assessing different methodologies for irrigation scheduling in protected environment: a case study of green bell pepper. *Irrigation Science*, 41(1), 107-120.

Vera-Repullo, J., Ruiz-Peñalver, L., Jiménez-Buendía, M., Rosillo, J., & Molina-Martínez, J. M. (2015). Software for the automatic control of irrigation using weighing-drainage lysimeters. *Agricultural Water Management*, 151, 4-12.