

## Sistema de instrumentación para lisímetros de maceta con monitorización precisa del riego

C. Jiménez-Carvajal<sup>1</sup>, A. Antolino<sup>1</sup>, J.A. Vera<sup>1</sup>, M. Jiménez-Buendía<sup>1</sup>, Leandro Ruiz Peñalver<sup>1</sup>, J.M. Molina-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cartagena. Grupo investigación ingeniería Agromótica y del Mar. Campus Muralla del Mar, s/n. 30202 Cartagena. e-mail: [conchi.jimenez@upct.es](mailto:conchi.jimenez@upct.es)

### RESUMEN

Este trabajo presenta un sistema de instrumentación de bajo coste para lisímetros de maceta que permite determinar con precisión el balance hídrico en los períodos de riego. La estructura mecánica del lisímetro utilizado ha sido diseñada y validada por nuestro grupo de investigación en trabajos anteriores. La principal innovación consiste en la cuantificación del volumen de agua aportada, que permitirá incorporar esta variable a las proporcionadas por el lisímetro con el fin de estudiar el comportamiento hídrico (determinación de la evapotranspiración), además de en condiciones normales, en los intervalos de riego.

**Palabras clave:** agromótica, balance hídrico, agricultura de precisión.

### Instrumentation system for pot lysimeters with accurate irrigation monitoring

### ABSTRACT

This paper presents a low-cost instrumentation system for pot lysimeters that allows accurately determine the water balance during irrigation periods. The mechanical structure of the lysimeter has been designed and validated by our research group in previous works. The main innovation lies in quantifying the volume of water supplied, so this variable will be incorporated to those provided by the lysimeter in order to study the plant water balance (determination of evapotranspiration) both under normal conditions and during irrigation intervals.

**Keywords:** agromotic systems, water balance, precision agriculture.

### INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agricultura está sufriendo una escasez creciente de recursos hídricos, sobre todo en las regiones semiáridas de la península. Si a esto le sumamos los efectos del cambio climático, se acentúa aún más la necesidad de desarrollar métodos eficientes de optimización del uso del agua (Bouwer, 2000). Para ello se deberá hacer uso de nuevas tecnologías haciéndolas asequibles a los agricultores con menos recursos económicos. En este sentido se enmarcan las directrices del Plan Estratégico Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos (MAGRAMA, 2010). En concreto, la Región de Murcia está severamente afectada por una paulatina y progresiva desertización.

Las escasas precipitaciones, y el empleo de agua salinas requieren de nuevas estrategias y métodos para un régión principalmente dedicada a la agricultura de regadío

(más de 200.000 ha). La mayor parte de los agricultores utilizan métodos basados en ensayos in situ de humedad y salinidad en las raíces, y de una interpretación los datos y toma de decisión libres (Bachand et al., 2014). Para realizar una programación adecuada del riego es necesario realizar un balance hídrico. Para ello se utilizan modelos obtenidos a partir de variables meteorológicas, así como la medida directa mediante técnicas como la lisímetría de pesada (López-Urrea et al., 2014; Ruiz-Peñalver et al., 2015; Vera-Repullo et al., 2015).

En este contexto se enmarca el desarrollo del equipo de medida para lisímetro de maceta que se presenta en este trabajo, implementado con una plataforma de código abierto barata y fiable como es Arduino. El objetivo es obtener datos suficientemente precisos para el balance hídrico, prestando especial atención a la instrumentación necesaria para medir con precisión el balance hídrico en los intervalos en que se produce el riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un lisímetro de estructura triangular que disponía de cuatro células de carga compensadas en temperatura (puente completo), modelo Vetek 108TA con protección IP66; tres de 30 kg para la medida del peso de la maceta (con una precisión de 6 g) y una de 10 kg para la bola de drenaje (con una precisión de 2 g) (Ruiz-Peñalver et al., 2015). Para registrar el agua aportada en el riego se ha utilizado un caudalímetro de precisión Eqflow(0045PHP01) capaz de medir caudales muy bajos (el riego se realiza con dos goteros autocompensados de 2 l/h cada uno). Este caudalímetro proporciona una salida de 100.000 pulsos/l, lo da una resolución de 10 µl/pulso, con una precisión del 1%. Para el riego se ha usado un programador comercial. La planta empleada para el estudio fue una *Euonymus fortunei* de tres años.

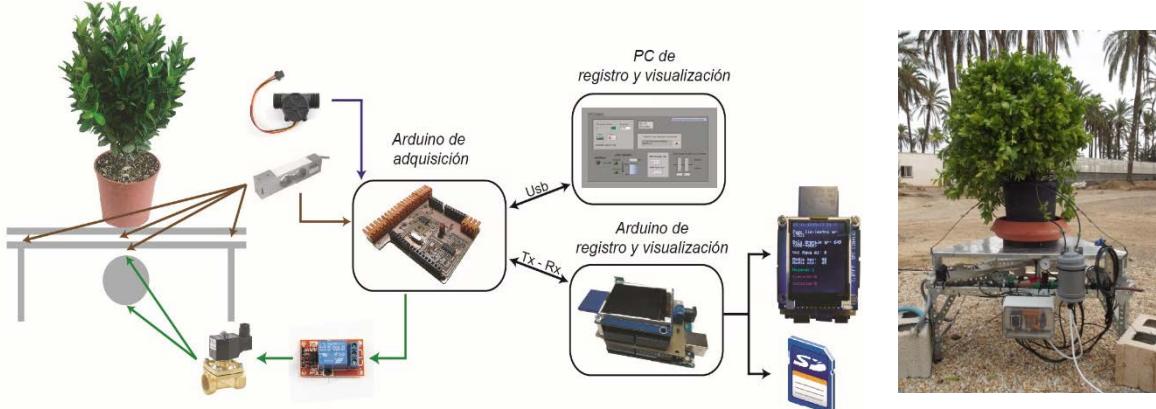
Para el desarrollo de los sistemas de adquisición se usó la plataforma Arduino Uno. Debido a la baja señal proporcionada por las células de carga, se seleccionó el convertidor analógico-digital (ADC) CS5534 de Cirrus Logic. Este ADC tiene una resolución de 24 bits y cuatro canales diferenciales con guarda activa, con una resolución de 0,3 µV/bit. Además, para los sistemas adicionales al de medida para registrar y visualizar los datos y parámetros del lisímetro se utilizó también el entorno de programación LabVIEW®.

Los sistemas de registro muestrean el peso cada tres segundos, realizando la media aritmética minutal de los datos. Junto al peso se guardan la fecha, hora, el peso de la bola de drenaje, volumen de agua regadío y diversos estados booleanos relativos al funcionamiento en cada instante (regando, drenando, vaciando). Durante el riego, para facilitar un análisis más detallado (cambios en la evapotranspiración), las medidas se almacenaron cada nueve segundos. Además se implementó un filtrado en tiempo real de los niveles cero (estructura de datos), uno (límites rígidos y flexibles) y dos (coherencia temporal) de la norma AENOR UNE 500540.

En una primera fase se realizaron los ensayos y calibraciones para la puesta en marcha del lisímetro en laboratorio. Posteriormente, el equipo se instaló en campo, en noviembre de 2015, en la Estación Experimental Agroalimentaria Tomás Ferro (37° 41' 15,3" N; 0° 57' 3,4" W) situada en La Palma (Murcia).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la estructura global del sistema completo desarrollado para la adquisición de datos, registro y visualización. Se ha diseñado y construido un *shield* para la lectura de los sensores del lisímetro (Figura 1) utilizando el ADC de instrumentación CS5534, que se comunica con el Arduino de adquisición vía SPI (Serial Peripheral Interface). Para reducir el ruido en la medida se ha optoacoplado la comunicación con Arduino y utilizado fuentes de alimentación independientes. Este Arduino se encarga de tomar las lecturas del peso (maceta y bola de drenaje), y de controlar las electroválvulas de vaciado del depósito de drenaje.



**Figura 1. Estructura general del sistema (izquierda). Sistema instalado en campo (derecha).**

Se desarrollaron dos sistemas adicionales al de medida para registrar y visualizar los datos y parámetros del lisímetro: (i) una aplicación que se ejecuta en un PC para pruebas de laboratorio y (ii) equipo hardware robusto de menores dimensiones para instalación en exterior. Para las pruebas de laboratorio se desarrolló una aplicación para PC que almacena los datos en Excel y los muestra mediante gráficas en tiempo real.

Para las pruebas de campo en la finca experimental se sustituyó el PC por un segundo Arduino (Figura 1, derecha), que se encarga de recibir las lecturas realizadas por el primero, de realizar las conversiones necesarias (gr, mL), almacenar los datos en una tarjeta SD y visualizar en una pantalla los parámetros necesarios para verificar el correcto funcionamiento del sistema. Para ello se diseñó un *shield* con un display TFT HY-1.8 SPI con ranura para SD, y un “*real time clock*” (RTC) modelo DS1302 para registrar la fecha y hora de manera fiable.

En la Figura 2 se muestra el detalle de los datos registrados por el lisímetro en uno de los momentos de interés para los estudios (el de riego). Para analizar estos datos se ha desarrollado otra aplicación para PC que permite visualizar los ficheros almacenados en la tarjeta SD. Como se puede apreciar, el volumen de agua en el riego (azul) se incrementa con una tasa igual a la determinada por los goteros (4 l/h o 66 ml/min). Se puede observar como justo en el momento de inicio del riego, el sistema vacía la bola de drenaje (línea roja) y el peso de la maceta (en negro) se incrementa por el agua aportada. Transcurridos unos trece minutos desde el inicio del riego, la maceta comienza a drenar agua (el peso de drenaje se incrementa). Este drenaje se prolonga durante unos treinta minutos hasta que el peso de la bola se estabiliza, momento en el que el sistema vacía la bola para dejarla preparada para el siguiente riego.

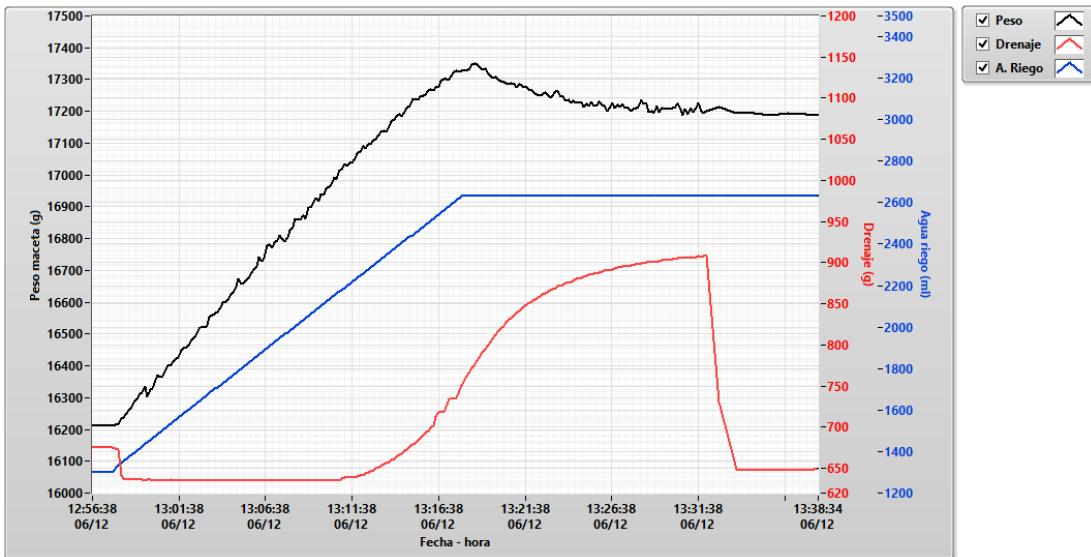


Figura 2. Detalle de los datos registrados en uno de los riegos.

## CONCLUSIONES

El sistema diseñado se ha validado en condiciones reales, cumpliendo los requisitos planteados en sus especificaciones iniciales. Además, permite medir con precisión las variables lisimétricas incluyendo el agua de riego. Esta característica permitirá realizar estudios muy interesantes para determinar la evapotranspiración (ET) de la planta en diferentes condiciones de riego (variaciones en la dosis, frecuencia, hora del día, etc.). Los datos obtenidos se contrastarán con los registrados por la estación agroclimática instalada en la finca experimental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bachand, P.A., Bachand, S., Fleck, J., Anderson, F., Windham-Myers, L., 2014. Differentiating transpiration from evaporation in seasonal agricultural wetlands and the link to advective fluxes in the root zone. *Sci. Total Environ.* 484, 232–248. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.11.026
- Bouwer, H., 2000. Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agric. Water Manag.* 45, 217–228. doi:10.1016/S0378-3774(00)00092-5
- López-Urrea, R., Montoro, A., Trout, T.J., 2014. Consumptive water use and crop coefficients of irrigated sunflower. *Irrig. Sci.* 32, 99–109. doi:10.1007/s00271-013-0418-9
- MAGRAMA, 2010. Estadísticas 2010. Agricultura ecológica España. Ministerios de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Ruiz-Peñalver, L., Vera-Repullo, J.A., Jiménez-Buendía, M., Guzmán, I., Molina-Martínez, J.M., 2015. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. *Agric. Water Manag.* doi:10.1016/j.agwat.2014.09.020
- Vera-Repullo, J.A., Ruiz-Peñalver, L., Jiménez-Buendía, M., Rosillo, J.J., Molina-Martínez, J.M., 2015. Software for the automatic control of irrigation using weighing-drainage lysimeters. *Agric. Water Manag.*, 151, 4–12. doi:10.1016/j.agwat.2014.10.021