



Análisis del consumo de agua de *Hordeum vulgare* L. mediante un equipo de lisimetría de pesada

M.Soler-Méndez¹, P. Madrona-Sánchez¹, L. Ávila-Dávila¹, A. Ruiz-Canales², J.M. Molina-Martínez¹

¹ Grupo de I+D+i de Ingeniería Agromótica y del Mar. UPCT. C/Ángel s/n. Ed. ELDI E1.06. 30202 Cartagena (Murcia), Spain; manuel.ia@agrosolmen.es, josem.molina@upct.es

² Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández de Elche, Escuela Politécnica Superior de Orihuela; acanales@umh.es

Resumen: El consumo de agua en los cultivos es un parámetro muy estudiado por distintas técnicas, pero la que mejor lo evalúa es el Balance Hídrico. En este ensayo se analizó el balance hídrico de un cultivo de *Hordeum vulgare* L. mediante los nuevos lisímetros desarrollados por el grupo de investigación Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena. Se instaló en la finca experimental las Tiesas (ITAP-Albacete), monitorizando con suficiente precisión la evolución del contenido de agua del suelo contenido en el lisímetro, pudiendo discriminar episodios de lluvia, de riego, de condensación, y de evapotranspiración. Se contrastaron los datos con los del lisímetro del ITAP y los datos de la estación meteorológica del ITAP. Los resultados obtenidos permitieron confirmar el equilibrio producido entre las entradas de agua (procedentes de precipitaciones, riego y condensación) y las salidas de agua (causadas por la evapotranspiración del cultivo y el drenaje). Se pudo contrastar que los valores de Etc reales del cultivo discrepaban de los valores estimados a través de las variables climáticas, en general inferiores los valores reales, lo que da pie a que el empleo de este método de cálculo de consumo de agua mediante lisimetría de pesada permita aumentar la eficiencia de su uso.

Palabras clave: Lisímetro, balance hídrico, uso eficiente del agua.

1. Introducción

Existen distintos métodos para calcular las necesidades hídricas de un cultivo, y por tanto, programar el riego, de los que cabe destacar aquellos basados en datos climáticos, en las condiciones de humedad del suelo o en las condiciones de humedad de la planta, pero su exactitud dependerá de la precisión con la que se estimen los distintos elementos que componen el balance hídrico [4, 5, 6].

El método gravimétrico es el más exacto en la determinación del balance hídrico [5], y un lisímetro de pesada nos puede ayudar a emplear este método. Con el lisímetro de pesada se puede controlar un volumen determinado de suelo, colocado en condiciones similares a las del resto de suelo por fuera del lisímetro, de forma continua, monitorizando el peso del suelo seleccionado, y así se puede conocer la variación gravimétrica del agua en el suelo [2, 4, 6].

Para poder discriminar los distintos parámetros que afectan al flujo de entradas y salidas de agua en el balance, en primer lugar, se puede controlar el drenaje igualmente por método gravimétrico, y, por tanto, el resto de salidas serán debidas principalmente a evapotranspiración [3]. En segundo lugar, para discriminar la procedencia de las entradas de

agua, se pueden conocer los datos tanto de la existencia de riego (con sensores hidráulicos) como de las precipitaciones (con pluviómetro).

Generalmente un lisímetro es una gran infraestructura civil que es capaz de monitorizar una gran cantidad de suelo, aunque el grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena está inmerso en el desarrollo de equipos de lisimetría para cultivos de bajo porte, como pueden ser herbáceos y hortícolas, que permiten obtener una información suficientemente precisa con muchísima menor inversión.

El objetivo que el presente trabajo persigue es la de comprobar si, a través de un dispositivo de lisimetría como el que se está desarrollando, se obtienen datos que puedan facilitar la programación de riego, a través de la comprobación con respecto a un lisímetro de grandes dimensiones que está afianzada su validez, y manteniendo la referencia con respecto a las estimaciones de consumo hídrico a través de datos climáticos.

2. Materiales y métodos

El experimento se realizó entre febrero y junio de 2017 en una parcela experimental de una hectárea de extensión, llamada “Las Tiesas”, en Albacete, perteneciente al Instituto Agronómico Provincial de Albacete (ITAP). El cultivo empleado fue cebada (*Hordeum vulgare*), variedad “SHAKIRA” de ciclo corto en primavera. El suelo de la parcela experimental es franco-arcillo-limoso determinado con el triángulo de textura de Marshal.

El lisímetro de pesada utilizado fue el modelo LP1 diseñado por el grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena, cuya precisión de medición es de 0,063 mm de agua. El dispositivo cuenta con un recipiente de cultivo independizado de su entorno, por lo que los flujos laterales y de ascenso capilar son nulos y cuyas dimensiones interiores son 0,96 m x 0,56 m y 0,35 m de profundidad en el centro, y con depósito de drenaje que es utilizado para almacenar y medir el agua, que se filtra a través del volumen de suelo confinado.

Por medio de dos sistemas de pesaje, se conoce la evolución del peso tanto del recipiente de cultivo como del depósito de drenaje; teniendo en cuenta que las variaciones de peso ocurridas serán debidas sobre todo a variaciones en el contenido de agua en ambos recipientes, conoceremos con certeza los componentes del balance hídrico por el método. De esta forma el lisímetro nos proporciona una medida directa de las variaciones de peso ocurridas en el recipiente de cultivo (provenientes de forma positiva principalmente de precipitaciones y riego, y de forma negativa principalmente de drenaje y evapotranspiración), así como en el depósito de drenaje (provenientes de forma positiva del drenaje).

Para desarrollar el ensayo, el punto de partida es que solo se disponía de una muestra de cada uno de los dos tratamientos, es decir, de un punto de monitorización de consumo hídrico por lisimetría de pesada a través del lisímetro de bajo coste en desarrollo, y del tratamiento control, que en este caso se trataban de equivalentes datos pero obtenidos a través del lisímetro de pesada disponible en el ITAP. Además, para contrastar ambos datos, se analizaron las estimaciones de consumo hídrico a través del método empírico de Penman-Monteith utilizando los datos de la estación meteorológica del ITAP junto con los coeficientes recomendados por la FAO para el cultivo implantado.

Los datos obtenidos en el ensayo (para el tratamiento del lisímetro de bajo coste) han sido tanto el peso del recipiente de cultivo como el peso del depósito de drenaje, expresadas ambas magnitudes en gramos. Por tanto, en base a esos datos, y conociendo las variaciones de ambas magnitudes por unidad de tiempo, se logran estimar los parámetros de interés para la programación del riego; en este caso, concretamente la evapotranspiración de cultivo, y la proporción de drenaje.

El intervalo diario elegido para los cálculos de la evapotranspiración ha sido el de un día, aunque los datos se han registrado por segundos e integrado en datos ofrecidos por el datalogger en minutos.

Por tanto, los datos disponibles son:

RC: Peso del recipiente de cultivo (g)

$$\Delta RC = RC_i - RC_{i-1} \quad (1)$$

DD: Peso del depósito de drenaje (g)

$$\Delta DD = DD_i - DD_{i-1} \quad (2)$$

Para conseguir que los datos obtenidos sean extrapolables, se traspasan las unidades a mm, equivalente a L/m². Para ello se relaciona con la superficie del lisímetro, teniendo en cuenta que la densidad del agua es de 1000 g/L:

A_{lis}: Área de ocupación del lisímetro (m²).

$$A_{lis} = 0,96m \cdot 0,56m = 0,537m^2 \quad (3)$$

$$\Delta RC(mm) = \frac{\Delta RC(g) \cdot \frac{1L}{1000g}}{0,537m^2} \cdot \frac{1mm}{1 \frac{L}{m^2}} \quad (4)$$

$$\Delta DD(mm) = \frac{\Delta DD(g) \cdot \frac{1L}{1000g}}{0,537m^2} \cdot \frac{1mm}{1 \frac{L}{m^2}} \quad (5)$$

El balance hídrico se conocerá a través de la siguiente expresión:

$$\Delta RC = P + R - D - ETc \quad (6)$$

P: Precipitaciones (mm)

R: Riego (mm)

D: Drenaje (mm); $D = \Delta DD$

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm)

Por tanto, la evapotranspiración del cultivo será:

$$ETc = P + R - D - \Delta RC \quad (7)$$

Los valores de ETc calculados a partir de los datos obtenidos por este lisímetro se contrastaron con los valores de ETc obtenidos por la estación lisimétrica del ITAP, cuyas dimensiones son de 2,3 m x 2,7 m de superficie, y 1,7 m de profundidad.

Al mismo tiempo, se contrastaron los datos obtenidos por lisimetría con los datos estimados de ETc en base a los datos climáticos ofrecidos por la estación meteorológica del ITAP.

El número de muestras que se manejaron para cada uno de los tratamientos (lisímetro de bajo coste, lisímetro del ITAP, y estación meteorológica del ITAP) fue de una muestra, debido principalmente a dos motivos:

- El objetivo del trabajo es el de validar los datos de consumo hídrico del cultivo ofrecidos por el lisímetro en desarrollo con respecto a otro lisímetro cuyo funcionamiento está contrastado, y compararlo al mismo tiempo con estimaciones a través de datos climáticos.
- Debido al alto coste de la infraestructura que se necesita para este tipo de ensayos, es difícil de replicar las muestras.

El análisis de resultados, por tanto, se realiza contrastando gráficamente los datos obtenidos por los distintos métodos expuestos, estableciendo como referencia los datos ofrecidos por el lisímetro del ITAP.

3. Resultados y discusión

La Figura 1 muestra la evolución de la evapotranspiración de cultivo a lo largo del periodo comprendido entre el 8 de febrero y el 22 de junio del año 2017, teniendo en cuenta que el

cultivo terminó 10 días después, aunque no se muestran los datos porque se perdieron algunos días.

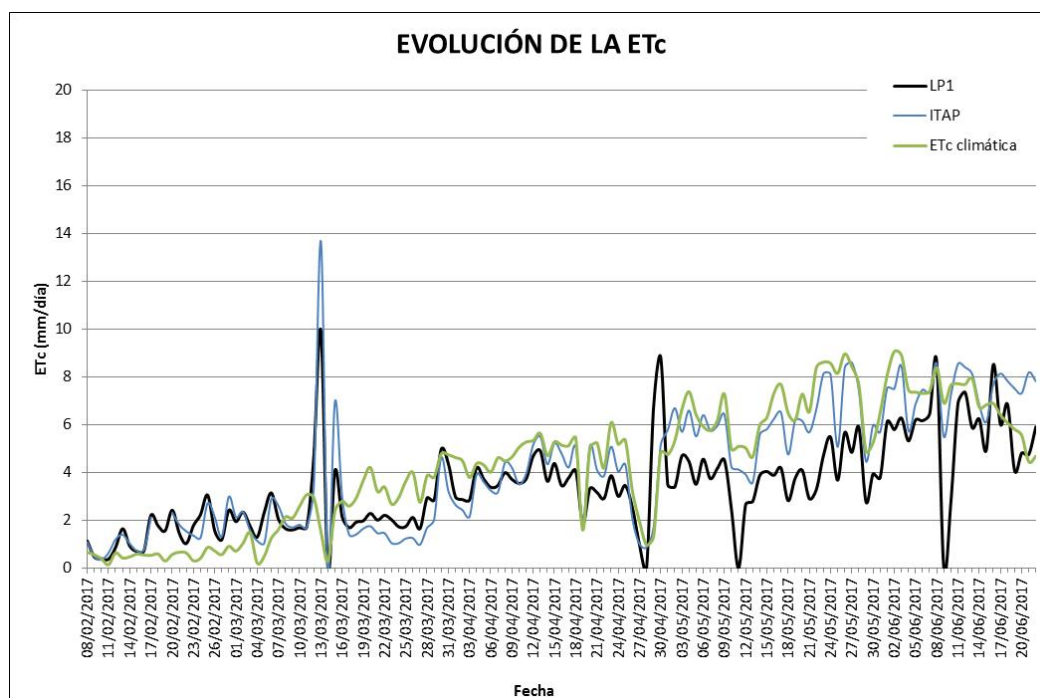


Figura 1. Evolución de la evapotranspiración del cultivo, calculada por distintos métodos.

En los días 13 y 14 de marzo, 27, 28 y 29 de abril, y 11 de mayo, los datos presentan valores extraños debido a distintos episodios de precipitaciones.

En la fase inicial del ciclo, hasta el 12 de marzo, los datos obtenidos por ambos lisímetros son similares, y superiores a los obtenidos por método climático; nuestra hipótesis es que el efecto debido al suelo seco en torno al cultivo (en las primeras fases del desarrollo del cultivo, el área sombreada es muy pequeña) no se estima suficiente a través de los métodos climáticos.

Después del primer periodo de lluvias copiosas (13 y 14 de marzo), entonces se invierte la tendencia, siendo superior la estimación climática que la registrada por los lisímetros; nuestra hipótesis es que, debido al microclima generado por la alta humedad del suelo, se reduce el déficit de presión de vapor del entorno, y por eso, la evapotranspiración es menor que la estimada por métodos climáticos.

Conforme avanza el desarrollo del cultivo, se van asemejando los datos de ETc obtenidos por los tres métodos, hasta el 15 de abril, y después, se separan las tendencias, de forma que el lisímetro LP1 da menores valores de ETc que el lisímetro del ITAP y el método climático, considerando que es debido a una diferencia en la densidad de siembra detectada a lo largo del desarrollo, y una diferencia en la uniformidad del riego por aspersión.

Se ha de tener en cuenta que para el cálculo de la ETc basado en datos climáticos, los datos de ETo se han obtenido de la estación meteorológica del ITAP, y los coeficientes de cultivo, así como la duración de ciclo, se han obtenido de la FAO-56 [1]. En la tabla 1 se muestra la estimación de duración de ciclo para la cebada de plantación de marzo/abril, de acuerdo al cuadro 11 [1], aunque en el ensayo, el ciclo duró 10 días más (a pesar de que los últimos 10 días no se muestran), con lo que la duración de la fase media del ciclo la consideramos 70* días en lugar de 60 días. En la tabla 2 se muestra la evolución del coeficiente teórico de cultivo en función del punto del ciclo fenológico en el que se encuentre, de acuerdo al cuadro 12 [1].

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

Tabla 1. Duración de ciclo [1], expresado en días.

| Fase inicial | Fase de desarrollo | Fase media | Fase final |
|--------------|--------------------|------------|------------|
| 20 | 25 | 70* | 30 |

Tabla 2. Coeficiente de cultivo, Kc [2], en función de la fase fenológica.

| Fase inicial | Fase media | Fase final |
|--------------|------------|------------|
| 0,30 | 1,15 | 0,25 |

Teniendo en cuenta las observaciones arriba indicadas, en cuanto a una diferencia en la uniformidad de riego, y en la densidad de plantación, aparentemente según las muestras visuales, el cultivo en ambos lisímetros no presentaba al final de ciclo ninguna deficiencia en el desarrollo.

En base a lo expuesto, se aprecia que la estimación del consumo hídrico del cultivo es de menor magnitud para el lisímetro de pesada de bajo coste LP1, en comparación con la estimación en base a datos climáticos. En la tabla 3 se muestra el sumatorio a lo largo de los días monitorizados de la ETc diaria calculada por cada uno de los tres métodos expresados.

Tabla 3. Sumatorio de la ETc a lo largo de los días monitorizados para los distintos métodos de cálculo, expresado en mm.

| ΣETc lis. LP1 | ΣETc lis. ITAP | ΣETc climática |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 462 | 563 | 583 |

4. Conclusiones

Se considera que el lisímetro en desarrollo de bajo coste LP1 puede ser una herramienta útil para la estimación del consumo hídrico de un cultivo de bajo porte, y permite ajustar los coeficientes de cultivo para extrapolar la estimación del consumo hídrico por medios climáticos a parcelas con similares condiciones.

Referencias

1. Allen, R.G; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos., FAO-56 (Italia). 2006
2. Jiménez-Carvajal, C., García-Bañón, A. J., Vera-Repullo, J. A., Jiménez-Buendía, M., Ruiz-Peñalver, L., and Molina-Martínez, J. M. Cloud-based monitoring system for lysimetric and agroclimatic data. Precision Agriculture. 2017, 18(6), 1069-1084.
3. Payero, J.O. and Irmak, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. Irrig Sci 2008, 26, 191-202
4. Ruiz-Peñalver, L., Vera-Repullo, J. A., Jiménez-Buendía, M., Guzmán, I., and Molina-Martínez, J. M. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. Agricultural Water Management. 2015, 151, 103-113.
5. Soler-Méndez M., Ávila-Dávila L., González-Trinidad J., Ruiz-Canales A., y Molina-Martínez J. M. Control de precisión del balance hídrico en tiempo real en cultivos hortícolas. Agrícola Vergel. Abril 2019, 1-3.
6. Vera-Repullo, J. A., Ruiz-Peñalver, L., Jiménez-Buendía, M., Rosillo, J. J., and Molina-Martínez, J. M. Software for the automatic control of irrigation using weighing-drainage lysimeters. Agricultural Water Management. 2015, 151, 4-12.