

## DESIGN, IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF A LYSIMETER FOR POTTED PLANTS.

Ruiz Peñalver, L.<sup>1</sup>; Molina Martínez, J. M.<sup>1</sup>; Guerrero Arroniz, D.<sup>1</sup>; Ruiz Canales, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cartagena, <sup>2</sup> Universidad Miguel Hernández

A lysimeter is a device used in irrigation and cultivation techniques in order to study variations in weight, drainage and water consumption experienced in crop. Lysimeters more widespread in the market are those that are used in land and requires a civil work to install them. Moreover have a certain complexity and considerable financial investment in the installation. However, there are other weighing lysimeters for potted plants while not being so widespread in its use as above and are very useful for the study water consumption of the plant

The design have been built and evaluated to place a potted vine (though it may be of similar variety) whose base support is located a load cell at each end to measure the weight of the pot and guarantees plant stability thanks to its triangular shape. It also has a vertical trellis with adjustable angle to keep the plant upright, ensuring their growth and to allow the study about the influence of trellis angles in crop evapotranspiration.

**Keywords:** *Lysimeter; Plants; Weight; Evotranspiration*

## DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN LISÍMETRO PARA PLANTAS EN MACETA.

Un lisímetro es un dispositivo que se emplea en técnicas de riego y cultivo con el fin de estudiar las variaciones en peso, drenaje y consumo de agua experimentadas en un cultivo. Los lisímetros más extendidos en el mercado son aquellos que se utilizan en suelo y requieren de obra civil para su instalación por lo que poseen una cierta complejidad y una considerable inversión económica en su instalación. Sin embargo, existen otros lisímetros de pesada para plantas en maceta que si bien no están tan extendidos en su uso como los anteriores, son muy versátiles para el estudio de los consumos de agua en planta.

Por ello, se ha diseñado, construido y evaluado un lisímetro para albergar una maceta de vid (aunque puede ser de variedad similar) cuyo soporte en la base aloja una célula de carga en cada extremo para medir el peso de la planta y que garantiza la estabilidad de la planta gracias a su forma triangular. Además, dispone de una espaldera vertical de con ángulo regulable con el fin de mantener la planta erguida, garantizar su crecimiento y que permite estudiar la influencia de los ángulos de la espaldera en la evotranspiración del cultivo.

**Palabras clave:** *lisímetro; Plantas; Peso; Evotranspiración*

Correspondencia: leandro.ruiz@upct.es

## 1. Introducción

Actualmente existen numerosos métodos y herramientas en el ámbito agronómico para determinar pesos de cultivos y macetas que comprenden un gran abanico de modelos, funcionamiento y precios (; Xinmin et al., 2007; Zhi-Shan et al., 2008; Liu et al., 2009). Uno de los dispositivos más extendidos para llevar a cabo dicha tarea es el lisímetro.

Un lisímetro, en su definición más general es una instalación agrónoma que mide el volumen de todas las aguas entrantes y salientes de un recipiente que contiene una masa aislada de suelo. Así pues, se pueden distinguir varios tipos de lisímetros según su funcionamiento y uso, como el lisímetro volumétrico, lisímetros de relleno o lisímetros de pesada, entre otros.

El lisímetro de pesada está compuesto por un recipiente de grandes dimensiones relleno de suelo que reposa sobre una báscula. Todo el conjunto se halla instalado en una arqueta subterránea que permite el acceso a su interior para su mantenimiento y calibración. El suelo del lisímetro se halla a ras de tierra, por lo que a simple vista, resulta imperceptible distinguirlo del resto del cultivo que lo rodea, ya que está cubierta por dicho cultivo.

Tomando como referencia el funcionamiento de los lisímetros subterráneos, se ha diseñado un lisímetro exterior adaptado para una maceta (Larsbo y Harvis, 2006). El motivo que ha llevado a dicho desarrollo es realizar un estudio acerca de las variaciones de peso que puede experimentar un cultivo de vid en su fase de crecimiento con distintas técnicas de cultivo. Este estudio se enmarca dentro de un proyecto a nivel nacional del que forman parte los autores del presente artículo.

El lisímetro exterior diseñado se utiliza para soportar la planta erguida y a la vez para determinar su peso. Dicho soporte albergará una(s) célula(s) de carga para medir las diferencias de peso experimentadas por la planta y realizar un profundo estudio acerca del desarrollo experimentado por la planta con los datos obtenidos.

## 2. Objetivos

- Validar un modelo de lisímetro de pesada para viña en maceta y efectuar las medidas de variaciones de peso para llevar a cabo el balance hídrico.
- Distinguir y medir los procesos de evaporación y drenaje en el lisímetro de pesada para cultivo en maceta.

## 3. Evolución histórica y estado del arte de la lisimetría

### 3.1 Concepto e historia de la lisimetría

El término lisímetro tiene su origen en los vocablos griegos lysis y metros que significan disolver y medir, respectivamente. Por ello, en general este término se puede aplicar a cualquier dispositivo que se utilice para estudiar la velocidad, cantidad y composición del agua que percola a través de un medio poroso. Dicho de otro modo, los lisímetros son instrumentos que contienen suelo y que reciben agua a través de la lluvia y el riego, estando provistos de dispositivos para recibir y medir la percolación. (Aboukhalad et. Al, 1982).

Han sido numerosas las definiciones que a lo largo de los años se han hecho de estos instrumentos. McIlroy y Angus (1963). Definición el lisímetro como “un bloque de suelo, con vegetación o sin ella encerrado en un recipiente adecuado y expuesto a las condiciones

naturales del campo, que permite la determinación de uno de los términos de la ciencia del ciclo hidrológico cuando los otros términos son conocidos". Asimismo, Allen et. al (1991) presenta una revisión detallada de diversas aceptaciones del concepto de lisímetro.

La FAO define los lisímetros como "recipientes grandes llenos de suelo" o (encerrados en una masa de suelo), ubicados en el campo para representar sus condiciones naturales, de superficie desnuda o con cubierta vegetal (cultivos o césped), utilizados para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento o con cubierta vegetal de referencia (Aboukhalad et. Al, 1982).

La historia de la Lisimetría se inició, como comente anteriormente en el apartado de "Introducción a la Lisimetría", en el siglo XVII. Los lisímetros se utilizaron en un principio para la realización de diversos estudios sobre la percolación (Howell et. al, 1991). Existen diversas revisiones de los usos, diseños y manejos a lo largo de la historia. (Tamer, 1967; Black et. al, 1968; Aboukhalad et. Al, 1982; Allen et. al, 1991). Diversos estudios se han empleado a estos instrumentos. Desde, lixiviación de sales y relaciones de Agua- Suelo- Planta (Meland et. al, 1977). Hasta la fertilización de los cultivos (Soileau y Hauck 1987) etc.

Al comienzo del siglo pasado se empezó a utilizarlos para estudios relacionados con la ET y el agua para el riego (Aboukhalad et. Al, 1982). Hay lisímetros instalados por todo el mundo y de tipos muy diversos. Gracias a la electrónica, la ingeniería, la ciencia del riego, la fitotecnia y la micrometeorología, en las cinco últimas décadas se ha producido un gran avance en el estudio y el uso de estos instrumentos.

### **3.2 Introducción a los Lisímetros de pesada**

300 años han pasado desde que se inició el estudio de la lisimetría por el francés De la Hire (1688) , matemático y meteorólogo, llegó a la conclusión utilizando un recipiente de plomo con contenido de suelo franco arenoso, que se evaporaba más agua en los lisímetros cubiertos de césped que de suelo desnudo.

En un principio los lisímetros se utilizaron para investigar sobre la velocidad y la cantidad de agua percolada. Posteriormente se realizaron análisis químicos de esta solución. Es a partir de mediados del siglo XX, cuando los lisímetros perfeccionan y sufren una serie de cambios importantes; se construyen en numerosos centros de investigación de todo el mundo, se utilizan principalmente para realizar estudios de evapotranspiración (ET) y para el calibrado de las formulas empíricas y semi-empíricas empleadas en el cálculo de la ET.

### **3.3 Uso de los lisímetros de pesada en España**

Como bien se ha comentado en este estudio anteriormente los lisímetros de pesada se originaron para medir la evapotranspiración en el cultivo de festuca (Allen et. al, 1991). A raíz de estos estudios originales se empezó a desarrollar en diferentes cultivos y en el mismo cultivo en diferentes países, todos para valorar las necesidades de los cultivos a cada país y climatología de estos.

En España estos estudios o trabajos se realizan por medio de diferentes universidades, especializándose en diversos cultivos, dependiendo de la zona climática y características de cada zona.

Mencionando algunos de los trabajos que se han realizado en nuestro país en los últimos años, tenemos entre otros; Medida de las necesidades hídricas (o evapotranspiración) del maíz dulce utilizando un lisímetro de pesada. Realizado por la Escuela Técnica Superior de

Ingenieros Agrónomos de Albacete. Universidad de Castilla la Mancha y el Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP). Realizando una alternativa de diversificación agrícola en las zonas de regadío.

Otro estudio Estrategias de gestión del riego en viñedos de vinificación. Realizado por la Universidad Politécnica de Madrid calculando el punto óptimo del inicio de riego en vid. La Universidad Politécnica de Cartagena está realizando diversos estudios en almendros, naranjos y albaricoqueros para implantar sistemas de riego automatizados, mediante lisímetros de pesada y Dendrómetros. Son sistemas que de forma autónoma suministran a la planta el agua necesaria, con criterios de mejora de la calidad del fruto. Estos estudios los realizan conjuntamente el grupo Agua-Suelo-Planta con la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

Diseño y construcción de un lisímetro de pesada en una plantación de almendros. Estudio realizado por la Universidad Politécnica de Córdoba, la conserjería de agricultura y pesca de la junta de Andalucía. Con el objeto de un manejo eficiente para la agricultura de regadío.

Estos son solo unos ejemplos del desarrollo de los estudios de investigación a nivel nacional en pro de la sostenibilidad del riego en la agricultura. Gracias a la investigación, el desarrollo y a la fiabilidad de los valores obtenidos a través de los lisímetros de pesada.

#### 4. Prototipos desarrollados

Una vez expuesto el estado del arte y la actualidad en cuanto a lisímetros y técnicas de lisimetría se refiere, se va a proceder a comentar brevemente los distintos prototipos desarrollados para la medida del peso en macetas de vid.

##### 4.1 Prototipo con una célula de carga

El primer prototipo desarrollado constaba de una única célula situada en el centro de la base cuadrada del lisímetro. El mayor inconveniente que presentaba este diseño era que el objeto debía de estar situado exactamente en el centro geométrico del soporte, pues de lo contrario la medida del peso resultaba errónea. Subsanado este problema, se presentaba otro a largo plazo: el crecimiento de la planta es irregular, por lo que el centro geométrico también variaría pese a que la base de la maceta estuviera situada en dicho centro.

**Figura 1: Prototipo con una célula de carga**



#### **4.2 Prototipo con dos células de carga**

Para este prototipo se introdujo una segunda célula (una a cada lado del soporte cuadrado=, sin embargo, carecía de equilibrio y por tanto, era inestable a la hora de soportar cualquier peso.

#### **4.3 Prototipo con tres células de carga (definitivo)**

Para darle estabilidad a la plataforma se diseña una base triangular equilátera, situando las células de carga en los extremos de los vértices y una estructura rígida que servirá de soporte a las células. La conexión entre las células y la plataforma estará articulada para eliminar la transmisión de momentos a las mismas evitando posibles perturbaciones en las medidas del peso.

Por encima de la plataforma triangular y unida rígidamente a ella, se coloca una estructura porticada formada por perfiles de aluminio, para dar soporte a una espaldera de 1200x1000 milímetros, de forma que esta se pueda colocar libremente desde una posición vertical hasta tener una inclinación de 45 grados.

Para recoger todo el agua percolada de la maceta se diseña un recipiente de forma ovoide que envuelve la parte inferior de la misma y dispone en su parte más baja de un conducto que atraviesa la plataforma y que termina en un recipiente el cual está suspendido de otra célula de carga. El agua percolada en el recipiente inferior, de forma esférica, puede ser pesado por dicha célula. El recipiente dispone de dos electroválvulas, una a la entrada del mismo, que está normalmente abierta y otra, a la salida, normalmente cerrada de forma que se puede controlar la cantidad exacta de agua percolada de la maceta.

Para su fabricación se utilizaron barras y plancha de aluminio, por su gran ligereza y resistencia. El montaje se realizó de forma modular, uniendo las diferentes piezas con remaches y pasadores con tuerca, lo que contribuyó a aumentar la facilidad de mantenimiento en caso de desperfecto o rotura de alguna pieza.

A continuación se muestran algunas imágenes en 3D del diseño y del lisímetro acabado:

**Figura 2: Vistas en 3D del prototipo definitivo**



## **5. Desarrollo e implementación en campo**

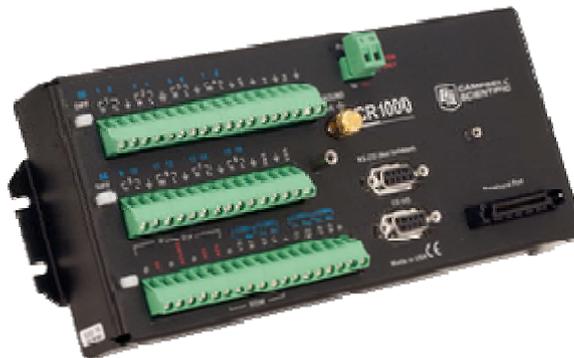
Una vez finalizado el prototipo de lisímetro con cuatro células de carga y base triangular, se procedió a su montaje y configuración para la toma de medidas en campo. Para el realizar el ensayo se instaló el prototipo en las instalaciones de la UMH, concretamente en la Escuela Politécnica de Orihuela (EPSO).

**Figura 3: Lisímetro instalado en campo**



Junto con el lisímetro se instaló un datalogger para registrar los datos de peso obtenidos del lisímetro, así como el peso del drenaje de agua experimentado por la maceta y recogido por un depósito instalado para tal fin. El modelo de datalogger escogido fue el CR1000, de Campbell Scientific.

**Figura 4: Datalogger CR1000**



### **5.1 Calibración de las células de carga**

Previamente a su puesta en funcionamiento en campo, se programó el datalogger en laboratorio y se realizó el proceso de calibración de las células de carga seleccionadas para instalarlas en el lisímetro. El modelo de las células de carga escogido fue el 108TA del fabricante Vetek, del cual se instalaron 3 células de 30 kg para medir el peso de la planta y una célula de 10 kg para medir el peso del agua drenada recogida por el depósito.

**Figura 5: Célula de carga Vetek 108TA**



Para el proceso de calibración, se creó una recta de calibración lineal para cada célula, ya que los parámetros que determinan su funcionamiento varían de una a otra y, por tanto, cada recta de calibración es diferente en cualquier célula. Dichos parámetros son:

$$P = S * V + B_z$$

Dónde:

- "P" es el Peso resultante de la medición de la célula (Valor en Voltios).
- "S" es la Sensibilidad de Salida (Output Sensitivity). Nos determina los voltios de salida en función de los voltios de alimentación que conectemos a la célula (mV/V). En la hoja que aparece en la figura anterior, el valor es de 1,96 por lo que por cada voltio de entrada, obtendremos proporcionalmente 1,96 mV de salida.
- "V" Tensión de salida de la célula. Es el valor en voltios resultante de la variación resistiva del puente de Wheatstone que compone la célula de carga.

Con los parámetros anteriores, se procedió a realizar un ensayo de pesada, sometiendo al lisímetro a diferentes pesos. Los resultados fueron los siguientes:

**Tablas 1,2 y 3: Calibración de las células de carga**

Célula de carga N°1			
mV	Gramos	Valor real	Diferencia
0,059	898,98	998	99,5
0,072	1096,45	1202	105,6
0,125	1903,55	2003	99,4

---

<b>Célula de carga Nº2</b>			
<b>mV</b>	<b>Gramos</b>	<b>Valor real</b>	<b>Diferencia</b>
0,061	907,69	998	90,3
0,074	1126,90	1202	75,10
0,125	1903,55	2003	99,4

---

<b>Célula de carga Nº3</b>			
<b>mV</b>	<b>Gramos</b>	<b>Valor real</b>	<b>Diferencia</b>
0,059	907,69	998	90,3
0,072	1107,69	1202	94,4
0,125	1903,55	2003	99,4

## 5.2 Programación del CR100

Algunas de las características más reseñables son las siguientes

Posee 2Mb de memoria standard, 4Mb opcionales y posibilidad de ampliación un módulo adicional de memoria Compact Flash.

CPU interna de 32-bit.

Ocho canales diferenciales de entrada analógicos, dos canales contadores de pulsos y ocho puertos digitales I/O de control, complementado con puerto CS I/O y RS232 y opcionalmente Ethernet, RS485.

Capacidad de ampliación con multiplexores, interfaces SDI-12 ó periféricos SMD. Como se verá más adelante, será necesaria la implementación de un multiplexor.

El datalogger se puede alimentar por cualquier fuente de 12Vdc. El rango permitido es de 9.6 a 16 voltios.

Hay que mencionar el hecho de que al tratarse de un datalogger relativamente antiguo, éste se comunicaba por RS-232 al PC por lo que fue necesaria la utilización de un adaptador RS-232 a USB.

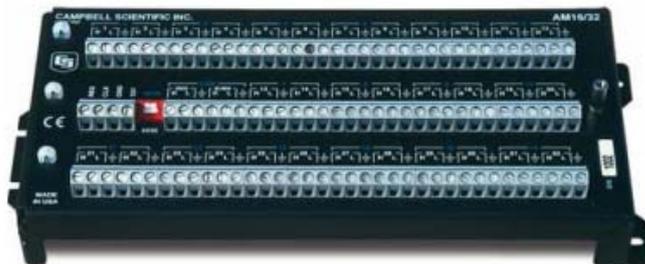
El funcionamiento de las células de carga sigue una configuración en puente de Wheatstone para registrar la variación de la resistencia de la galga. El CR1000 permite la configuración y programación de dicho puente. Para la programación del datalogger se utiliza el software LoggerNet, que actúa como una suite donde se puede conectar, programar, configurar y recuperar los datos del CR1000.

**Figura 6: Software Loggernet**



Debido a que el software permite únicamente la medida de 3 sensores de forma simultánea, se necesita otra solución para poder leer el valor de nuestras cuatro células (3 de pesada en las esquinas + depósito). Se añade entonces, el multiplexor de relés AM16/32 de la misma casa, Campbell Scientific, que permite aumentar el número de sensores a muestrear que se ubica entre los sensores y el datalogger. Usa relés, y de forma manual con un switch, se pueden configurar dieciséis grupos de cuatro líneas o treinta y dos grupos de dos líneas multiplexables de forma secuencial.

**Figura 7: Multiplexor para CR100**



Con este dispositivo, y partiendo del programa básico creado con Shorcut, se utilizó el editor de código CRBasic (ambos programas de la suite Loggernet) para añadirle funciones y modificarlo de una forma más profunda. Se diseñó un programa capaz de tomar las lecturas de las cuatro células de carga y convertirlas en peso. Además, dicho programa sirvió para comandar la apertura de dos electroválvulas situadas al comienzo y al final del depósito, que se usaron para vaciarlo de forma automática.

### 5.3 Instalación del sistema

El código anteriormente descrito es el que ha estado funcionando en el lisímetro de prueba instalado en la parcela durante buena parte del periodo estival. Dicha parcela se encuentra en el interior del recinto de la UMH de Orihuela. Con una superficie de 396 m<sup>2</sup> y orientación Norte-Sur, con un total de 97 cepas plantadas en macetas de 50 litros de capacidad orientadas Noroeste-suroeste, marco de plantación de 0,108 m<sup>2</sup> de marco por maceta, dando espacio para las plantas y para el sistema de lisímetros que se está montando en la parcela, compuesto por 16 lisímetros y una estación meteorológica. Se instaló el prototipo el 31 de julio y se calibró el equipo a lo largo del mes de agosto de 2012.

**Figura 8: Instalación del CR1000 en campo**



El datalogger estuvo guardado en una caja sellada o arqueta en la que se almacenó junto al multiplexor, la fuente de alimentación y el circuito de potencia encargado de activar las electroválvulas. Dicha caja estuvo sujeta a un poste de hierro forjado, con el que compartió un cuadro eléctrico compuesto por un diferencial y cuatro tomas de fuerza.

Junto al soporte que contenía a datalogger, se instaló el lisímetro con las células de carga implementadas y del que se tomaron datos que más adelante se comentarán.

**Figura 9: Instalación del lisímetro en campo**

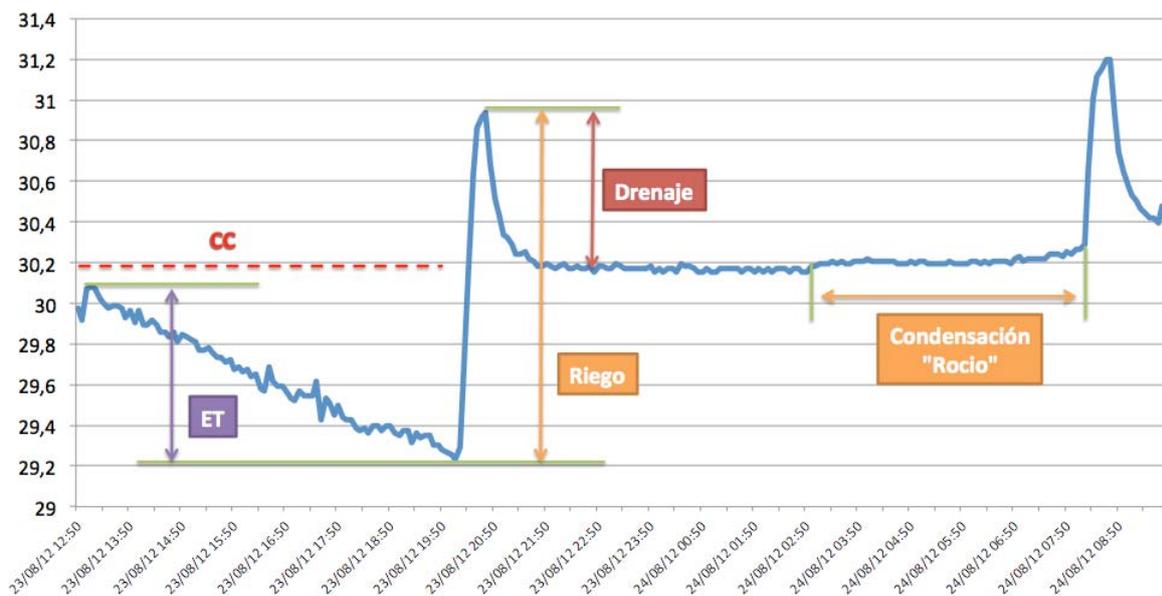


#### **5.4 Resultados**

A raíz de las muestras tomadas con el lisímetro, se han obtenido interesantes resultados que muestran la evolución del peso que experimenta la planta en el proceso de regado, retención y drenaje de agua.

Se puede apreciar las variaciones de peso (en kg) correspondientes a la evotranspiración, el regado, el drenaje y la posterior condensación que sufre la planta.

**Figura 10: Datos de peso obtenidos con CR1000**



## 6. Conclusiones

Durante este corto periodo de tiempo de la instalación, se ha comprobado que el diseño de la estructura es el adecuado como soporte de los lisímetros, permitiendo un ahorro en material estructural debido a su forma triangular y que por su diseño modular permite su fácil traslado y su instalación en el campo. Y así como las lecturas de evotranspiración son las correctas.

Ahora se debe estudiar el comportamiento del lisímetro en una serie larga de tiempo y la influencia que puede tener el mismo a las posibles incidencias meteorológicas extremas que pudieran ocurrir, aunque por su diseño modular siempre es posible sustituir las partes dañadas y llevar un control para la posible recalibración de las células de carga.

La influencia de las acciones meteorológicas extremas sobre la estructura del lisímetro; principalmente, fuerza ejercida por el viento y la lluvia, durante periodos prolongados, permitirá validar el diseño, cálculo estructural por elementos finitos, y ejecución de la estructura que constituye el lisímetro, incluyendo el marco para la espaldera y la destrucción de vid sobre él.

## 7. Referencias

- Larsbo, M., Jarvis, N. (2006). Information content of measurements from tracer microlisimeter experiments designed for parameter identification in dual-permeability models. *Journal of Hydrology*, 325, 1–4: 273–287
- Liu S. Bai J., Jia, Z., Jia, L., Zhou H., Lu L. (2009). Estimation of evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 573–584.
- Xinmin Z., Lin, H.; Xiuju B., Bingxiang Z., Fahe, C., Xinzhang, S. (2007). The most economical irrigation amount and evapotranspiration of the turfgrasses in Beijing City, China. *Ag. Wat. Manag.* 89: 98 – 104.
- Zhi-Shan Z., Li-Chao L., Xin-Rong L., Jing-Guang Z., Ming-Zhu H., Hui-Juan T. (2008). Evaporation properties of a revegetated area of the Tengger Desert, North China. *Journal of Arid Environments* 72: 964–973.