

MEDIDAS DE REGISTRO CONTINUO CON UN LISIMETRO DE PESADA PARA MONITOREAR LA EVAPOTRANSPIRACION REAL

Faramiñán Adán¹, Carmona Facundo², Rivas Raúl³, Bayala Martín⁴, Scasso Mariano⁵

Resumen

La evapotranspiración se define como la combinación de la evaporación y transpiración del agua que se pierde a través de la superficie del suelo y la vegetación respectivamente. Puede obtenerse de forma indirecta a escala local por medio de información registrada en estaciones agrometeorológicas, o a escala regional con el uso de datos de satélite. Para tener fiabilidad de los modelos utilizados, es de suma importancia validar la información generada con medidas directas de evapotranspiración por medio de lisímetros. En esta línea, este trabajo presenta el diseño, construcción e instalación de un lisímetro de pesada de registro continuo en un suelo argiudol típico, desarrollado en el marco de mi plan de beca de entrenamiento de la CIC. Las primeras medidas continuas de la pérdida real de agua del sistema se compararon con medidas de sensores de humedad dentro del perfil de suelo. En conclusión, se obtuvieron valores de la evapotranspiración para días con un perfil de suelo seco y otro húmedo; a través de datos de humedad del suelo se demostró que para el primer periodo la energía se pierde en forma de flujo de calor sensible y para el segundo la energía se emplea en el proceso de evapotranspiración.

1. Introducción

El seguimiento de la disponibilidad de agua en los primeros decímetros del suelo es fundamental para diversos estudios (hidrológicos, agronómicos, de cambio global, entre otros). Alrededor del mundo, la cantidad de puntos en los que se registra de manera continua el agua disponible en la zona no saturada es escasa. Lo mismo ocurre en Argentina, y es necesario que se comiencen a instrumentar las diferentes cuencas hidrológicas del país con aparatos y sensores que permitan un adecuado registro del almacenamiento de agua en el suelo. Como bien se conoce, una de las variables más importantes a monitorear es la evapotranspiración (ET), definida como la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y, por otra parte, mediante transpiración desde la vegetación.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada

¹ Facultad Cs. Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Bs. As. (UNCPBA). Becario de Entrenamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) con lugar de trabajo en el Instituto de Hidrología de Llanura (IHLLA). adanfaraminian@gmail.com

² IHLLA. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
facundo.carmona@rec.unicen.edu.ar

³ IHLLA. CIC. rrivas@rec.unicen.edu.ar

⁴ IHLLA. CIC. martin.bayala@rec.unicen.edu.ar

⁵ CIFICEN. CONICET. scasso.mg@gmail.com

principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por el proceso de evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (Allen et al., 1998).

Hoy en día, existe una diversa gama de métodos para estimar la ET a diferente escala espacial. A escala puntual, se puede determinar por medio de porómetros, medidores de flujo de sabia en la planta y lisímetros, estos últimos dan como resultado la evapotranspiración real. A escala de parcela por medio de balances de agua, relación de Bowen, centillómetros, entre otros; y a escala regional, principalmente, por medio de balances de energía (o ecuaciones derivadas) incorporando datos de satélite (Rivas y Carmona, 2010; Carmona et al., 2016).

Por otro lado, para el desarrollo del proceso de la ET, como se mencionó en el principio del apartado, se necesita una fracción de agua disponible en el suelo, denominada Fracción Evaporativa (FE). La FE es un indicador de la humedad de suelo (Hs), la cual juega un rol fundamental en el ciclo hidrológico y en el balance energético del sistema terrestre (Ocampo et al., 2013). Desde el punto de vista energético, cuando el sistema dispone de humedad, la energía es utilizada predominantemente en el proceso de ET y FE tiende a tomar el valor 1. Al contrario con poca o nula humedad de suelo, toda la energía se destina al flujo de calor sensible y la FE se aproxima a cero (Vogt et al., 2011). El estado de humedad de suelo puede determinarse mediante diversos métodos (sonda de neutrones, gravimetría, etc). Al igual que en la ET, la FE se puede determinar a partir del balance de agua. Una posibilidad de conseguirlo es a través de lisímetros (Santa Olalla Mañas et al., 2005). Según el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO, un lisímetro consiste en una vasija que contiene una muestra del suelo local con su parte superior a nivel con la superficie del terreno, para el estudio de varias fases del ciclo hidrológico, por ejemplo infiltración, escorrentía, evapotranspiración, eliminación de componentes solubles por el drenaje, entre otros. Es decir, un lisímetro simula la relación natural que existe entre el suelo, la vegetación y la atmósfera. Existen diferentes tipos de lisímetros (Aboukhaled et al. 1986; Parisi et al., 2009) entre los que se pueden citar a los lisímetros de drenaje (LD) y a los lisímetros de pesada (LP). Estos últimos proporcionan datos sobre la variación promedio del contenido de agua en el suelo, que viene dada por la diferencia en el peso del lisímetro antes y después de un período determinado de tiempo. Los LP proveen datos continuos o discretos. La diferencia entre éstos es que los primeros registran datos en un datalogger y los segundos corresponden a medidas, por lo general manuales, que se realizan con un cierto intervalo de tiempo (medidas intermitentes, del orden de días) (Howell et al., 1991).

En este trabajo se presenta el diseño y construcción e instalación de un lisímetro de pesada de registro continuo, construido en el marco de mi plan de beca de entrenamiento de la CIC, y las primeras medidas de la evapotranspiración real que se registraron. También se analizan medidas indirectas de la humedad del suelo a través de sensores con el objetivo de conseguir la Fracción Evaporativa y validarlos con datos estimados a partir del lisímetro.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El lisímetro de pesada se instaló dentro de la parcela experimental ubicada en el Campus Universitario Tandil ($37^{\circ} 17'$ de latitud Sur y $59^{\circ} 07'$ de longitud Oeste, 214 msnm), de la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, que mantiene el Instituto de Hidrología de Llanura "Dr. Eduardo Usunoff" desde el año 2005 (Figura 2).

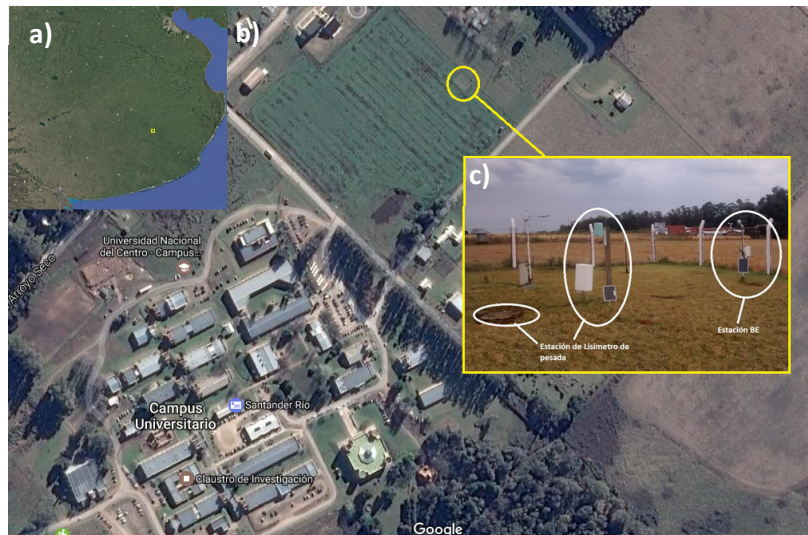


Figura 1. En la imagen a) se observa una imagen satelital de la Provincia de Buenos Aires; el partido de Tandil marcado en amarillo, en la figura b) se muestra el campus Universitario de la ciudad de Tandil señalando la ubicación de las estaciones (Google Inc. 2017) y en la figura c) muestra la Estación del LP a la izquierda de la imagen y la derecha la Estación de Balance de Energía (EBE,) ambas utilizadas para este trabajo.

La ciudad de Tandil, está ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. Se halla a 352 Km de la ciudad de Buenos Aires. Posee un clima templado subhúmedo, con precipitación promedio anual (1994-2014) de 925 mm y una ET de entre 730 y 820 mm/año (Aliaga et al. 2017, Ocampo et al. 2013).

El suelo corresponde a un Argiudol Típico (Rivas & Ocampo, 2009), con una cubierta vegetal mixta (*Dactylisglomerata*, *Festucaarundinacea* y *Lolium Multiflorum*) y está rodeada por un área de experimento de pastoreo de ganado vacuno (Schirmbeck & Rivas, 2007).

2.2 Diseño del lisímetro

En el montaje del lisímetro se siguieron los pasos establecidos por Aboukhaled et al. (1982) quienes consideran a los lisímetros como "recipientes grandes llenos de suelo, capaces de representar sus condiciones naturales, de superficie y su comportamiento en el tiempo. Uno de los objetivos en la construcción del lisímetro de este trabajo fue no

perturbar el suelo en su instalación, conservando la estructura del suelo a monitorear, su biota, la pastura natural y por ende las raíces de la misma. La ventaja de esta práctica sirve para mantener las características biológicas, texturales y estructurales originales del suelo y no tener que esperar un tiempo a que se reacomode (Faramián, 2017).

El cilindro del lisímetro posee 3 mm de espesor, un diámetro de 0,59 m y 0,55 m de alto, de los cuales los 0,05 m de la base corresponden a la estructura de drenaje. Esta última está diseñada para facilitar el drenaje del excedente de agua. La profundidad seleccionada queda definida por la exploración de raíces y no supera los 0,50 m (Dormaar & Chanasyk, 1995). Abajo del lisímetro se encuentra una balanza (celdas de carga) que soporta 300 kg (con un error de medición de 100 gramos) con el objetivo de registrar el peso de suelo a estudiar. Además, cerca del lisímetro se encuentra un pluviógrafo para registrar las precipitaciones. La balanza y el pluviógrafo se encuentran conectados a un datalogger (DL) para almacenar las medidas del peso del lisímetro y las precipitaciones respectivamente. Los valores medidos del peso se almacenan cada 10 minutos. Los datos se descargan directamente desde el DL mediante una notebook.

En la Figura 2 se observan las dimensiones del lisímetro, indicando además otras especificaciones del mismo, como por ejemplo el sistema de drenaje. En la Figura 3 se observa la disposición final del LP la que incluye el suelo sin disturbar con la vegetación mixta que representa la cobertura de la parcela.

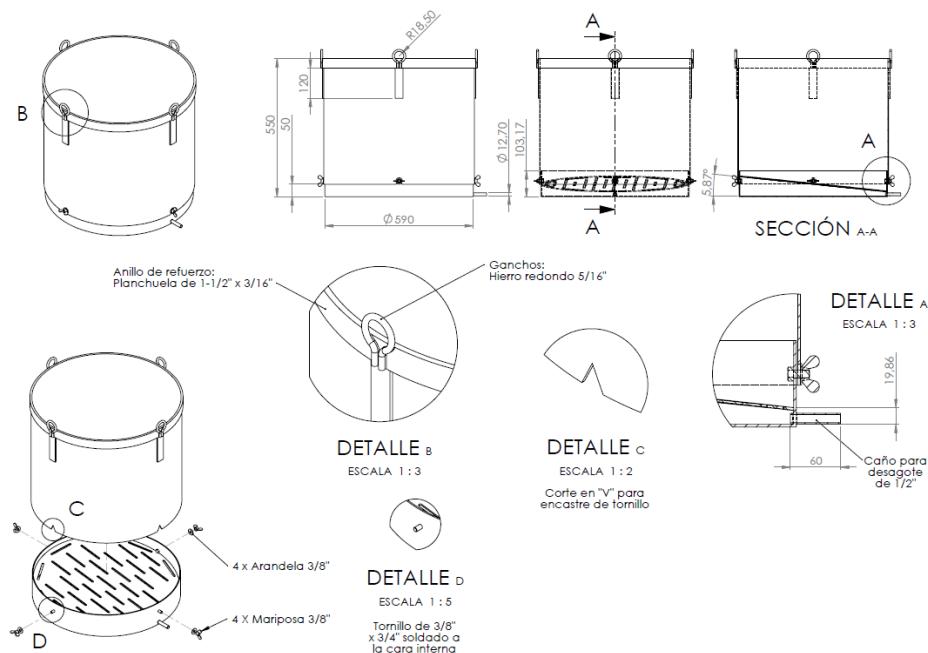


Figura 2. Características y dimensiones del lisímetro. Se detalla el diámetro, el alto del lisímetro, el sistema de drenaje, entre otros detalles.



Figura 3. Estación del Lisímetro de Pesada. En la figura se observa el lisímetro y el gabinete que contiene el sistema de recolección de datos.

Además del lisímetro, en este trabajo se usaron datos de sensores de humedad que cubren los 20-40 cm y 0-10 cm de profundidad en el suelo. Los mismos se encuentran en la parcela experimental dentro de otro lisímetro previamente instalado.

La humedad del suelo (HS) se registró con los sensores Decagon modelo EC-10 (0-10 cm) y Cavadevices modelo SCH-20 (20-40 cm). Las medidas registradas corresponden a valores en mV que luego de aplicar las funciones específicas propias de cada sensor se obtienen valores de humedad volumétrica (θ).

2.3 Métodos de cálculo

Se programó la balanza para que se registraran pesadas cada 10 minutos, y se utilizó las medidas del peso (P) promedio horario del lisímetro para calcular la ET_{real} (Ecuación 1).

$$ET_{Real} = P_i - P_{i-1} \quad (1)$$

donde i equivale a la hora en que se realizó la medición. La ET se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. La relación para obtener unidades de altura de agua se obtiene de acuerdo a las dimensiones del lisímetro. Se obtuvo que 1 kilogramo de agua equivale a 3,66 mm de altura de agua. Además, el error de la balanza (100 gramos) se traduce en un error inferior a los 0,4 mm.

La Fracción Evaporativa (FE), se determinó según dos metodologías. Por un lado a partir de la variación del peso del lisímetro, la cual se consideró como la medida real “observada” de la disponibilidad de agua en el suelo; y por otro, a partir del registro de humedad detectado por los sensores de HS utilizados, considerado en este caso como la

disponibilidad de agua en suelo “estimada”. Para ambos métodos se realizó un análisis diario, promediando los valores proporcionados por el lisímetro y los sensores.

La Ecuación 3 permitió el cálculo de la FE a partir de los registros de variación del peso del lisímetro (FE_{LI}):

$$FE_{LI} = \frac{P_i - P_{mín}}{P_{máx} - P_{mín}} \quad (2)$$

donde P_i es el peso del lisímetro registrado el día i , $P_{mín}$ es el peso mínimo (sin agua en el perfil del suelo) y $P_{máx}$ es el peso máximo registrado en el lisímetro (capacidad de campo).

La Ecuación 4 permitió el cálculo de FE a partir de los registros de humedad de suelo medidos por los sensores (FE_{SE}):

$$FE_{SE} = \frac{HS_i - HS_{mín}}{HS_{máx} - HS_{mín}} \quad (3)$$

donde HS_i es la humedad de suelo promedio registrada por los sensores a dos profundidades el día i (a escala diaria), $HS_{mín}$ es la humedad mínima de suelo y $HS_{máx}$ es la humedad máxima de suelo.

3. Resultados y discusión

A continuación se muestran los primeros datos registrados, es decir las pesadas promedio horarias del lisímetro para el periodo que abarca desde el 16/2/2017 hasta el 5/3/2017. Se incluye la entrada de agua al sistema (lisímetro) por precipitaciones para el mismo periodo (Figura 4).

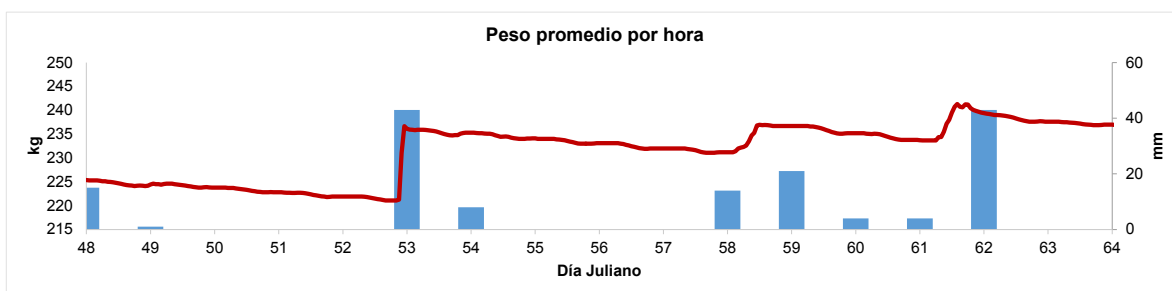


Figura 4. Peso promedio por hora (kg) y, además, las precipitaciones de cada día (mm).

Se observa el aumento del peso del lisímetro para los días que producen precipitaciones. Las diferencias en los picos se debe que la medida de la precipitación es la acumulada para el día indicado. Los datos de las pesadas se muestran en kilogramos, para una evaluación mejor se pasaron las medidas a milímetros, así la diferencia entre pesadas es una medición directa de la ET, como se observa en la Figura 5.

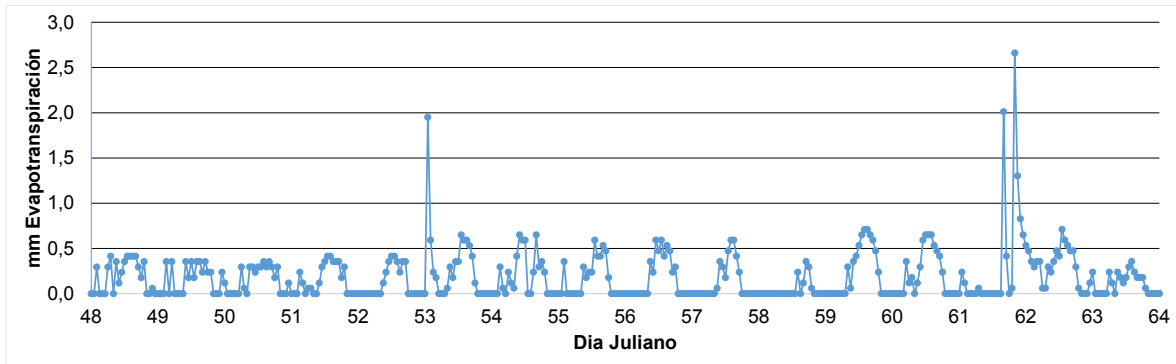


Figura 5. Primeros datos de la ET real horaria proporcionados por el lisímetro de pesada de registro continuo.

Los picos altos que se observan en la Figura 5 no se deben a la evapotranspiración, sino al drenaje de las precipitaciones que ocurrieron en ese momento. La mayoría de datos con valores igual a 0 se deben a registros en horario nocturno. Para el periodo analizado evapotranspiraron aproximadamente 130 mm de agua, con una media de 0,18 mm/h. En este intervalo de tiempo se registraron dos días con altas precipitaciones, pero también días con altas temperatura, beneficiando a la salida por ET.

En la Figura 6 se representa la fracción evaporativa promedio para cada día calculada por medio de las diferencias de pesada (FE_{LI}) y por los sensores de humedad (FE_{SE}), Ecuaciones 2 y 3 respectivamente. La mayoría de los días los valores de FE_{SE} y FE_{LI} se comportan de manera similar. Las diferencias encontradas se debe a que los sensores de humedad utilizados cubren 30 cm del perfil de suelo (de 0 a 10 cm y de 20 a 40 cm por debajo de la superficie) frente a los 50 cm efectivos del lisímetro (5 cm son ocupados por el sistema de drenaje).

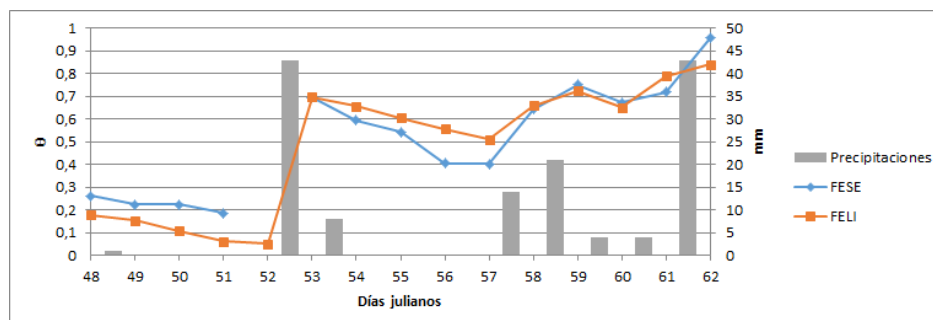


Figura 6. Fracción evaporativa calculada por los sensores de humedad (FE_{SE}) y por medio de las medidas de peso del lisímetro (FE_{LI}). Además, se muestran los valores acumulados diarios de las precipitaciones registradas.

Analizando la Figura 6, desde el punto de vista energético, para los días con alta humedad de suelo (a partir del día 58), la energía es utilizada predominantemente en el proceso de ET, y la FE tiende a tomar el valor próximo a 1. Al contrario, para el intervalo de tiempo comprendido entre los días julianos 48 y 52, casi toda la energía se destina al flujo de calor sensible y la FE tiende a cero.

4. Conclusiones

En este trabajo se demostró que a partir de lisímetros se obtiene una forma simple y directa en la obtención de valores de evapotranspiración real. Además es importante destacar que se llevó a cabo un diseño que permite no disturbar el suelo del interior del lisímetro, lo cual resulta beneficioso dado que no se debe esperar a que se logre recuperar la estructura de los horizontes del suelo, como así también la biota en los horizontes superiores que no se ve alterada.

Como un primer análisis de los datos, los valores medidos en el lisímetro se compararon con medidas de sensores de humedad del suelo, que se encuentran en la misma parcela, obteniéndose una buena correlación entre las fracciones evaporativas calculadas con ambas técnicas. En conclusión, para intervalos con suelo húmedo la energía se utiliza principalmente en el proceso de evapotranspiración, en cambio para intervalos con un suelo seco la mayor parte de energía se pierde en forma de flujo de calor sensible. La información que se obtiene de este estudio servirá para estudiar la variación de la humedad del perfil de suelo, que será de utilidad para calcular la evapotranspiración a escala local y regional por medio de la combinación, y validación, de productos basados en información de satélite.

Agradecimientos

El trabajo se realizó gracias a la beca de entrenamiento otorgada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC), y fondos del proyecto FONARSEC 19 "Desarrollo e implementación de sistemas automáticos de alerta de inundaciones y sequías en el área sur de la cuenca del río Salado, provincia de Buenos Aires" (REDIMEC SRL - ADA – CICPBA).

5. Bibliografía

- Aboukhaled, A., Alfaro, A., & Smith, M. (1982). *Lysimeters, FAO Irrigation and Drainage paper N°39*. Roma.
- Aliaga, V., & Ferrelli, F. (2017). *Regionalization of climate over the Argentine Pampas*. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY.
- Allen, Pereira, Raes, & Smith. (1998). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, FAO Irrigation and Drainage paper N°56*. Roma.
- Carmona, F., Rivas, R., & Caselles, V. (2014). *Estimate of the alpha parameter in an oat crop under rain-fed conditions*. Hydrological Processes, 27 (19), pp. 2834-2839. DOI: 10.1002/hyp.9415.
- Carmona, F., Rivas, R., & Kruse, E. (2016). *Estimación de la evapotranspiración de referencia con datos SNY1-CERES en la vertiente sur de la cuenca del río Salado*. XVII Simposio SELPER, 7-11 de Noviembre de 2016, Puerto Iguazú, Misiones, Argentina.
- Dormaar, J. F., & Chanasyk, D. S. (1995). *Effect of native prairie, crested wheatgrass (Agropyron cristatum (L.) Gaertn.) and Russian wildrye (Elymus junceus Fisch.) on soil chemical properties*. J. Range Manag., vol 48, no. 3, pp.258-263.
- Faramián, A., Carmona, F., Rivas, R., & Bayala, M. (2017). *Medida directa de la evapotranspiración por medio de un lisímetro de pesada digital*. Reunión científica

- de la Asociación de Astronomos, Geofisicos y Geodestas (AAGG 2017). La Plata, Argentina.
- Faramiñán, A. *Diseño, puesta en marcha y control de un lisímetro de pesada de registro continuo*. Practica Profesional Supervisada para la obtención del título de pregrado *Analista en el monitoreo del ambiente* de la Fac. de Cs. Exactas. UNCPBA. 2017.
- Howell, A., Schneider, A. D., & Jensen, M. E. (1991). *History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements*. New York: In: *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, Proceeding of International Symposium on Lysimetry*.
- Ocampo, D. (2013). *Estimación de la fracción evaporativa a partir de registros de humedad de suelo y un lisímetro de pesada*. E-ICES8.
- Parisi, S., Mariani, L., Cola, G., & Maggiore, T. (2009). *Mini-Lysimeters evapotranspiration measurments on suburban enviroment*. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3:13-16.
- Penman, H. (1948). *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Londres: PROC. Roy. Soc., A 193:120-146.
- Rivas, R., & Carmona, F. (2010). *La ecuación de Priestley-Taylor aplicada a nivel de píxel: una alternativa para estudios detallados de cuencas*. *Boletín Geológico y Minero*, 121 (4): 401-412.
- Rivas, R., & Ocampo, D. (2009). *Comportamiento del balance de energía en un cultivo de Avena sativa L. Estudios en la Zona no saturada del Suelo, Vol IX O. Silva et al.* Barcelona.
- Rivas, R., Caselles, V., & Usunoff, E. (2002). *Reference evapotranspiration in the Azul River Basin, Argentina, , Mar del Plat.* Mar del Plata, Argentina: Actas XXXII AIH & VI ALHSUD Congress Groundwater and Human Development, pp. 693-700.
- Santa Olalla Mañas, Lopez Fuster, F., & Calera Belmonte, A. (2005). *Agua y Agronomía*. Mundi-Prensa Libros S.A., 606 pp.
- Schirmbeck, & Rivas, R. (2007). *Comportamiento de los términos del balance de energía en una pastura. TELEDETECCION, Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Martin ISBN: 978-987-543-126-3.
- Silicani, M. (2014). *Diseño, construcción y operación de un lisímetro de bajo costo*. Tesis de grado (UNCUYO). Tandil.
- Vogt, J. V., Niemeyer, S., & Viau, A. A. (2011). *Monitoring water stress at regional scales*. Canada: Proceedings of the 23rd Canadian Symposium on Remote Sensing.