

# **Proyecto:** Estimación de la evapotranspiración real de vid mediante modelos físicos y sensores remotos, a escala planta, parcelaria y regional

Postulante: Guillermo Federico Olmedo

## **Abstract**

La estimación de las necesidades de agua de los cultivos a partir de la cuantificación de la evapotranspiración real (Etr) del cultivo es un paso importante en la producción agrícola, debido a que los rendimientos y los costos están directamente relacionados a esta. En general los métodos usados son de carácter local, como los coeficientes de cultivo, o el uso de lisímetros, sistemas de covarianza de los torbellinos o la relación de Bowen. Estos métodos, si bien son precisos, tienen limitaciones para ser extrapolados a escala parcelaria y/o regional. Bajo las hipótesis de que: los coeficientes duales permiten modelar el uso de agua de la planta; los sensores proximales permiten medir la variabilidad de consumo de agua en una parcela de vid; y que los sensores remotos, junto con modelos físicos permiten estimar la ETr de la vid, el objetivo general de este proyecto es estimar la evapotranspiración real de vid mediante modelos físicos y sensores remotos, a escala planta, parcelaria y regional. A escala planta, se estudiará la ETr mediante el uso de un lisímetro de pesada, y con esta información se ajustarán coeficientes de cultivo simples y duales. A escala parcelaria se estudiará la variabilidad en estos coeficientes estudiando la diferencias en crecimiento vegetativo, área foliar y fracción de cobertura. Para la estimación de estos parámetros se utilizarán sensores proximales terrestres y aéreos no tripulados. Finalmente se aplicarán modelos físicos para estimar a partir de sensores remotos, la ecuación de balance de energía y de esa forma conocer el consumo de agua de la planta a escala regional. Los resultados esperados son: obtener coeficientes de cultivo para plantas de vid, Malbec, conducidas en espaldera y su variabilidad espacial intraparcilaria; y conocer las necesidades de agua de la vid y su variabilidad a escala parcelaria y regional.

**Keywords.** evapotranspiración real, vid, riego, sensores remotos, balance de energía de la superficie

# 1 Identificación del proyecto

Postulante: OLMEDO, Guillermo Federico

Director: ORTEGA FARÍAS, Samuel (UTalca, Chile)

Co-director: VALLONE, Rosana (INTA – UNCuyo)

Disciplinas: Riego, Geomática, Viticultura de precisión, Modelos de balance de energía de la superficie.

# 2 Fundamentación del problema

El desarrollo de las actividades económicas en la Provincia de Mendoza, se encuentra limitado por la aridez y el pronunciado déficit hídrico ([Departamento General de Irrigación, 2014](#)). El escaso 3% de la superficie de Mendoza desarrollado bajo oasis artificiales, la aridez que caracteriza a la provincia y el pronunciado déficit hídrico, impiden o limitan el desarrollo de gran parte de las actividades económicas. El desarrollo se encuentra limitado por la ausencia de suficiente oferta de recurso hídrico para satisfacer el crecimiento del área sujeta a regadío o la expansión de otras actividades que, como la urbana, minera o industrial, requieren de la utilización del agua. Hoy la distribución de agua se basa fundamentalmente en la oferta existente.

De acuerdo a [Departamento General de Irrigación \(2014\)](#) en el ciclo 2014-2015, los ríos de Mendoza, transportarán un volumen de agua que no superará la media histórica, debido a las escasas nevadas caídas hasta setiembre de este año. De esta manera los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante y Malargue, ingresarán en el quinto año consecutivo de emergencia hídrica, en tanto, el río Atuel, en el sexto. En general, los volúmenes a escurrir en todos los ríos de la provincia de Mendoza, se encuentran por debajo de las medias históricas, con porcentajes menores al 65% de las mismas, en casi todas las cuencas provinciales.

La determinación de la evapotranspiración real de cultivo ( $ET_r$ ) a escala regional es de fundamental importancia para distribuir eficientemente el agua de riego en los oasis y facilitar la toma de decisiones de los administradores y usuarios del recurso. Permite, además, relacionándola con el agua entregada a nivel de canal, estimar indicadores de eficiencia en el uso del agua.

Tradicionalmente, la evapotranspiración real del cultivo ( $ET_r$ ) ha sido estimada multiplicando la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) por un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), determinado de acuerdo al tipo y estado de crecimiento del cultivo ([Allen et al., 2006](#)). Siempre está la pregunta sobre si el valor de  $K_c$  idealizado es aplicable al crecimiento vegetativo y estado de desarrollo reales, sobre todo en áreas de déficit de recurso hídrico. Por otro lado, es complicado determinar las condiciones actuales de crecimiento de cultivo en un área extendida como los oasis. Los datos satelitales son ideales para derivar datos continuos de  $ET_c$  usando técnicas de balance de energía. Hace más de una década atrás, regionalmente se abordaron algunas de estas técnicas, pero sin aplicación práctica ([Bermejillo and Zuluaga, 1998](#)).

La estimación de las necesidades de agua de los cultivos a partir de la cuan-

tificación de la evapotranspiración real ( $E_{tr}$ ) del cultivo es un paso importante en la producción agrícola, debido a que los rendimientos y los costos están directamente relacionados a esta. En general los métodos usados son de carácter local, como los coeficientes de cultivo, o el uso de lisímetros, sistemas de covarianza de los torbellinos o la relación de Bowen. Estos métodos, si bien son precisos, tienen limitaciones para ser extrapolados a escala parcelaria y/o regional. Además pueden existir grandes variaciones con la evapotranspiración real del cultivo al no considerar variaciones temporales y espaciales causadas por la heterogeneidad de la lluvia y el riego, el suelo, la densidad de las plantas, variabilidad microclimática y diferencias en el estado fenológico (Allen et al., 2011).

### 3 Estado del arte

Los sensores remotos son un aporte a la estimación de la  $ET_r$ , utilizando sensores remotos, que consideran los patrones espacio temporales en el suelo. Los sensores remotos han permitido diferentes enfoques para estimar la  $E_{tr}$  siguiendo enfoques físicos o empíricos. Uno de los modelos mas citados para estimar la  $E_{tr}$  a partir del modelo de balance de energía de la superficie, es METRIC (en inglés Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration) (Allen et al., 2007b). METRIC fue desarrollado en base al reconocido modelo SEBAL (del inglés Surface Energy Balance Algorithm for Land) (Bastiaanssen et al., 1998a,b).

METRIC ha sido aplicado en muchos países del mundo para estimar la  $ET$  de los cultivos, a escalas parcelarias en grandes superficies, utilizando imágenes satelitales. Este modelo se ha aplicado a diferentes cultivos como maiz, trigo, soja y alfalfa con excelentes resultados (errores de 3 a 20%) (Allen et al., 2007a; Choi et al., 2009; Mkhwanazi and Chávez, 2012). En años recientes se ha aplicado a cultivos leñosos con canopeos esparcidas como viñas y olivos (Poblete-Echeverría and Ortega-Farias, 2012; Carrasco-Benavides et al., 2014; Santos et al., 2012; Pôças et al., 2014). Y recientemente se a aplicado a superficies con mucha pendiente (Allen et al., 2013).

Este método se basa en el procesamiento de imágenes satelitales para calcular la  $E_{tr}$  como un residuo del balance de energía de la superficie de la Tierra. Su gran innovación es que en el modelado del balance energético, usa el gradiente de temperatura cercano a la superficie,  $dT$ , íntimamente relacionado a la temperatura de superficie medida radiométricamente, eliminando la necesidad de un modelo de temperatura de la superficie aerodinámicamente preciso y absoluto y la necesidad de mediciones de la temperatura del aire para estimar el flujo de calor sensible en superficie. Además otras ventajas sobre los métodos tradicionales de balances de energía obtenidos con satélite:

- que su calibración se realiza utilizando solamente  $ET_o$ . El uso de esta variable para la extrapolación de la  $ET_r$  instantánea para periodos de 24hs o mayores, compensa los efectos de advección regional por no ligar

$ET_r$  a la radiación neta, dado que la  $ET_c$  puede exceder la radiación neta diaria en muchas áreas áridas o semiáridas.

- ni los estados de crecimiento ni el tipo de cultivo necesitan ser conocidos ( $K_c$ )
- el balance de energía también permite detectar ETc restringida por déficit hídrico ( $K_h$ ) y limitantes edáficas ( $K_s$ ).

Los avances en la tecnología de la percepción remota, la modelización físico-matemática y la instalación de un lisímetro de pesada en cultivo de vid en Luján de Cuyo, Mendoza, posibilitarían la estimación de la  $ET_r$  y el desarrollo de un sitio web para la adquisición del dato en tiempo real. Los mapas de  $ET_r$  obtenidos, permitirían además comparar consumos entre parcelas y zonas, cuantificar el uso de agua mensual y por temporada, apoyar modelos de agua subterránea, determinar coeficientes y curvas medias de  $K_c$  para diferentes sistemas productivos.

Sin embargo, cuando los cultivos tienen una cobertura parcial del suelo, el uso de coeficientes duales de cultivo es mas apropiado (Allen et al., 2006). El cultivo de la vid, conducido en espaldera puede tener una fracción de cobertura ( $f_c$ ) de entre 30 y 35% (Allen, 2000; Poblete-Echeverría et al., 2012). Además con coeficientes duales de cultivo también son mas apropiados bajo prácticas de riego de alta frecuencia, como en el caso de riego por goteo. En vid, bajo clima árido los coeficientes duales han tenido un mejor desempeño que modelos de doble capa como el modelo de Shuttleworth-Wallace (Zhao et al., 2015; Shuttleworth and Wallace, 1985)

Además, bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ETc debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y déficit o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento y menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de  $ET_c$  (Allen et al., 2006)

Y apoyo con sensores remotos en (Er-Raki et al., 2007), y particion en (Er-Raki et al., 2010).

## 4 Marco teórico

METRIC estima la  $ET_r$  como residuo de la ecuación de balance de energía (Ec. 1), utilizando información de imágenes satelitales y de una estación meteorológica ubicada dentro del área de estudio.

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

donde  $LE$  es el flujo de calor latente consumido en el proceso de evapotranspiración ( $W \cdot m^{-2}$ );  $R_n$  es la radiación neta ( $W \cdot m^{-2}$ );  $G$  es el flujo de calor al suelo ( $W \cdot m^{-2}$ ); y  $H$  es el flujo de calor sensible transmitido por convección al aire ( $W \cdot m^{-2}$ ).

La  $R_n$  es calculada considerando los valores de la imagen satelital y datos referidos al momento de captura. Algunos procesos de corrección son necesarios, como correcciones radiométricas y atmosféricas (Tasumi et al., 2008).  $G$  es estimado utilizando una ecuación empírica, propuesta por Allen et al. (2007b) y adaptada a vid por Carrasco-Benavides et al. (2014). Esta ecuación considera la  $R_n$ , la temperatura de superficie, índices de vegetación y el albedo.

Luego,  $H$  es estimada a partir de la selección de píxeles ancla en la imagen. La estimación de  $H$  considera la ecuación general de transporte de calor (Ec. 2), donde  $dT$  es la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire,  $r_{ah}$  es la resistencia aerodinámica al transporte de calor ( $s \cdot m^{-1}$ ),  $\rho$  es la densidad del aire ( $kg \cdot m^{-3}$ ) y  $c_p$  es el calor específico del aire ( $1004 \cdot J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ).

$$H = \frac{\rho \cdot c_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (2)$$

La estimación de  $dT$  es calculada utilizando la relación lineal entre la temperatura del aire y los píxeles ancla, como es descrito en (Bastiaanssen et al., 1998a). Para estimar  $r_{ah}$ , se extrapola la velocidad del viento (medida en la estación meteorológica) a una altura donde se lo considera constante (por ejemplo, 200 meters), y se le aplica un procesos de corrección de la estabilidad iterativo basado en las ecuaciones de Monin-Obhukov (Allen, 1996).

Luego,  $LE$  es estimado con la ecuación 1, y posteriormente, la evapotranspiración instantánea se calcula como:

$$ET_{inst} = 3600 \cdot \frac{LE}{\lambda \rho_w} \quad (3)$$

donde  $ET_{inst}$  es la evapotranspiración instantánea en el momento de pasada del satélite ( $mm \cdot h^{-1}$ ); 3600 es un factor de conversión para pasar de segundos a hora;  $\rho_w$  es la densidad del agua =  $1000 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ ; y  $\lambda$  es el calor latente de vaporización del agua ( $J \cdot kg^{-1}$ ).

Finalmente la ETr diaria es calculada para cada píxel (30 x 30 m) mediante:

$$ET_{24} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} ET_{r-24} \quad (4)$$

El enfoque de SEBAL (balance de energía de la superficie) utiliza datos de temperatura de la superficie mediante sensores remotos, la reflectividad y NDVI. Este modelo utiliza un esquema de transferencia con una fuente de resistencia, donde se deriva  $r_s$ ,  $H$ , y  $\lambda E$  a la humedad de suelos cercana a la superficie. Este esquema hace un uso explícito de la variabilidad espacial observada de la temperatura de la superficie, y su reflectancia en una escena completa libre de nubes.

(Kalma et al., 2008) menciona que el error de unos 30 trabajos de validación mediante métodos de flujo (eddy correlation, bowen ratio) publicados esta en torno a  $50 \text{ Wm}^2$  y los errores relativos son de entre 15% y 30%. Este autor también menciona que la comparación muestra que los métodos analíticos y físicos mas complejos no son necesariamente mas precisos que los enfoques

empíricos / estadísticos. Se ha mejorado mucho el conocimiento de los procesos de evaporación, a escala local, a partir del trabajo con Eddy correlation / Bowen ratio. Pero estas observaciones raramente pueden extenderse a grandes áreas, debido a la heterogeneidad de las superficies y la naturaleza dinámica de los procesos de transferencia del calor. En general los métodos para estimar la  $E$  mediante sensores remotos difieren en: (i) tipo y extensión espacial de la aplicación; (ii) tipo de dato de sensores remotos; (iii) el uso de información (micro) meteorológica y de cobertura de suelos. De acuerdo a Su (2002, citado por (Kalma et al., 2008)) hay 3 grandes enfoques en los métodos de balance de energía. El enfoque residual: como en METRIC donde se estima el  $LE$ , a partir de la diferencia entre la  $R_n$ , y  $H$  y  $G$ . El segundo enfoque utiliza el índice de estrés hídrico para estimar la evapotranspiración relativa (la relación entre la  $ETa/ETp$ ) y luego estimar la  $ETa$  conociendo la  $ETp$ , a partir de datos meteorológicos. Y el tercer y último enfoque es calcular todos los componentes del balance de energía a nivel de superficie mediante modelos continuos de superficie (LSM, por sus siglas en inglés) que incluyen modelos de transferencia suelos-planta-atmósfera (SVAT). La temperatura del suelo superficial incide en los cuatro términos de la ecuación del balance de energía, y en la radiación de onda larga saliente en la ecuación de radiación neta. La temperatura radiativa de la superficie, medida por un radiómetro infrarrojo desde una plataforma espacial, se asume como aproximadamente la temperatura radiométrica hemisférica (Norman and Becker, 1995 citado por (Kalma et al., 2008)). La temperatura de la superficie medida por sensores remotos tiene efectos atmosféricos relacionados con la absorción de la radiación infrarroja por vapor de agua en la atmósfera.

## 4.1 Sensible heat flux

Table ?? shows a review of some errors reported about METRIC model. In this sense, net radiation ( $R_n$ ) and soil heat flux ( $G$ ) usually had the lowest estimation errors. Sensible heat flux ( $H$ ), is the hardest component of surface energy balance to estimate. As (Allen et al., 2007b) mentions, the computation of latent heat flux ( $LE$ ) is only as accurate as the summed estimates for  $R_n$ ,  $G$ , and  $H$ .

One reported weak of METRIC model is the selection of the anchor pixels. In (?) and (?) the differences in  $H$  estimation produced by different trained users were evaluated, showing important biases; while in (??) an analysis showed the high sensitivity of the model respect to the hot pixel.

The aforementioned causes that the METRIC estimation of  $H$  be very sensible to the selection of anchor pixels, due that a group of possible candidates could have minimal differences in some attributes, but these differences can generate important bias in the estimations.

In the early implementations of METRIC, the anchor pixels selection was done manually by an operator, but then a methodology to an automation procedure was proposed in (?) using statistical conditions and expert knowledge. This method aiming to avoid the effect of human criteria that helps to increase the model robustness.

## 5 Hipótesis

- Los coeficientes duales permiten modelar por separado el proceso de evaporación del suelo y la transpiración de la planta.
- Los sensores proximales permiten medir la variabilidad de consumo de agua en una parcela de vid.
- Los sensores remotos, junto con modelos físicos permiten estimar la evapotranspiración real de la vid.

## 6 Objetivos

*Objetivo General:* Estimar la evapotranspiración real de vid mediante modelos físicos y sensores remotos, a escala planta, parcelaria y regional

*Objetivo específicos:*

1. Obtener coeficientes duales para la estimación de la evaporación y la transpiración en viñedos
2. Desarrollar un método que permita medir la variabilidad intraparcelsaria del consumo de agua mediante sensores proximales
3. Evaluar las necesidades de agua de la vid mediante el empleo de modelos físicos y de balance de energía, a escala regional

## 7 Metodología

Este proyecto es de investigación aplicada, ya que se utilizarán bases teóricas físicas sobre el balance de energía de la superficie para aportar información en el consumo de agua de la vid.

El alcance de esta investigación es explicativo, ya que evaluará las interacciones entre la energía disponible y la vegetación para entender el proceso de evapotranspiración real de las plantas.

Se realizará un estudio observacional, mediante sensores proximales y remotos para estudiar viñedos a escalas parcelaria y regional e inferir el consumo de agua, a partir de un enfoque cuantitativo utilizando modelos físico-matemáticos.

Este estudio es diacrónico ya que se evaluarán las variables en estudio a lo largo del ciclo del cultivo y en diferentes años.

Las mediciones de campo para el estudio de las escalas planta y parcelario se realizarán en una parcela de 2.44 ha de vid, variedad Malbec (clon 19 INTA) conducida en espaldero alto. El riego de la parcela es por goteros autocompensados ( $q$  1.6 l/h espaciados a 0.6m).

Sobre esta parcela se encuentra instalado un lisímetro de pesada (Olmedo et al., 2012). Los lisímetros son tanques aislados rellenos con suelo disturbado o

no disturbado en los que el cultivo crece y se desarrolla en las mismas condiciones del campo (Montoro et al., 2008). En lisímetros de pesaje de precisión, la evapotranspiración se puede obtener con una exactitud de décimos de milímetro, donde la pérdida de agua es medida directamente por el cambio de masa y períodos pequeños tales como una hora pueden ser considerados. Las técnicas micrometeorológicas como el método de la relación de Bowen o la covarianza de torbellinos se pueden utilizar para medir directamente la  $ET_r$ , pero los lisímetros de pesada siguen considerándose el método estándar de determinación (Payero and Irmak, 2008).

### 7.1 Objetivo Específico 1

Obtener coeficientes duales para la estimación de la evaporación y la transpiración en viñedos.

Los modelos de doble capa permiten modelar por separado el proceso de evaporación del suelo y la transpiración de la planta

### 7.2 Objetivo Específico 2

Desarrollar un método que permita medir la variabilidad intraparceldaria del consumo de agua mediante sensores proximales

Los sensores proximales permiten medir la variabilidad de consumo de agua en una parcela de vid

### 7.3 Objetivo Específico 3

Evaluar las necesidades de agua de la vid mediante el empleo de modelos físicos y de balance de energía, a escala regional

Los sensores remotos, junto con modelos físicos permiten estimar la evapotranspiración real de la vid

## 8 Resultados Esperados



## References

- Allen, R., Irmak, A., Trezza, R., Hendrickx, J. M. H., Bastiaanssen, W., and Kjaersgaard, J. (2011). Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrological Processes*, 25(26):4011–4027.
- Allen, R. G. (1996). Assessing Integrity of Weather Data for Reference Evapotranspiration Estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122(2):97–106.
- Allen, R. G. (2000). Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. 229:27–41.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, volume 56. Food & Agriculture Org.
- Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., and Robison, C. W. (2007a). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4):395–406.
- Allen, R. G., Tasumi, M., and Trezza, R. (2007b). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133:380.
- Allen, R. G., Trezza, R., Kilic, A., Tasumi, M., and Li, H. (2013). Sensitivity of Landsat-Scale Energy Balance to Aerodynamic Variability in Mountains and Complex Terrain. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(3):592–604.
- Bastiaanssen, W., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J., Roerink, G., and van der Wal, T. (1998a). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212-213:213–229.
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. a., and Holtslag, a. a. M. (1998b). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212-213(1-4):198–212.
- Bermejillo, A. and Zuluaga, J. M. (1998). *Estimación de la evapotranspiración real regional a partir de datos satelitales*. PhD thesis, Universidad Nacional de Cuyo.
- Carrasco-Benavides, M., Ortega-Farías, S., Lagos, L., Kleissl, J., Morales-Salinas, L., and Kilic, A. (2014). Parameterization of the Satellite-Based Model (METRIC) for the Estimation of Instantaneous Surface Energy Balance Components over a Drip-Irrigated Vineyard. *Remote Sensing*, 6(11):11342–11371.

- Choi, M., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Allen, R. G., Li, F., and Kjaersgaard, J. H. (2009). An intercomparison of three remote sensing-based surface energy balance algorithms over a corn and soybean production region (Iowa, U.S.) during SMACEX. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(12):2082–2097.
- Departamento General de Irrigación (2014). Pronóstico de escurrimientos. Technical report.
- Er-Raki, S., Chehbouni, a., Boulet, G., and Williams, D. (2010). Using the dual approach of FAO-56 for partitioning ET into soil and plant components for olive orchards in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 97(11):1769–1778.
- Er-Raki, S., Chehbouni, a., Guemouria, N., Duchemin, B., Ezzahar, J., and Hadria, R. (2007). Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 87:41–54.
- Kalma, J. D., McVicar, T. R., and McCabe, M. F. (2008). Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, 29:421–469.
- Mkhwanazi, M. M. and Chávez, J. L. (2012). Using METRIC to Estimate Surface Energy Fluxes over an Alfalfa Field in Eastern Colorado. *Environmental Engineering*, (970).
- Montoro, a., Urrea, R. L., Mañas, F., Fuster, P. L., and Fereres, E. (2008). Evapotranspiration of grapevines measured by a weighing lysimeter in la Mancha, Spain. 792:459–466.
- Olmedo, G. F., Vallone, R. C., and Tozzi, F. (2012). Diseño y construcción de un lisímetro de pesada para la medición de la evapotranspiración real en vid en Mendoza, Argentina. In *VI Jornadas de Riego y Fertirriego*, Mendoza, Argentina.
- Olmedo, G. F., Vallone, R. C., and Tozzi, F. (2013). Diseño y construcción de un lisímetro de pesada para la medición de la evapotranspiración real en vid en Mendoza, Argentina. In *XXIV Congreso Nacional del Agua*, San Juan, Argentina.
- Payero, J. O. and Irmak, S. (2008). Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. *Irrigation Science*, 26(2):191–202.
- Poblete-Echeverría, C. and Ortega-Farias, S. (2012). Calibration and validation of a remote sensing algorithm to estimate energy balance components and daily actual evapotranspiration over a drip-irrigated Merlot vineyard. *Irrigation Science*, 30(6):537–553.

- Poblete-Echeverría, C., Ortega-Farias, S., and Zuñiga, M. (2012). Estimation of Dual Crop Coefficients Over a Drip-Irrigated Merlot Vineyard Using Sap Flow Sensors and Eddy Covariance System. *Acta Horticulturae*, (951):269–275.
- Pôças, I., Paço, T. a., Cunha, M., Andrade, J. a., Silvestre, J., Sousa, A., Santos, F. L., Pereira, L. S., and Allen, R. G. (2014). Satellite-based evapotranspiration of a super-intensive olive orchard: Application of METRIC algorithms. *Biosystems Engineering*, 8.
- Santos, C., Lorite, I. J., Allen, R. G., and Tasumi, M. (2012). Aerodynamic Parameterization of the Satellite-Based Energy Balance (METRIC) Model for ET Estimation in Rainfed Olive Orchards of Andalusia, Spain. *Water Resources Management*, 26(11):3267–3283.
- Shuttleworth, W. J. and Wallace, J. S. (1985). Evaporation from sparse crops—an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(469):839–855.
- Tasumi, M., Allen, R. G., and Trezza, R. (2008). At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(2):51–63.
- Zhao, P., Li, S., Li, F., Du, T., Tong, L., and Kang, S. (2015). Comparison of dual crop coefficient method and Shuttleworth–Wallace model in evapotranspiration partitioning in a vineyard of northwest China. *Agricultural Water Management*, 160(November):41–56.