

Zhao, G. Q., Ma, B. L., Ren, C. Z. (2007) Growth, Gas Exchange, Chlorophyll Fluorescence, and Ion Content of Naked Oat in Response to Salinity. *Crop Sci* 47:123-131.

## EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA DE UNA PLANTACIÓN DE VID CON RIEGO POR GOTEO Y SU RELACIÓN CON LA POROSIDAD DEL SUELO

Aarón I. Melendres-Alvarez<sup>1</sup> Alejandro Zermeño-González<sup>1\*</sup>, Homero Ramírez-Rodríguez<sup>2</sup>, José Omar Cárdenas-Palomo<sup>3</sup> y Juan P. Munguía-López<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Riego y Drenaje. <sup>2</sup>Departamento de Horticultura, Universidad autónoma agraria Antonio narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. C. P. 25315. Tel: 844 411 0353 <sup>3</sup>Palau Bioquim S.A. de C.V. Salvador González Lobo, República Oriente, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25280. Tel: 844 412 8082 <sup>4</sup>Departamento de Agropásticos, CIQA, San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25294. Tel: 844 438 9830 \*Autor para correspondencia: azermenog@hotmail.com.

### RESUMEN

El agua es el recurso más limitante de la agricultura en las zonas áridas de México, por lo que es importante conocer la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $EF_i$ ) de los cultivos y su relación con el manejo agronómico, método de riego y las propiedades del suelo. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la capacidad de retención de agua del suelo debido a la porosidad y su relación con la  $EF_i$  de una plantación de vid (cv Shiraz). El estudio se realizó en la Vinícola San Lorenzo en dos secciones de 5.2 ha con suelo de diferente porosidad con el mismo cultivar de 7 años de edad, la porosidad del suelo se calculó por medio de la densidad aparente y la densidad de partículas, los cambios en la humedad del suelo se evaluaron en el estrato de 30 cm utilizando sondas TDR en cada sección. La  $EF_i$  ( $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) se obtuvo midiendo la asimilación de dióxido de carbono y la tasa de evapotranspiración colocando un sistema Eddy (con un 3D sonic anemometer y un Open Path  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  analyzer) en cada sección. La sección ubicada en el lado este tuvo un valor promedio de porosidad de 0.385 mientras que la del lado oeste fue de 0.306 esto representó una diferencia de 25.82%. Durante los meses de mayor desarrollo de las plantas (Mayo-Agosto) el contenido volumétrico promedio de agua en la parcela de mayor porosidad fue 37.5%, mientras que en la de menor porosidad fue 29.7%, que representó una diferencia de 26.26%. La  $EF_i$  promedio diaria del mismo periodo de tiempo fue 1.40 en el lote de mp y 1.38 en la de mp, lo que representó un incremento de solo 1.45% en la  $EF_i$  debido a un mayor contenido de humedad en el suelo.

**Palabras claves:** Covarianza Eddy, Evapotranspiración, fotosíntesis, riego por goteo.

### INTRODUCCIÓN

El contenido de agua en el suelo determina el grado de crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos. Una óptima programación de la irrigación requiere mediciones continuas del agua en el suelo (Poltoradne *et al.*, 2014). La distribución y proporción de los agregados del suelo afectan las características físicas y químicas del suelo, la porosidad y el crecimiento del sistema radicular (Lipiec *et al.*, 2007). Los cambios en la humedad del perfil superior del suelo dependen de sus propiedades hidráulicas y de las condiciones climáticas (Martínez García *et al.*, 2014). El intercambio de dióxido de carbono y vapor de agua entre las hojas de las plantas y la atmósfera es regulado por los estomas, la relación de estos flujos determina la  $EF_i$  y la productividad de las plantas (Lawson & Blatt 2014). La  $EF_i$  (definida como la cantidad de carbono fijado en la fotosíntesis por unidad de agua transpirada) (Ago *et al.*, 2014; Lawson & Blatt, 2014) es usada como un indicador de la habilidad de las plantas para adaptarse al déficit hídrico en regiones semiáridas (Song *et al.*, 2015). Sun *et al.* (2013) mencionan que la eficiencia intrínseca ( $EF_i$ ) se puede incrementar con el cierre estomático. Investigaciones realizadas sobre la  $EF_i$  en diferentes ecosistemas se han usado para analizar la respuesta al desarrollo de un cultivo de vid (cv Merlot Noir) bajo diferentes condiciones ambientales en una región de clima seco (Li *et al.*, 2015). En un cultivo de manzana (*Malus. Domestica*) (cv Pacific Rose), Liu *et al.* (2012) evaluaron la relación entre la  $EF_i$  bajo diferentes condiciones de riego y de déficit hídrico. También se han realizado mediciones de la  $EF_i$  en sabanas, bosques de clima templado, subtropical, y de coníferas (Mahrt & Vickers, 2002; Scanlon & Albertson, 2004 y Yu *et al.*, 2008) Dado que la porosidad del suelo influye en la capacidad de retención de agua,

y esto a su vez en la tasa de transpiración y fotosíntesis, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la porosidad del suelo en la EF<sub>i</sub> del dosel de una plantación de vid cv. Shiraz, regada con goteo y su relación con el rendimiento y calidad de frutos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio de estudio

El estudio se realizó durante el ciclo de producción Abril – Septiembre de 2014, en una plantación de Vid cv ‘Shiraz’ de 7 años de edad, ubicada en la Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México, a 25° 30’ N, 102° 11’ O y 1505 de altitud, el clima es seco semiárido con temperatura promedio de 14 a 18 °C, precipitación promedio anual de 366 mm, vientos predominantes provenientes del Este durante el mayor tiempo del año (INIFAP, 2015) Para el estudio se delimitaron dos superficies de 5.2 ha (204 m en la dirección E-O, por 256 m dirección N-S).de diferente textura de suelo y diferente porosidad. Las plantas están alineados en la dirección norte-sur, a 1.5 m entre plantas y 2.5m entre hileras en una densidad de 2 620 plantas/ha. El riego se aplica por goteo diariamente (2 h) que para el gasto del emisor (2.1 LPH), y el ancho de mojado (40 cm) correspondió a una lámina de 7 mm.

### Características físicas del suelo del área de estudio

Las características físicas del suelo se obtuvieron del promedio de 5 muestras de la parte central de cada superficie. Las propiedades físicas fueron: contenido de materia orgánica, arcilla, limo, arena, densidad bruta (aparente) del suelo, y densidad de partículas. La densidad bruta (aparente) se determinó por el método del cilindro utilizando una barrena de corazones, mientras que la densidad de partículas se obtuvo con el método del picnómetro. La porosidad del suelo ( $\eta$ ) se determinó con los valores de densidad bruta ( $\rho_b$ ) y densidad de partículas ( $\rho_s$ ) con la siguiente relación:

$$\eta = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (1)$$

### Mediciones e instrumentación

Para determinar la eficiencia intrínseca del uso del agua de cada plantación durante el ciclo de producción de 2014, se obtuvo el flujo de calor sensible (H), calor latente (LE) y flujo de bióxido de carbono (FCO<sub>2</sub>) con las siguientes relaciones (Ham y Heilman, 2003):

$$H = \rho_a * C_p * (\overline{w'T_s'}) - 0.51 * \frac{\rho_a * C_p * LE}{L} * LE \quad (2)$$

$$LE = L * (\overline{w' \rho_{wv}'}) \quad (3)$$

$$FCO_2 = \overline{w' \rho_{CO_2}'} \quad (4)$$

Dónde:  $\rho_a$ ,  $C_p$  y  $T_a$  son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente,  $T_s$  es la temperatura sónica,  $\rho_{wv}$  es la densidad del vapor de agua en el aire,  $w$  es la velocidad vertical del viento,  $L$  es el calor de vaporización del agua y  $\rho_{CO_2}$  es la densidad de bióxido de carbono. Las variables con símbolo de prima significan desviaciones respecto a la media y la barra horizontal sobre dos variables denota la covarianza entre las variables para un determinado segmento de tiempo (30 min) El intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) entre el dosel de la plantación de vid y la atmósfera ( $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se obtuvo con la siguiente relación (Materns *et al.*, 2004):

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho CO_2}{\Delta t} * \Delta Z \quad (5)$$

Dónde:  $FCO_2$  es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza Eddy (Ec. 4) (negativo hacia la superficie vegetal),  $\Delta\rho CO_2$  es el cambio en la densidad de  $CO_2$  medido a la altura  $\Delta z$ ,  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo (30 min),  $\Delta z$  es la altura sobre la superficie del suelo a la que se realizan las mediciones de flujo (3 m). La eficiencia intrínseca del uso del agua de cada plantación fue la relación entre la asimilación neta de bióxido de carbono y la tasa de evapotranspiración (Tasa\_ET) ( $mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$ ):

$$EF_{H_2O} = \frac{NEE}{Tasa\_ET} \quad (6)$$

Los cambios en la humedad del suelo a través del ciclo de producción de los viñedos, se determinaron colocando sondas TDR modelo CS616 (Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU). Las mediciones se realizaron en los estratos de 0 a 30 y 30 a 60 cm de profundidad al punto medio entre dos plantas al centro de una de las hileras de cada plantación (de diferente porosidad).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas, se observó un contenido medio de materia orgánica para ambas superficies. La sección con mayor porosidad tuvo 7.75% y 25.82% más de contenido de arcilla y de espacio poroso respectivamente. La densidad bruta (aparente) y la de partículas fue menor en la plantación de mayor espacio poroso (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo de cada una de las plantaciones (con mayor y menor porosidad del suelo), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

	M.O	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Densidad	Densidad	Porosidad
Plantación	(%)	(%)	(%)	(%)		bruta	de	(%)
						(g/cm3)	partículas	
Suelo de mayor porosidad	1.98	50.0	26	22.86	Arcilla	1.26	2.048	0.385
Suelo de menor porosidad	2.01	46.40	31.20	26.73	Migajón-Arcilloso	1.44	2.075	0.306

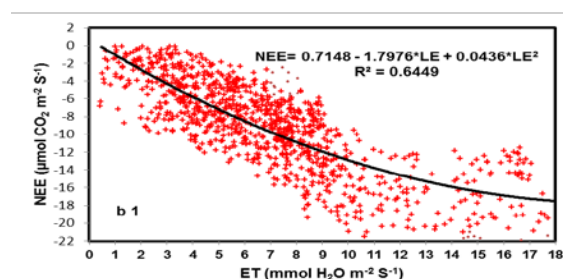
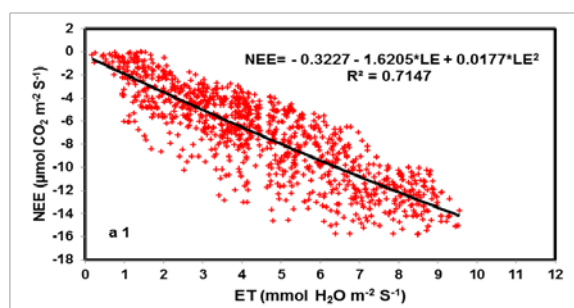
Las diferencias en la porosidad del suelo tuvieron un marcado efecto en el contenido de agua del suelo a través de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Las plantas en la sección de mayor porosidad tuvieron mayor disponibilidad de agua durante todo el ciclo de crecimiento, observándose también una menor variabilidad del contenido de humedad en esta plantación. En estudios previos se ha reportado que la capacidad de retención de agua del suelo está directamente relacionada con el tamaño de los poros (Alaoui & Helbling 2006; Tunc & Sahin 2015) y que la porosidad depende del contenido de arcilla (Szymański *et al.*, 2015).

## Eficiencia intrínseca del uso del agua

La eficiencia intrínseca del uso del agua por una superficie vegetal, se puede establecer como la relación entre la tasa de asimilación neta de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) simultánea de la misma vegetación (Zermeño-Gonzalez *et al.*, 2012; Ago *et al.*, 2014). En las Figuras 1 y 2 se muestra que esta relación corresponde a una parábola decreciente, cuando la NEE se grafica con valores negativos (indicando que el flujo de CO<sub>2</sub> es hacia el dosel). Estudios previos ya han mostrado esta relación (Li *et al.*, 2015), dicha tendencia también implica que la NEE tiende a decrecer a medida que la ET aumenta. Esto se debe a que a mayor apertura de los estomas, el flujo de vapor de agua desde la hoja hacia la atmósfera es mayor que el la entrada de CO<sub>2</sub> de la atmósfera al interior de las hojas (Zermeño-Gonzalez *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2015). En la plantación de mayor porosidad (mayor contenido de humedad durante el ciclo de crecimiento) (Figura 1), la tasa de ET y de NEE instantánea (promedio de 30 min) fue mayor (escala superior de los ejes de la Figura 1 que los de la Figura 2). Estudios previos también han reportado altas tasas de ET y de NEE con mayor contenido de agua en el suelo (Yan *et al.*, 2015; Rutledge *et al.*, 2014; Zhu *et al.* 2015). Debido a que la relación entre la NEE y la ET es no lineal, para obtener la eficiencia intrínseca del uso del agua (NEE/ET) por la superficie vegetal, es necesario establecer un nivel de tasa de ET. Para los resultados de este estudio, y para evaluar el efecto de la diferencia de porosidad y de contenido de agua en el suelo a través de las diferentes etapas de crecimiento del cultivo, en la eficiencia del uso del agua, en las Figuras 1 y 2 se estableció una ET de 6.0 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. La eficiencia intrínseca del uso del agua (EF<sub>i</sub>) para las dos condiciones de porosidad a través de las etapas del ciclo de producción del cultivo se muestran en el Cuadro 2. Nótese que la EF<sub>i</sub> en las tres etapas de desarrollo es mayor en la plantación donde se observó mayor contenido de humedad (por mayor porosidad) y que la EF<sub>i</sub> decrece a medida que las plantas cambian de etapa en ambas plantaciones. La reducción de la EF<sub>i</sub> en la etapa de floración y fructificación resultado de un incremento proporcionalmente mayor de la tasa de ET que el de la NEE y que la eficiencia fotosintética de las hojas es mayor durante la etapa vegetativa (hojas más jóvenes). Valores de EF<sub>i</sub> (μmolCO<sub>2</sub>/ mmolH<sub>2</sub>O) poco mayores a los observados en este estudio fueron reportados por Li *et al.* (2015) en vid (cv Merlot Noir) en una región de clima seco (1.64), también mencionan que la disponibilidad de agua en el suelo tiene un alto impacto en la EF<sub>i</sub>. Para condiciones óptimas de humedad en el suelo; la EF<sub>i</sub> de un viñedo (cv Pacific Rose) fue 1.71 μmolCO<sub>2</sub>/ mmolH<sub>2</sub>O (Liu *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Eficiencia intrínseca del uso de agua (μmol CO<sub>2</sub> mmol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O) (promedios de 30 min) a una tasa de evapotranspiración (ET) de 6 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> a través de la etapa de desarrollo vegetativo, floración y fructificación del ciclo de producción Mayo – Agosto de 2014. En dos plantaciones de vid (cv Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México

Etapa	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
Vegetativa	-1.41	-1.13
Floración	-1.27	-0.99
Fructificación	-1.04	-0.87



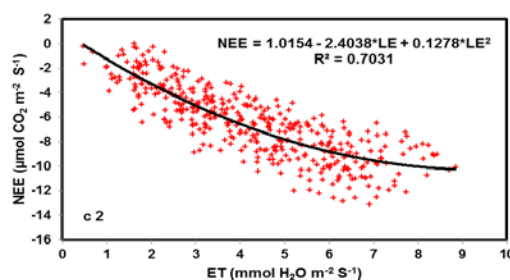
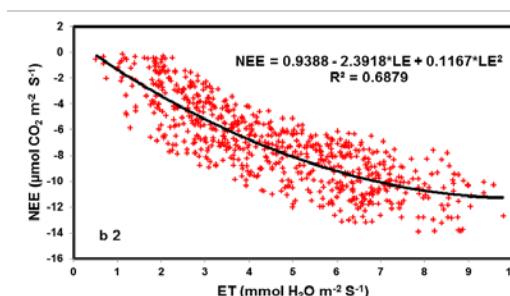
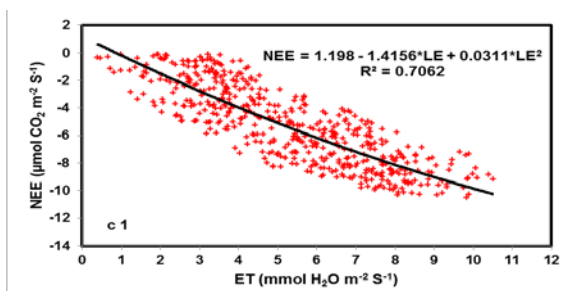
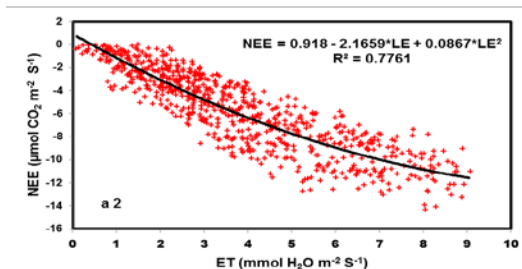


Figura 1. Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) de una plantación de vid (cv Shiraz), durante el ciclo de crecimiento: a). desarrollo vegetativo, b). floración y c). Fructificación, en suelo de mayor porosidad (a1, b1, c1) Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Figura 2. Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) de una plantación de vid (cv Shiraz), durante el ciclo de crecimiento: a). desarrollo vegetativo, b). floración y c). Fructificación, en suelo de menor porosidad (a2, b2, c2). Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.



## Conclusiones

La plantación con mayor porosidad tuvo una mayor disponibilidad de agua en el suelo durante el ciclo de crecimiento, que resultó en una tasa mayor de evapotranspiración y de asimilación de bióxido de carbono. La eficiencia intrínseca del uso del agua ( $EF_i$ ) fue también mayor en la sección de mayor contenido de poros, y para ambas plantaciones (de mayor y menor porosidad), La  $EF_i$  fue mayor en la etapa vegetativa y decreció progresivamente con el desarrollo de las etapas.

## Literatura citada

- Ago, E. E., Agbossou, E. K., Galle, S., Cohard, J. M., Heinesch, B. & Aubinet, M. 2014. Long term observations of carbon dioxide exchange over cultivated savanna under a Sudanian climate in Benin (West Africa). *Agric. For. Meteorol.* 197: 13–25.
- Alaoui, A. & Helbling, A. 2006. Evaluation of soil compaction using hydrodynamic water content variation: Comparison between compacted and non-compacted soil. *Geoderma* 134: 97–108.
- Ham, J. M. & Heilman J. L. 2003. Experimental test of density and energy-balance corrections on carbon dioxide flux as measured using open-path eddy covariance. *Agron. J.* 95(6): 1393-1403.
- INIFAP 2015 (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26796>) fecha de consulta 03 de septiembre del 2015.

- Lawson, T. & Blatt, M. R. 2014. Stomatal Size, Speed, and Responsiveness Impact on Photosynthesis and Water Use Efficiency. *Plant Physiol.* 164(4): 1556–1570.
- Li, S., Kang, S., Zhang, L., Du, T., Tong, L., Ding, R. & Xiao, H. 2015. Ecosystem water use efficiency for a sparse vineyard in arid northwest China. *Agric. Water Manag.* 148: 24–33.
- Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowińska-Jurkiewicz, A. & Sławiński, C. 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. *Soil Tillage Res.* 97(2): 239–246.
- Liu, B., Cheng, L., Ma, F., Zou, Y. & Liang, D. 2012. Growth, biomass allocation, and water use efficiency of 31 apple cultivars grown under two water regimes. *Agrofor. Syst.* 84(2): 117–129.
- Mahrt, L. & Vickers, D. 2002. Relationship of area-averaged carbon dioxide and water vapour fluxes to atmospheric variables. *Agric. For. Meteorol.* 112: 195–202.
- Martens, C. S., Shay, T. J., Mendlovitz, H. P., Matross, D. M., S. R., Saleska, Wofsy, S. C., Woodward, W. S., M. C., Menton, J. M., Crill, S. P. M., De Moraes, O. L. L. & Lima, R. L. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystems of Brazilian Amazonia: night-time CO<sub>2</sub> net ecosystem exchange derived from radon and eddy covariance methods. *Glob. Chang. Biol.* 10(5): 618-629.
- Martínez García, G., Pachepsky, Y. & Vereecken, H. 2014. Effect of soil hydraulic properties on the relationship between the spatial mean and variability of soil moisture. *J. Hydrol.* 516: 154–160.
- Moreno, A. 2012. Las pymes vitivinícolas se abren mercado. *El economista.*
- Poltoradnev, M., Ingwersen, J. & Streck, T. 2014. Calibration and Application of Aquaflex TDT Soil Water Probes to Measure the Soil Water Dynamics of Agricultural Topsoil in Southwest Germany. *Irrig. Drain Eng.* 141(6): 401-407.
- Rutledge, S., Mudge, P. L., Wallace, D. F., Campbell, D. I., Woodward, S. L., Wall, A. M. & Schipper, L. A. 2014. CO<sub>2</sub> emissions following cultivation of a temperate permanent pasture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 184: 21–33.
- Scanlon, M. T. & Albertson, J. D. 2004. Canopy scale measurements of CO<sub>2</sub> and water vapor exchange along a precipitation gradient in southern Africa. *Glob. Chang. Biol.* 10: 329-341.
- Song, L., Zhu, J., Yan, Q., Li, M., & Yu, G. 2015. Comparison of intrinsic water use efficiency between different aged *Pinus sylvestris* var. *mongolica* wide windbreaks in semiarid sandy land of northern China. *Agrofor. Syst.* 89(3): 477–489.
- Sun, X. P., Yan, H. L., Kang, X. Y. & Ma, F. W. 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica.* 51(3): 404–410.
- Szymański, W., Skiba, M., Wojtuń, B. & Drewnik, M. 2015. Soil properties, micromorphology, and mineralogy of Cryosols from sorted and unsorted patterned grounds in the Hornsund area, SW Spitsbergen. *Geoderma.* 253: 1–11.
- Tunc, T. & Sahin, U. 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agric. Water Manag.* 158: 213–224.
- Yan, W., Hu, Z., Zhao, Y., Zhang, X., Fan, Y., Shi, P. & Li, Y. 2015. Modeling Net Ecosystem Carbon Exchange of Alpine Grasslands with a Satellite-Driven Model. *Plos One* 200: 119-128.
- Yu, G., Song, X., Wang, Q., Liu, Y., Guan, D., Yan, J. & Wen, X. 2007. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables. *New Phytologist.* 177(4): 927–937.
- Zermeño-Gonzalez, A., Villalatoro-Moreno, S., Cortes-Bracho, J. Jesus Cadena-Zapata, M., Catalan-Valencia, E. A., Garcia-Delgado, M. A. & Munguia-Lopez, J. P. 2012. Estimación del intercambio neto de CO<sub>2</sub> en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia* 46: 579–591.
- Zhu, Z., Ma, Y., Li, M., Hu, Z., Xu, C., Zhang, L. & Ichiro, T. 2015. Carbon dioxide exchange between an alpine steppe ecosystem and the atmosphere on the Nam Co area of the Tibetan Plateau. *Agric. For. Meteorol.* 203: 169–179.