

EVAPOTRANSPIRACIÓN Y BALANCE HÍDRICO EN NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis* K. Koch) EN LA COSTA DE HERMOSILLO, MÉXICO

Rodríguez¹ Julio Cesar; Watts² Christopher; Garatuza-Payan³ Jaime; Lizárraga-Celaya² Carlos; Grageda-Grageda⁴ José; Ochoa-Meza¹ Andrés; Moreno-Salazar¹ Sergio F.; Renteria-Martinez¹ María Eugenia

¹Universidad de Sonora (Departamento de Agricultura y Ganadería), Hermosillo Son México;
jcrod@guayacan.uson.mx

²Universidad de Sonora (Departamento de Física), Hermosillo, Son. México

³Instituto Tecnológico de Sonora (Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente), Cd. Obregón, Son. México ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CECH), Hermosillo, Son. México

Resumen

Desde el 2006 fue instalada una torre micrometeorológica para el monitoreo de evapotranspiración (ET) y otras variables en nogal pecanero. Adicionalmente, se colocaron sensores en el suelo para el monitoreo de humedad, temperatura y percolación. Los datos fueron procesados mediante técnica turbulenta para obtener los flujos de calor y vapor. Los resultados obtenidos durante el 2009 mostraron que existe un 30% de sobre-riego en nogal, lo cual produce un 15% de pérdida por percolación. Los valores de coeficiente de cultivo (Kc) varían 0.12 en invierno a 1.19 en verano. La estacionalidad y etapas de crecimiento fueron monitoreadas usando productos MODIS (Índices de vegetación, 2000-2011), mostrando consistencia con los datos de superficie de ET. Por lo tanto, es factible utilizar las imágenes de satélite para programar el riego en grandes superficies con el fin de reducir el sobre-riego.

Palabras clave: coeficiente de cultivo, correlación turbulenta, índices de vegetación

Abstract

From 2006 a micrometeorological station was installed to monitoring evapotranspiration (ET) and other variables in pecan nut. In addition to this, sensors were installed underground to record humidity, temperature and percolation. Data were processed through eddy correlation technique to get sensible and latent heat flows. On 2009 the results showed 30 % of over irrigation on pecan nut, which produce 15% of percolation. Kc values fluctuate from 0.12 in winter to 1.19 in summer. Seasonally and growth stages were monitoring using MODIS products (Vegetation Index, 2000-2011), constantly showing with ET ground data.

Though, it is feasible to use satellite data to program irrigation on large surfaces to reduce over irrigation.

Key words: crop coefficient, eddy correlation, vegetation index

Introducción

El agua disponible en las zonas áridas y semi-áridas es una de las principales limitantes en la producción de cultivos ya que ellas usan alrededor del 70 - 80% de agua dulce (Federes y Soriano, 2007). En este sentido, en Sonora, México y en otros países, el suministro adecuado para satisfacer las demandas de todos los usuarios ha incrementado la escasez de agua. Esto ha producido una gran presión sobre los productores agrícolas quienes deben producir más con menos agua. Es importante tener en cuenta que el agua disponible total en la biosfera siempre ha sido la misma y cada vez es más contaminada, por lo que está cada vez menos disponible para usuarios (Falkenmark y Lannerstad, 2005). Aun cuando existe importantes discrepancias entre la comunidad científica, en la últimas décadas el uso agrícola del agua proveniente de los acuíferos se ha multiplicado lo que los ha afectado seriamente. Para un mejor entendimiento del balance hídrico en las áreas agrícolas es esencial explorar metodologías de ahorro de

agua y una de ellas es el concepto de evapotranspiración de cultivo (ETc), el cual es el factor clave para determinar de manera correcta la programación del riego y así mejorar la eficiencia de aplicación de agua en la agricultura (Er-Raki et al., 2006). La medición de ET requiere equipo sofisticado y personal capacitado. En este sentido se han propuesto metodologías para la estimación de ET usando sensores remotos, que van desde simples relaciones empíricas a modelos numéricos (Courault et al., 2005). Algunas de estas utilizan temperatura de superficie, coeficiente de cultivo, índice de vegetación, ecuaciones de balance de energía en la superficie, scintilometría, aproximaciones como Penman-Monteith para sensores remotos (Hemakumara et al., 2003; Allen et al., 1998, 2005; Garatuza y Watts, 2005; Cleugha et al., 2007; Mu et al., 2007; Sheffield et al., 2010).

El acuífero Costa de Hermosillo, como otros del país han sido sobre-explotados, CONAGUA (2011) y afectado su calidad de agua, Rangel et al. (2004) por el bombeo. Actualmente esta zona agrícola se ha reducido de manera importante (+100,000 a ~50,000 ha), dominando los cereales, hortalizas y perennes como la uva de mesa y nogal pecanero. Estas perennes son los principales usuarios del agua en la región, Rodríguez et al. (2010), ya que requieren láminas superiores a 1000mm y son cultivos de ciclos anuales largos. Sin embargo, en lo relativo a consumo de agua por nogal (evapotranspiración), Valdez et al. (2010) y Núñez et al. (2010), en sus metodologías no incluyen mediciones, solo estimaciones por lo que se propone mostrar mediciones de evapotranspiración en nogal pecanero bajo técnicas turbulentas.

Materiales y Métodos

En enero del 2006 fue instalada en el predio Viñas de la Costa de Hermosillo una torre micrometeorológica de 12m de altura, en una superficie de 60 ha (600 x 1000 m) plantada con nogal pecanero (28° 55' 25", -111° 17' 59"). En su parte aérea fueron instalados sensores para medir flujo de calor sensible y calor latente, radiación neta, temperatura y humedad del aire; en el suelo se colocaron sensores para medir un perfil de humedad y temperatura de 0 a -1.0m, percolación a 1.2m de profundidad y un pluviómetro para monitoreo del tiempo del riego (Figura 1). Así mismo se realizaron mediciones de cobertura y determinaciones de área foliar usando un ceptómetro. Los datos para la determinación de la evapotranspiración fueron tomados y almacenados a 20 Hz; mientras que los datos de radiación neta, temperatura y humedad del aire, temperatura y humedad del suelo, se muestrearon a 30s y se almacenaron como promedios cada 30min. Se realizaron correcciones para oxígeno, temperatura y dirección de vientos a los datos colectados del higrómetro y anemómetro sónico usados en el cálculo de flujos de calor sensible y latente (Webb et al., 1980; Wilczar et al., 2001; Van Dijk et al., 2003).

El sistema de plantación de nogal es 6m entre planta y 12m entre líneas, y fue plantado en 1999-2000, el sistema de riego es a través de microaspersores, colocados cada uno entre dos árboles, el gasto medio es de 90 L h⁻¹, humedeciendo círculos con un diámetro 7.5m.

La información satelital utilizada fueron los productos MODIS del sitio <http://daac.ornl.gov>, tales como: índices de vegetación (IV) índice mejorado de la vegetación (EVI) y el índice normalizado de la vegetación (NDVI), temperatura de superficie (LST), Albedo (alb), siguiendo la metodología de análisis realizada por Lizárraga-Celaya et al. (2010).

Los datos meteorológicos adicionales utilizados en este trabajo fueron extraídos del sitio publico, www.agroson.org.mx, los cuales corresponden a temperatura del aire, lluvia, radiación solar y evapotranspiración potencial (ETo), usando la aproximación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

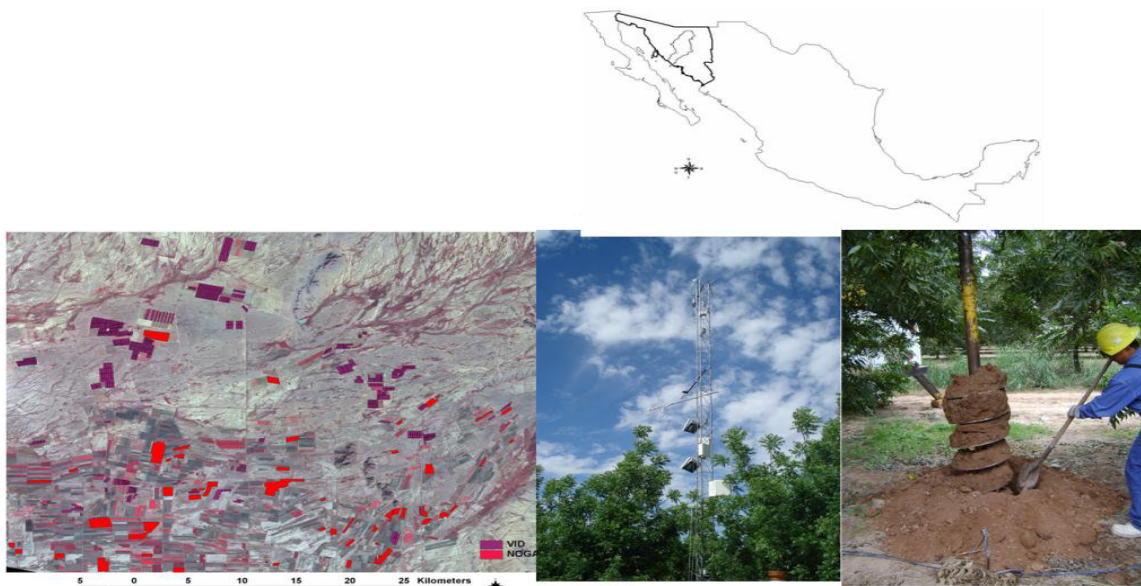


Figura 1. Área de nogal pecanero en la Costa de Hermosillo y sitio experimental en Viñas de la Costa en la cuenca del río Sonora.

Resultados y discusión.

En la Figura 2 se muestra la evolución de la verdosidad (Índice mejorado de la vegetación, EVI y Índice normalizado de la vegetación, NDVI), en nogal pecanero desde su plantación hasta el verano 2011. En ella se observa la variación anual de la vegetación, la cual es asociada a la fenología del nogal. Visualizándose picos durante los veranos, los cuales corresponden a la combinación del desarrollo del nogal más la presencia de anuales, así como disminuciones en la misma estación de crecimiento por la aplicación de herbicida que reduce fuertemente la verdosidad. Esto nos muestra la importancia del uso de imágenes de satélite de resolución media (250m) para el monitoreo de la fenología de la vegetación, Zang et al. (2003). En el recuadro se observa la evolución del EVI y NDVI del 2009, la cual muestra un rápido incremento de ambos índices en la primavera y se mantienen altos durante largo periodo, produciendo una alta ET, Brown (2010), disminuyendo al final del otoño.

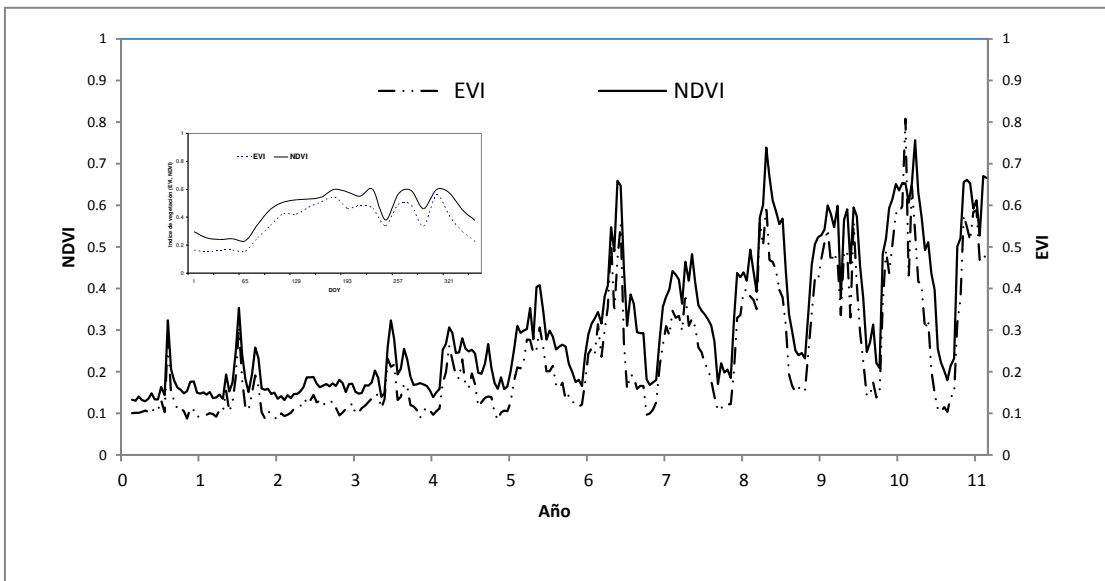


Figura 2.

Evolución de la verdosidad de nogal pecanero (2000-2011) en la Costa de Hermosillo México.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento diario de la temperatura media, la precipitación y el riego. En ella se observan las altas temperaturas medias que persisten a lo largo del año, las cuales comienzan a disminuir a finales de septiembre, con temperaturas máximas superiores a 40 °C en verano y cercanas a 0 °C al principio del invierno. Así mismo, se presentan altas humedades relativas en verano que se prolongan durante el periodo de cosecha en septiembre/octubre (no mostradas en la figura), a pesar de la baja precipitación anual 65mm (Cuadro 1). En ella misma se observa el riego aplicado, el cual inicio a finales de febrero y por lo general las aplicaciones de agua de riego fueron vespertinos/nocturnos, periodos de 12 hrs., excepto las aplicaciones de 24 horas, como las aplicadas después de la cosecha (octubre).

En la Figura 4 se muestra el comportamiento diario de ETc, ETo en nogal pecanero. En ella se observa la evolución de ETo, la cual varía entre 2-3 mm día⁻¹ en invierno a 7-8 mm día⁻¹, similares a los valores reportados por Rodríguez et al. (2010) y Sammis et al. (2004). en lo que respecta a la ETc, esta presenta valores menores de 0.5mm día⁻¹, hasta antes de iniciarse el riego, para incrementarse con el inicio del riego y el inicio de la brotación del nogal. Este incremento fue significativo, posterior a la aplicación de riego de manera continua y del follaje, hasta alcanzar valores cercanos a 6 mm día⁻¹ previo al verano. Durante el verano estos valores fueron de alrededor de 8 mm día⁻¹, siendo con frecuencia superiores a la ETo. Estos de ETc son incrementados con frecuencia por la presencia de malezas, las cuales tienen una alta transpiración. Posteriormente a la cosecha se observa una importante disminución de ETc cuando el riego disminuye, para posteriormente mantenerse constante con el reinicio del riego. Finalmente con la disminución de la temperatura del aire, el riego, en nogal comienza a disminuir su ETc, para culminar en diciembre con valores menores de 1mm día⁻¹. Estos valores son consistentes con el comportamiento de la verdosidad observada en el recuadro de la figura 2, lo cual es coherente con lo encontrado por Brown, (2010) en lo relativo a lo prolongado de la estación de crecimiento del nogal a estas latitudes.

El Cuadro 1, muestra el resumen de las componentes de la ecuación de balance (riego y lluvia como entradas; evapotranspiración y percolación como salidas) de agua en áreas agrícolas. En él se observa una lamina riego de 2,021mm superior en un 30% a lo reportado por Valdez et al. (2010), Esquer (2010) para riegos presurizados y similar a los reportado por Esquer (2010) para riego rodado. La evapotranspiración de referencia (ETo) muestra valores similares a los observados por Rodríguez et al. (2010) y Valdez et al. (2010) para la misma región. La evapotranspiración (ET) es similar a lo reportado por Valdez et al. (2010), pero inferior a lo estimado por Brown (2010) para la Costa de Hermosillo. Existen pocos estudios sobre la percolación del agua de riego en la Costa de Hermosillo, en este cuadro se observa que esta variables representa el 15% del agua aplicada. El Coeficiente de cultivo (Kc), muestra un comportamiento similar al obtenido por Valdez et al. (2010) mediante monitoreo de humedad en el suelo, al estimado por Brown (2010) y al observado por Sammis et al. (2004).

Cuadro 1. Resumen de las componentes de la ecuación de balance hídrico y coeficiente de cultivo, en nogal pecanero en la Costa de Hermosillo México durante 2009.

Mes	Riego (mm)	Lluvia (mm)	Percolacion (mm)	ETc (mm)	ET0 (mm)	Alma. (mm)	Acum. (mm)	Kc
Ene	0	0	0	11	83.7	-11	-11	0.13
Feb	26.9	1.1	2.3	12.7	106.6	13.1	2.1	0.12
Mar	333.8	0	27.6	49.8	150.7	256.4	258.4	0.33
Abr	134.4	0	20.6	92	188.5	21.7	280.2	0.49
May	296.3	0	66.4	156.1	218	73.8	353.9	0.72
Jun	224.4	13.2	52.1	154.8	188.5	30.6	384.6	0.82
Jul	223.1	10.3	35.4	222.6	196.5	-24.6	360	1.13
Ago	277.5	26.4	61.1	213	195.5	29.9	389.9	1.09
Sep	174.4	5.6	38.4	202.3	169.6	-60.7	329.1	1.19
Oct	103.8	7	26.6	99.3	136.1	-15.1	314	0.73
Nov	145.6	0.4	32	64	97	50	364.1	0.66
Dic	80.6	0	0.1	37.5	86.3	43.1	407.2	0.43
Total	2020.6	64	362.5	1314.9		1817	407.2	
Diario	5.54	0.18	0.99	3.6		4.98	1.12	

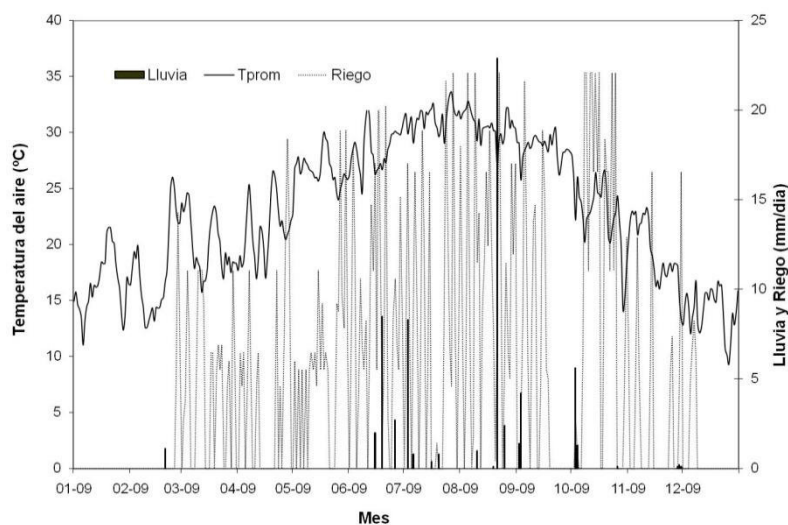


Figura 3. Comportamiento diario de Temperatura del aire, lluvia y riego durante el 2009 en nogal pecanero en 2009, Costa de Hermosillo, México.

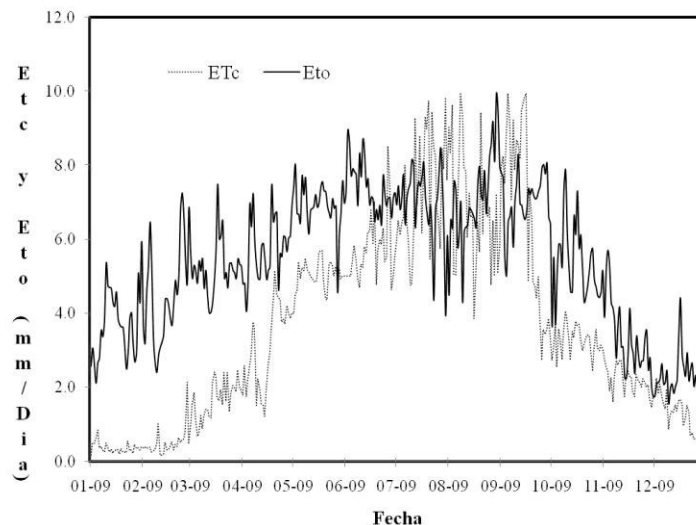


Figura 4. Comportamiento diario de evapotranspiración de referencia (ETo) y Evapotranspiración (ETc) durante el 2009 en nogal pecanero en 2009, Costa de Hermosillo, México.

Conclusiones

El nogal pecanero es uno de los principales cultivos perennes en la región, consume importantes volúmenes de agua como lo muestra la ET y recibe altas aplicaciones de agua independientemente del sistema de riego utilizado. Este crecimiento vegetal (fenología) puede ser monitoreado usando sensores remotos, a través de los productos MODIS, que permiten determinar la ET, área foliar y Kc entre otros. Así mismo, los valores de Kc son similares a los aplicados en huertas adultas en diferentes regiones nogaleras del suroeste de EUA y norte de México. Por lo anterior, se considera que la lámina de riego aplicada al nogal pecanero puede ser reducida sin impactar los rendimientos.

Literatura citada

- Allen R.G., Tasumi M., Morse A., Trezza R., 2005, a Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning, *Irrigation and Drainage Systems*, 19:251-268.
- Asrar G., Fuchs M., Kanemasu E.T., Hatfield J.L., 1984, Estimating observed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat, *Agronomy*, 76:300-306.
- Brown, P.W. 2010. Pecan water use estimates for Southern Arizona and Northern Mexico. XI Simposio internacional de nogal pecanero, 9-10 Septiembre, Hermosillo, Sonora, México. 54-61pp.
- Cleugh, H.A., Euninga R., Mub Q., Running S.W., 2007, Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data, *Remote Sensing of Environment*, 106:285-304.
- Courault D., Seguin B., Olioso A., 2005, review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: from empirical to numerical modeling approaches, *Irrigation and Drainage Systems*, 19:223-249.
- Esquer Parra L., 2010, Factores que influyen en la productividad del nogal pecanero, XI Simposio internacional de nogal pecanero, 9-10 Septiembre, Hermosillo, Sonora, México. 10-12pp
- Falkenmark M., M. Lannerstad, 2005, Consumptive water use to feed humanity-curing a blind spot, *Hydrology and Earth System Sciences*, 9: 15–28.
- Fereres E., Soriano M.A., 2007, Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal of Experimental Botany*, 48:147-159.
- Garatza-Payan J., Watts C.J., 2005, the use of remote sensing for estimating ET of irrigated wheat and cotton in Northwest Mexico, *Irrigation and Drainage Systems*, 19:301-320.

- Gardea, A. A., J. A. Orozco-Avitia, A. Romo-Chacón. 2010. Efecto del cambio climático en el cultivo del nogal pecanero. XI Simposio internacional de nogal pecanero, 9-10 Septiembre, Hermosillo, Sonora, México.45-47pp.
- Garatuza-Payan J., Shuttleworth, W.J. and Pinker R., 2001, "Satellite measurements of solar radiation in the Yaqui Valley, Northern Mexico", *Geofísica Internacional*, **40**: 207-218
- Hemakumara H.M., Chandrapala L., Moene A.F., 2003, Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture Scintillometer, *Agricultural Water Management* 58:109-122.
- Jasso-Ibarra, R., N, Chávez-Sánchez, U. Figueroa-Viramontes, M. Rivera-González, R. Sabori- Palma. 2010. Salinidad de agua de riego y su efecto en la productividad del nogal pecanero. XI Simposio internacional de nogal pecanero, 9-10 Septiembre, Hermosillo, Sonora, México.35-44pp.
- Lizarraga-Celaya, C., Watts C.J., Rodriguez J.C., Scott R.L., Saiz-Hernandez J., 2010, Spatio-temporal variations in surface characteristics over the North American Monsoon region, *Journal of Arid Environment*, 74:540-548.
- Mu Q., Heinsch F.A., Zhao M., & Running, S.W, 2007, Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of the Environment*, 111: 519-536.
- Núñez-Barrios, A., M. Basurto-Soltelo, I. A. Hernández-Hernández, R. L. Gómez-Peraza. 2010. XI Simposio internacional de nogal pecanero, 9-10 Septiembre, Hermosillo, Sonora, México. 88-94pp.
- Rangel-Medina, M., Monreal, R., Morales, M., Castillo, J., 2004. Estimation of the vulnerability to saline intrusion of the coast of Hermosillo aquifer, Sonora, Mexico. *Geofísica Internacional* 43, 611–621.
- Rodriguez, J.C., Grageda J., Watts C.J., A. Garatuza-Payan J., Castellanos-Villegas A., Rodriguez-Casas J., Saiz J., Olavarrieta V., 2010, water use by perennial crops on the lower Sonora watershed, *Journal of Arid Environment*, 74:603-610.
- Samani, Z., Bawazir A.S., Bleiweiss M., Skagas R., Longworth J., Tran V.D. y Pinon A., 2009, Using remote sensing to evaluate the spatial variability of evapotranspiration and crop coefficient in the lower Rio Grande Valley, New Mexico. *Irrigation Sciences*, 28:93-100.
- Sammis, T.W., J.G. Mexal y D. Millar, 2004, Evapotranspiration of food-irrigated pecans, *Agric. Water Management*, 69:179-190.
- Valdez-Gascón, B., L. J. Durón-Noriega, J. E. Ortiz-Enriquez, J. M. Ramírez-Díaz y R. Sesma-León.2010. ahorro de agua en huertas de nogal pecanero *Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch] con apoyo de monitoreo de humedad. XI Simposio internacional de nogal pecanero, 9-10 Septiembre, Hermosillo, Sonora, México.83-87pp.
- Zhang X., Friedl M.A., Schaaf C.B., Strahler A.H., Hodges J.C.F., Gao F., Reed B.C., Huete A., Monitoring vegetation phenology using MODIS, *Remote Sens. Environ.* 84 (2003) 471-475.