

INDICES DE VEGETACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE NOGAL (*Carya illinoensis* K. Koch) EN LA COSTA DE HERMOSILLO, MÉXICO

Julio César Rodríguez¹, José Grageda Grageda², Christopher Watts³, Jaime Garatuza Payan⁴, Salah Er-raki⁵, Carlos Lizárraga Celaya³, Sergio Moreno¹, Andrés Ochoa Meza¹ y María Eugenia Rentería Martínez¹

¹Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Hermosillo, México

²INIFAP-CECH, Costa de Hermosillo, México

³Departamento de Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, México

⁴Departamento de Agua y el Medio Ambiente, ITSON, Cd. Obregón, México

⁵Facultad de Ciencias FSSM, Marrakech, Marruecos

jcrod2001@yahoo.com

Introducción

En las zonas áridas y semi-áridas el agua disponible es una de las limitaciones más importantes para la producción en cultivos y ellas se usa alrededor del 70 -80% de agua dulce (Federes y Soriano, 2007). Sin embargo, globalmente la producción de alimentos de áreas irrigadas representa más del 40% y usa solamente el 17% de la superficie disponible para agricultura (Federes y Connor, 2004).

En este sentido, en Sonora, en México y en otros países, el suministro adecuado para satisfacer las demandas de todos los usuarios ha incrementado la escasez de agua y ésta continuará con el incremento de la población, que requerirá una mayor demanda de alimentos. Esto ha producido una gran presión sobre los productores agrícolas de parte de los otros usuarios que le requieren producir más y con menos agua, sin embargo, es importante tener en cuenta que el agua disponible total en la tierra es la misma y lo que está sucediendo es que el agua está siendo contaminada por los diferentes usuarios (Falkenmark y Lannerstad, 2005), y por lo consiguiente esta cada vez menos disponible.

Por lo consiguiente, para un mejor entendimiento del balance hídrico en las áreas agrícolas es esencial explorar metodologías de ahorrar agua y una de ellos 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). Esta adecuada estimación de ETc constituye una parte muy importante en la planeación hidroagrícola y es esencial para obtener una agricultura sustentable

La medición de ET, requiere equipo sofisticado, personal capacitado y tiene una aplicación local, básicamente el área de influencia del sensor. En este sentido se han propuesto metodologías para la estimación de ET usando sensores remotos, variando estas desde simple relaciones empíricas a modelos numéricos (Courault *et al.*, 2005). Algunas de estas usan temperatura de superficie, 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.*, 2005; Garatuza y Watts, 2005; Cleugha *et al.*, 2007; Mu *et al.*, 2007; Sheffield *et al.*, 2010).

Considerando la necesidad del cálculo de ET en grandes áreas y la necesidad de cálculos a escala menor a la mensual, se considera en este caso el uso de la aproximación propuesta por Garatuza y Watts (2005), donde el coeficiente de cultivo (K_C) es reemplazado por índice de vegetación NDVI y finalmente este es re-emplazado por EVI.

$$ET = ET_o * K_c, \quad ET = \left(\frac{EVI - EVI_{\min}}{EVI_{\max} - EVI_{\min}} ET_o \right) \quad (1)$$

donde; EVI es el índice mejorado de vegetación, EVI_{\min} es el mínimo de la superficie, estación seca, EVI_{\max} es el máximo de la superficie, estación húmeda ET_o , evapotranspiración potencial de la superficie.

Es este sentido se analiza la viabilidad de esta metodología para obtener ET_c usando Índices de vegetación y su comparación con mediciones de superficie.

Materiales y métodos

En enero del 2006 fue instalada en el predio Viñas de la Costa de Hermosillo una torre micrometeorológica en una superficie de 60 ha (600 x 1000 m) plantada con nogal pecanero (28° 55' 25", -111° 17' 59"). Esta torre tiene una altura de 12m y 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 del suelo de 0 a -1.2m. Adicionalmente en el suelo fue colocado un sensor para medir 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 30 s y se almacenaron como promedios cada 30 min. 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/hr, humedeciendo círculos con un diámetro 7.5m.

La información satelital utilizada fueron los productos MODIS del sitio <http://daac.ornl.gov>. Entre los productos utilizados fueron los 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 público, www.agrososon.org.mx, los cuales corresponden a temperatura del aire, lluvia, radiación solar y evapotranspiración potencial (ET_o).

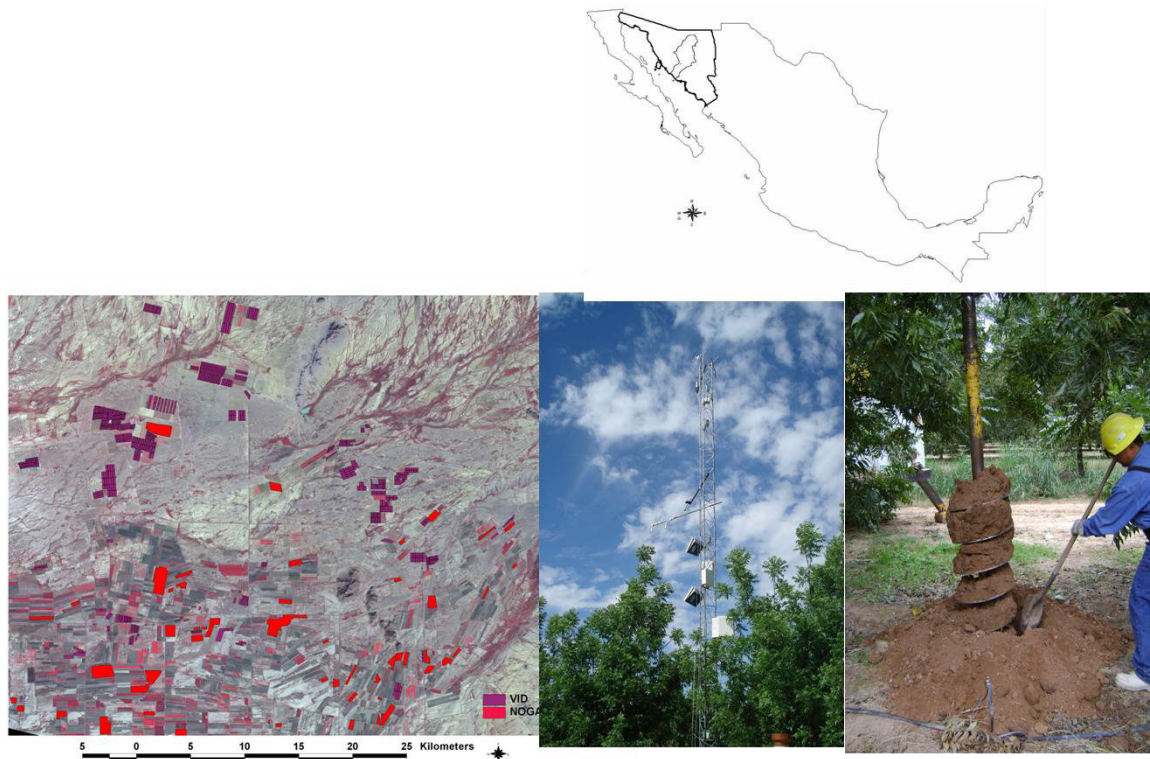


Figura 1. Área de nogal pecanero en la Costa de Hermosillo y sitio experimental en Viñas de la Costa en la cuenca del río Sonora.

Resultados y discusión

Índices de vegetación.

La Fig. 2, muestra la evolución diaria de EVI y NDVI desde 2000 hasta 2010. En ella se observan los incrementos estacionales, que siguen la fenología anual del nogal pecanero (brotación – senescencia) de primavera a otoño. Así mismo se observa un incremento de los valores mínimos, lo cual es debido al incremento de la cobertura anual, que produce una importante acumulación de hojarasca en el invierno durante la senescencia, la cual es incorporada al suelo en invierno mediante labores mecánicas. Así mismo se aprecia una importante variabilidad de los IV durante los veranos, donde los máximos corresponden a la máxima verdosidad del nogal más la verdosidad por presencia de anuales debido a las lluvias de verano y al humedecimiento por el riego de las zonas entre líneas; y los mínimos en la estación de crecimiento por la aplicación de herbicida y la eliminación mecánica de las malezas. Estos valores de NDVI > 0.6 observados en el predio de Viñas de la Costa a partir del 2006, cuando se inicia la colecta de nueces, son similares a los reportados por Samani *et al.* (2009), para huertas adultas de nogal en el río Grande en Nuevo México. También en la misma figura se observa al final del invierno incrementos en EVI y NDVI, y son debido al riego por inundación aplicado para el movimiento de las sales fuera de la zona radicular del nogal pecanero.

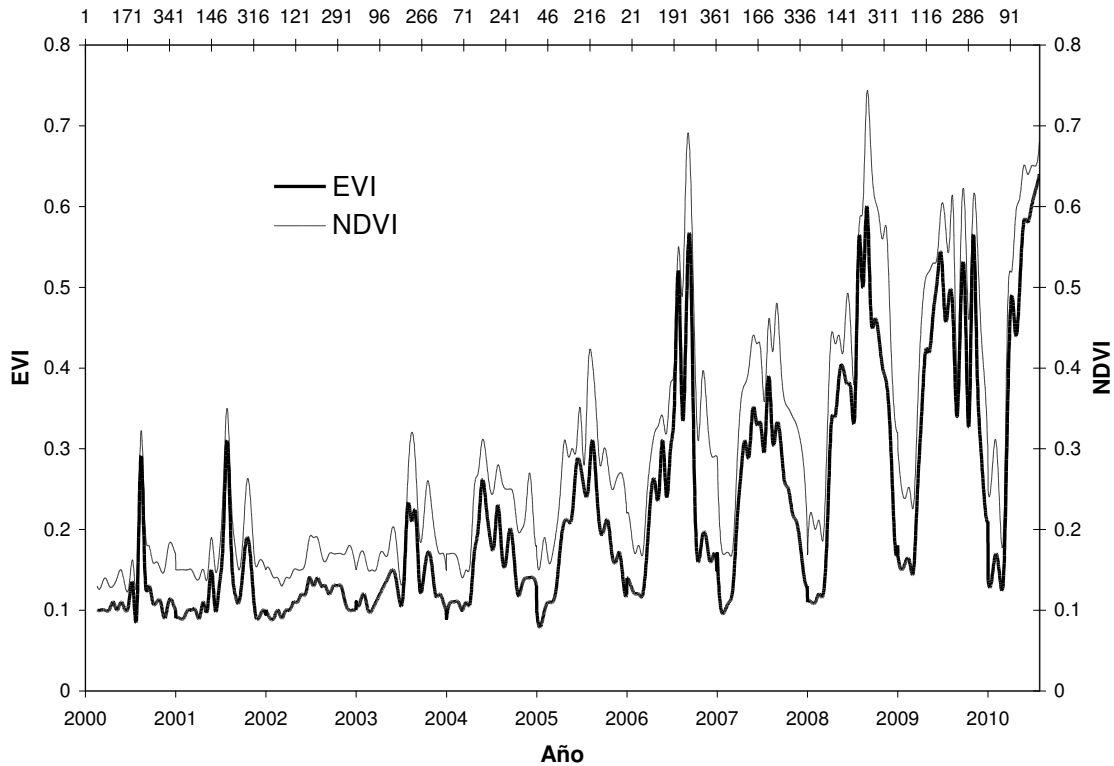


Figura 2. Evolución de los Índices de vegetación (EVI y NDVI), en Viñas de la Costa 2000-2010, en la Costa de Hermosillo, México.

La Fig. 3 muestra el análisis de los máximos y mínimos de ambos Índices de vegetación y precipitación media anual de 2000-2010. En ella se observa que durante 2000 a 2004 los valores mínimos de ambos índices presentaron poca variabilidad, lo cual es debido a la escasa acumulación de materia vegetal durante el otoño; mientras que en los últimos años estos valores presenta un incremento importante y su rápido cambio es debido a la incorporación de ésta al suelo por laboreo mecánico. En esta misma figura los valores máximos de EVI y NDVI se observan en los años 2006 y 2008, cuando las precipitaciones de verano fueron importantes, por otro lado los mínimos de estos ocurrieron en los años 2002, 2007 y 2009 cuando las lluvias de verano fueron bajas. El Cuadro 1, muestra el resumen de la Fig. 2. En el se visualizan las variaciones de los índices (Mx-Mn) y se observa nuevamente que sucede en el 2006 y 2008 las máximas y las mínimas de 2000 a 2004, similar a las variaciones observadas por Lizárraga-Celaya *et al.* (2010) en vegetación natural por influencia del monzón mexicano, ya que el nogal pecanero tiene una larga estación de crecimiento y sus máximos ocurren durante la primavera y verano anualmente.

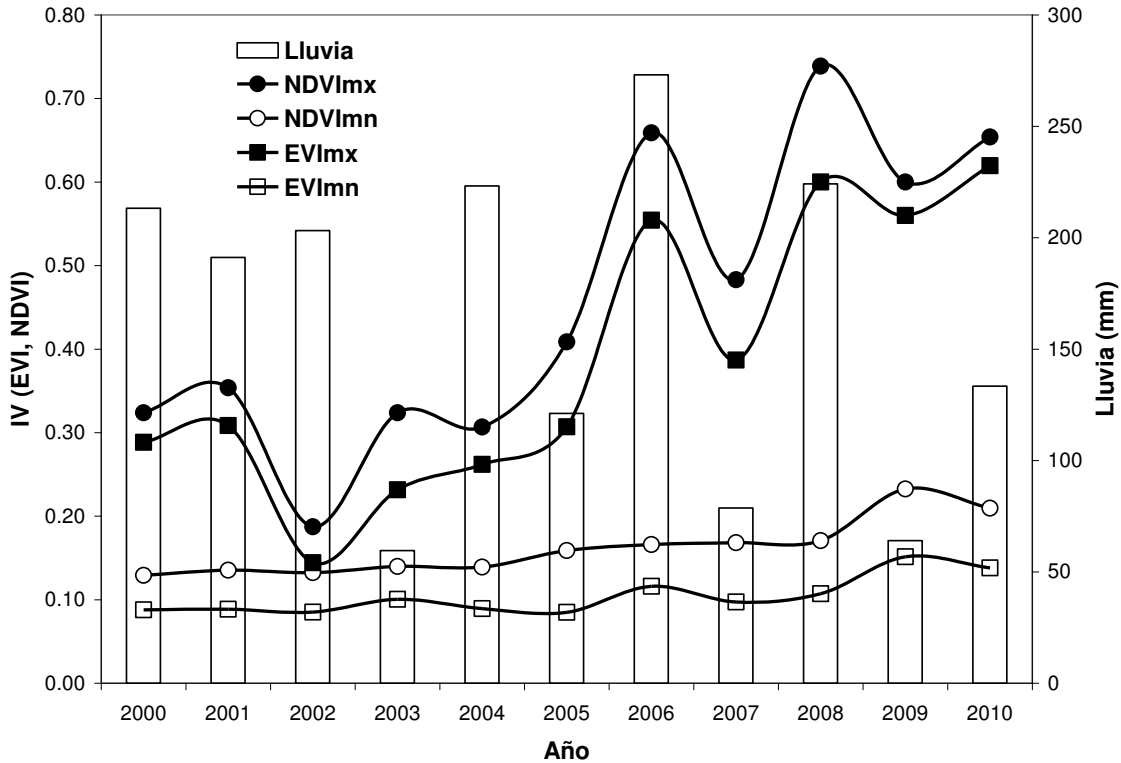


Figura 3. Análisis de máximo y mínimos de los Índices de vegetación en el sitio Viñas de la Costa, Costa de Hermosillo, México. (mx máximo, mn mínimo)

Cuadro 1. Resumen del análisis de índice de vegetación (IV), y su variabilidad, en Viñas de la Costa y precipitación de Est. Perico 2, Costa de Hermosillo, México.

| Año | NDVI mx | NDVI mn | EVI mx | EVI mn | Lluvia | □NDVI | □EVI |
|------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|------|
| 2000 | 0.32 | 0.13 | 0.29 | 0.09 | 213.20 | 0.19 | 0.20 |
| 2001 | 0.35 | 0.14 | 0.31 | 0.09 | 191.10 | 0.22 | 0.22 |
| 2002 | 0.19 | 0.13 | 0.14 | 0.09 | 203.20 | 0.05 | 0.06 |
| 2003 | 0.32 | 0.14 | 0.23 | 0.10 | 59.50 | 0.18 | 0.13 |
| 2004 | 0.31 | 0.14 | 0.26 | 0.09 | 223.20 | 0.17 | 0.17 |
| 2005 | 0.41 | 0.16 | 0.31 | 0.08 | 121.10 | 0.25 | 0.22 |
| 2006 | 0.66 | 0.17 | 0.55 | 0.12 | 273.10 | 0.49 | 0.44 |
| 2007 | 0.48 | 0.17 | 0.39 | 0.10 | 78.60 | 0.31 | 0.29 |
| 2008 | 0.74 | 0.17 | 0.60 | 0.11 | 224.10 | 0.57 | 0.49 |
| 2009 | 0.60 | 0.23 | 0.56 | 0.15 | 64.00 | 0.37 | 0.41 |
| 2010 | 0.65 | 0.21 | 0.62 | 0.14 | 133.40 | 0.44 | 0.48 |

Evapotranspiración.

Para validar la metodología propuesta por Garatuzza y Watts (2005), se utilizó la serie de datos de ET medida el 2006 en nogal pecanero mediante técnica turbulenta (Rodríguez *et al.*, 2010). Los valores máximos y mínimos utilizados en la Ec. 1, serán los obtenidos en Cuadro 1 utilizando como referencia la idea de Asrar *et al.* (1984) para trigo. Estos valores son 0.74 y 0.13, y 0.62 y 0.08 para NDVI y EVI respectivamente.

La Fig. 4 muestra los resultados del uso de los IV para la estimación de ET. En ella se observa en esta primera aproximación una importante diferencia entre las mediciones usando correlación turbulenta, donde los valores medidos son comparables con los observados en nogal pecanero en otras regiones por Samani *et al.* (2009), y Sammis *et al.* (2004) en Nuevo México. También se observa que la señal de los IV a 16 días no fue capaz de capturar el evento de riego por inundación aplicado a principios de año, pero por otro lado si capturan el comportamiento fenológico del nogal durante la primavera y verano, inclusive el riego pesado aplicado posterior a la cosecha que provocó un ligero reverdecimiento del cultivo.

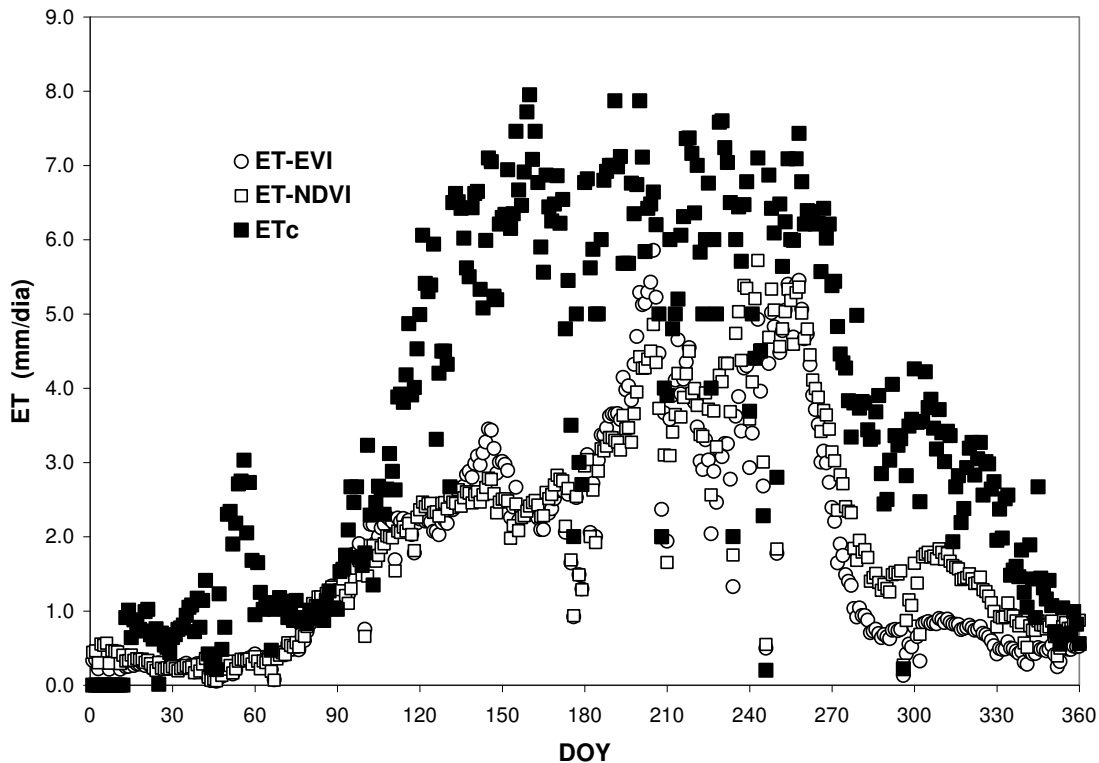


Figura 4. Evapotranspiración medida (ETc), estimada (ET-EVI, ET-NDVI) en nogal pecanero en la Viñas de la Costa de Hermosillo, 2006.

Conclusiones

Los 10 años de análisis de IV, mostraron que ambos índices fueron capaces de seguir la fenología del nogal, así como el incremento en el follaje con la edad de la plantación, la variabilidad interanual ocasionada por la presencia de malezas debido a las precipitaciones y el efecto de la incorporación de la hojarasca en invierno. Sin embargo en esta primera simulación de ETc, los resultados con el uso de ambos IV muestran un subestimación, por lo que se requiere hacer un análisis más detallado interanualmente o modificar los valores de extremos.

Agradecimientos.

Los autores desean agradecer a Agencia Internacional de Energía Atómica, CEDES, CONACYT, PROMEP y Universidad de Sonora por los apoyos realizados para la

realización de este trabajo. Así mismo, al productor Carlos Coppel y a su equipo de técnicos.

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.
- Cleugha, 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.
- Fereres E., Soriano M.A., 2007, Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal of Experimental Botany*, 48:147-159.
- Garatuza-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.
- 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.
- Lizárraga-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.
- 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.