

1.27

Flujos ecosistémicos de agua y Carbono durante la temporada de lluvias en un matorral subtropical de Sonora

Tarin Tonantzin¹, Yépez Enrico A.^{1*}, Rodríguez Julio C.², Garatuza-Payan Jaime¹, Watts Christopher J.³, Eli Perez-Ruiz¹, Vivoni Enrique R.⁴, Méndez Luis A.⁴

*Autor para correspondencia: yepezglz@itson.mx

¹ Instituto Tecnológico de Sonora. Dep. de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente., 5 de febrero 818 sur, Col. Centro 85000. Cd. Obregón Sonora, México.

² Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería, Blvd. Encinas y Rosales, Col. Centro, Hermosillo Sonora, 83000, México.

³ Universidad de Sonora, Departamento de Física, Blvd. Encinas y Rosales, Col. Centro, Hermosillo Sonora, 83000, México

⁴ Arizona State University, School of Earth and Space Exploration, Tempe, AZ 85287, USA

Resumen

El matorral subtropical (MS) de Sonora responde energicamente a las lluvias estacionales que suceden durante el verano a través del Sistema Monzón de Norte América (NAMS). El reciclaje de agua y la productividad de estos ecosistemas están controlados por la disponibilidad de la lluvia. Con la llegada de la lluvia y las altas temperaturas se desencadenan diversos procesos ecológicos que estimulan la productividad neta del ecosistema (PNE) representada con por el intercambio neto de CO₂ entre la superficie terrestre y la atmósfera, y la evapotranspiración (ET). Un sistema de correlación turbulenta (eddy covariance, *EC*) permite estimar directamente PNE y la ET. Sin embargo, en México muy pocos estudios se encuentran monitoreando flujos ecosistémicos. El primer paso para entender los controles de PNE y ET es conocer la dinámica de sus componentes: Producción primaria gruesa, (PPG) y respiración del ecosistema (Reco) en el caso de la PNE y evaporación del suelo (E) y transpiración (T) en el caso de ET. En este trabajo presenta la respuesta a la variabilidad climática de PNE y ET, así como de sus componentes durante el periodo más activo del NAMS 2007. Los resultados muestran que conforme llegan las lluvias la PNE sugiere que una importante cantidad de CO₂ entra al ecosistema debido probablemente a una alta PPG (hasta 20.1 μmol m² s⁻¹) que coincide con un amplio reverdecimiento de la vegetación (observado con NDVI, igual a 0.66). La transpiración del ecosistema controla del 60 al 80% de la ET total del MS. Relacionando los la PPG y la T calculamos una eficiencia de uso de agua de la vegetación (EUAV) de 5.2 μmol m² s⁻¹ de CO₂ por cada mmol m² s⁻¹ de agua que transpiro, sugiriendo una alta EUAV durante la temporada de crecimiento. Estos resultados son útiles para conocer la respuesta funcional y el potencial de secuestro de carbono del MS bajo diferentes escenarios de cambio climático, en donde se prevén menos lluvias, lluvias convectivas más intensas y periodos secos más prolongados durante la temporada de crecimiento de este ecosistema.

Palabras claves: Eddy covariance, productividad neta del ecosistema, respiración del ecosistema, productividad primaria gruesa, eficiencia de uso de agua de la vegetación.

Introducción

Los ecosistemas terrestres intercambian agua y carbono en función de la disponibilidad de recursos y representan importantes fuentes y sumideros de C a través de sus mecanismos de emisión o absorción de CO₂ (McCarthy *et al.*, 2010). La Productividad Neta del Ecosistema (PNE), representa el balance de CO₂ entre la superficie y la atmósfera. Este flujo, por lo tanto, describe la diferencia entre los procesos de asimilación por Producción Primaria Gruesa (PPG) y pérdida de CO₂ debido a la Respiración del Ecosistema (Reco). La PPG representa el total de la tasa fotosintética de toda la vegetación en un ecosistema, en unidades de: masa por área, por tiempo (ej. g C m⁻² yr⁻¹). La Reco es el total de la respiración de las plantas (autótrofa) y de los microorganismos (heterótrofa) en el suelo, lo cual constituye una fuente de CO₂ del ecosistema hacia a la atmósfera (Chapin *et al.*, 2006). La evapotranspiración (ET) es la vía por la que se intercambia vapor de agua entre el ecosistema y la atmósfera, al igual que el PNE, es un flujo combinado que integra la evaporación del suelo (E) y la transpiración de la vegetación (T). La habilidad de conocer por separado los componentes de la PNE y la ET permite determinar la Eficiencia de Uso de Agua de la Vegetación la cual es parámetro ecosistémico poco estudiado que se define como GPP/T (Niu et al, 2011).

El monzón de Norte América (NAMS) es un fenómeno regional importante que proporciona un incremento en las precipitaciones anuales en el norte de México y el suroeste de los Estados Unidos (Adams y Comrie, 1997). Con este sistema se precipita el ~65-75% de la lluvia anual total durante los meses de julio, agosto y septiembre. Las regiones áridas y semiáridas bajo la influencia del NAMS muestran una amplia respuesta en sus procesos eco-hidrológicos (Vivoni *et al.*, 2010). En particular, la ET y el NEE ocurren significativamente después de haber iniciado el NAMS (Scott et al., 2006; Yezpe et al., 2007; Pérez-Ruiz et al., 2010).

El método de correlación turbulenta (EC), se ha convertido en una herramienta importante para estudiar el intercambio de gases a nivel de ecosistemas (Baldocchi *et al.*, 2001). La EC mide directamente el intercambio neto de CO₂ y de vapor de agua entre la superficie y la atmósfera (Etzold *et al.*, 2010; Baldocchi *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2010) y aunque no distingue directamente entre los componentes de PNE y ET, es posible hacer aproximaciones de estos componentes en base a las diferencias entre los flujos nocturnos y diurnos y la micrometeorología local (Yezpe et al., 2007).

El objetivo de este trabajo es presentar una serie de tiempo del intercambio neto de agua y CO₂ y sus componentes para calcular la eficiencia de uso de la vegetación de un matorral subtropical en el estado de Sonora durante la temporada del NAMS.

Materiales y Métodos

La zona de estudio es un matorral subtropical (MS), cerca de 4km al noroeste del municipio de Rayón en el estado de Sonora en las coordenadas latitud 29.741 y longitud -110.5337, a ~630msnm. El clima es considerado seco-semicálido de acuerdo con la clasificación de Koppen, BWh (INEGI, 2011).

La precipitación media anual es de 515 mm y la temperatura media anual de 20°C (INEGI, 2011).

Las especies predominantes son: Mezquite (*Prosopis velutina*), Ocotillo (*Fouquieria macdougalii*), Huinolo (*Acacia cochliacantha*), Torote (*Jatropha cordata*) y Palo verde (*Parkinsonia praecox*). La vegetación mide de 2 a 8 m de altura y la cobertura vegetal es ligeramente cerrada (MODIS estima en 1km como máximo LAI a 1.7). El MS se encuentra influenciado por el NAMS, por lo que, la mayoría de las especies vegetales pierden sus hojas en la temporada seca y recuperan el verdor con la llegada de las precipitaciones a finales de junio o principios de julio.

El sistema de EC utilizado para medir el intercambio de agua y carbono consta de: un analizador de gases (LI7500, LI-COR, Lincoln, Nebraska), un anemómetro sónico en 3D (CSAT3, Cambell Scientific, Logan, UT, USA) a frecuencia de 10Hz. Un datalogger CR5000 (Campbel Sci, inc), se programó para calcular promedios cada 30min. La torre tiene una altura de 9m, sobre ésta, están instalados sensores que miden las variables micrometeorológicas de radiación neta (CNR1, Kipp & Zonene, Delft, the Netherlands), temperatura del aire y la humedad relativa (HMP45D, Vaisala, Helsinki, Finland). La dirección y velocidad del viento se miden con un anemómetro (Wind Monitor, R.M. Young, MI USA). La humedad del suelo fue medida a 5 y 10cm de profundidad (CS615, Campbell Scientific, Logan, UT, USA). La precipitación fue medida con un pluviómetro (TR-52USW, Texas Electronic, Dallas, TX, USA). Para separar la ET en sus componentes, se calculo la proporción de evaporación del suelo en base al cambio del volumen de agua en la superficie (5cm) y la variación del microclima local (Yepez et al., 2007). Los componentes de la PNE se estimaron para Reco utilizando el flujo nocturno de CO₂ mientras que GPP se estimó sustrayendo el promedio de Reco a los valores promedios de intercambio de CO₂ diurnos. La EUAV se calculo relacionando la PPG con la T con una regresión linear simple. Los datos presentados corresponden al periodo más activo (dos meses) durante la temporada del NAMS de 2007.

Resultados y Discusión

La precipitación total durante el periodo de estudio represento 228mm, durante este periodo 30% de los pulsos de precipitación registrados estuvieron por debajo de <5mm, de acuerdo a Loik *et al.*, (2004), el 47% de los pulsos de precipitación en los ecosistemas áridos y semiáridos se mantienen en ese rango (**Figura 1**). Conforme la estación húmeda de crecimiento avanzo la PPG tuvo una tendencia a incrementarse coincidiendo con el incremento del reverdecimiento de ecosistema de acuerdo a los sensores remotos (NDVI). La variación en la PPG en el MS se vio principalmente controlada por la variación de la PPG que presento hasta con 20.1 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ la cual a su vez respondió de manera muy marcada a la variación de la demanda evaporativa de la atmósfera (**Figura 1**). Similar a lo reportado en otros ecosistemas estacionales, al inicio de la temporada de lluvias el matorral presento una pérdida de CO₂ a la atmósfera lo cual pudiera ser atribuible a la respiración del suelo tras la rápida reactivación de microbiota del suelo después de las primeras lluvias (Scott et al., 2006). Asimismo se observó que existió una débil tendencia a que la Reco fue controlada por la humedad superficial del suelo, sugiriendo que durante el periodo de estudio la Reco esta dominada por la respiración de la vegetación lo cual podría contrastar de manera importante con otros ecosistemas áridos y semiáridos en donde la respiración del suelo tiene un papel dominante. La habilidad de separar los componentes de los flujos de agua y CO₂ netos del ecosistema en PPG y Reco permiten evaluar la eficiencia de uso de agua de la vegetación (EUAV) y explorar el control que las variables ambientales ejercen sobre procesos específicos del ecosistema. En el caso del matorral, la vegetación presente en su conjunto asimilo 5.2 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ de CO₂ por cada mmol m² s⁻¹ de agua que transpiro durante la época de crecimiento (**Figura 2**). Las altas tasas de transpiración, la alta EUAV y la baja Reco sugieren que este ecosistema tiene alta eficiencia de uso de lluvia durante la época de crecimiento.

Conclusiones

El estudio forma parte de un esfuerzo multidisciplinario en donde el eje conductor es la eco-hidrológica del Monzón. Se cree que este enfoque, incluyente de información eco-fisiológica e hidrológica, ayuda a elucidar la respuesta funcional de estos ecosistemas a la variación climática característica del monzón y a realizar predicciones acerca de los posibles patrones de productividad y

potencial de secuestro de carbono de estos ecosistemas conforme responden al cambio climático prospectado para esta región. Debido a la enorme variabilidad ambiental y disponibilidad de recursos generada durante el NAMS es muy importante entender cómo los patrones de utilización de agua se relacionan con otros procesos fundamentales del ecosistema ya que esto, dará la pauta para probar hipótesis acerca del funcionamiento de estos ecosistemas desde un punto de vista eco-hidrológico. La continuación de este estudio incluye un análisis más detallado del comportamiento fisiológico de las plantas dominantes del matorral así como mediciones de la respiración suelo, para entender con más detalle los procesos que controlan la ET la PNE y sus componentes.

Referencias bibliográficas

- Adams, D.K., Comrie, A.C., 1997. The North American monsoon. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78 (10), 2197–2213.
- Baldocchi D., Falge E., Gu L et al. (2001). FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem–Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities. *Bulletin of the American Meteorological Society*; 82(11):2415-2434.
- Chapin F.S., Matson P.A., y Mooney H. A. (2002). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag Ney York, Inc.
- Chapin FS, Woodwell GM, Randerson JT, et al. (2006). Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems* 9(7):1041-1050.
- Chen B., Ge Q., Fu D., Yu X., Sun S., y Wang H. (2010). A data-model fusion approach for upscaling gross ecosystem productivity to the landscape scale based on remote sensing and flux footprint modelling. *Biogeosciences*;7(9): 2943-2958.
- Etzold S., Buchmann N., y Eugster W. (2010). Contribution of advection to the carbon budget measured by eddy covariance at a steep mountain slope forest in Switzerland. *Biogeosciences*; 7(8):2461-2475.
- Huxman T.E., Snyder K.A., Small E.E., Wilcox B.P., Hultine K., Breshears D.D., Scot R.L., Pockman W.T., Jackson R.B. (2005). Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology*; 86(2):308–319.
- INEGI, 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa digital de México V5.0 URL: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>
- Loik M.E., Breshears D.D., Lauenroth W.K., y Belnap J. (2004). A multi-scale perspective of water pulses in dryland ecosystems: climatology and ecohydrology of the western USA. *Oecologia*; 141(2):269-81.
- McCarthy HR, Oren R, Johnsen KH, Gallet-Budynek A, Pritchard SG, Cook CW, LaDeau SL, Jackson RB y Finzi AC. (2010). Re-assessment of plant carbon dynamics at the Duke free-air CO(2) enrichment site: interactions of atmospheric [CO(2)] with nitrogen and water availability over stand development. *The New phytologist*. 185(2):514-28.
- Niu S., Xing X., Zhang Z., Xia J., Zhou X., Song B., Li l., Wan S., (2011) Water-use efficiency in response to climate change: from leaf to ecosystem in a temperate steppe. *Global Change Biology* 17:1073-1082
- Pérez-Ruiz E.R., Garatuza-Payan J., Watts C.J., Rodríguez J.C., Yezpez E.A., y Scott R.L. (2010). Carbon dioxide and water vapour exchange in a tropical dry forest as influenced by the North American Monsoon System (NAMS). *Journal of Arid Environments*; 74:556-563.
- Scott, R.L., Huxman, T.E., Williams, D., Goodrich, D.C. 2006. Ecohydrological impacts of woody plant encroachment: seasonal patterns of water and carbon dioxide exchange within a semiarid riparian environment. *Global Change Biology*, 12:311-324.

Vivoni E.R., Moreno H., Mascaro G., Rodriguez J.C., Watts C.J., Garatuza-Payan J., y Scott R.L. (2008). Observed relation between evapotranspiration and soil moisture in the North American monsoon region. *Geophysical Research Letters*; 35(22):0-5.

Yepez E.A., Scott R.L., Cable W.L. y Williams D.G. (2007). Intraseasonal variation in water and carbon dioxide flux components in a semiarid riparian woodland. *Ecosystems*; 10:1100–1115

Figuras y Cuadros

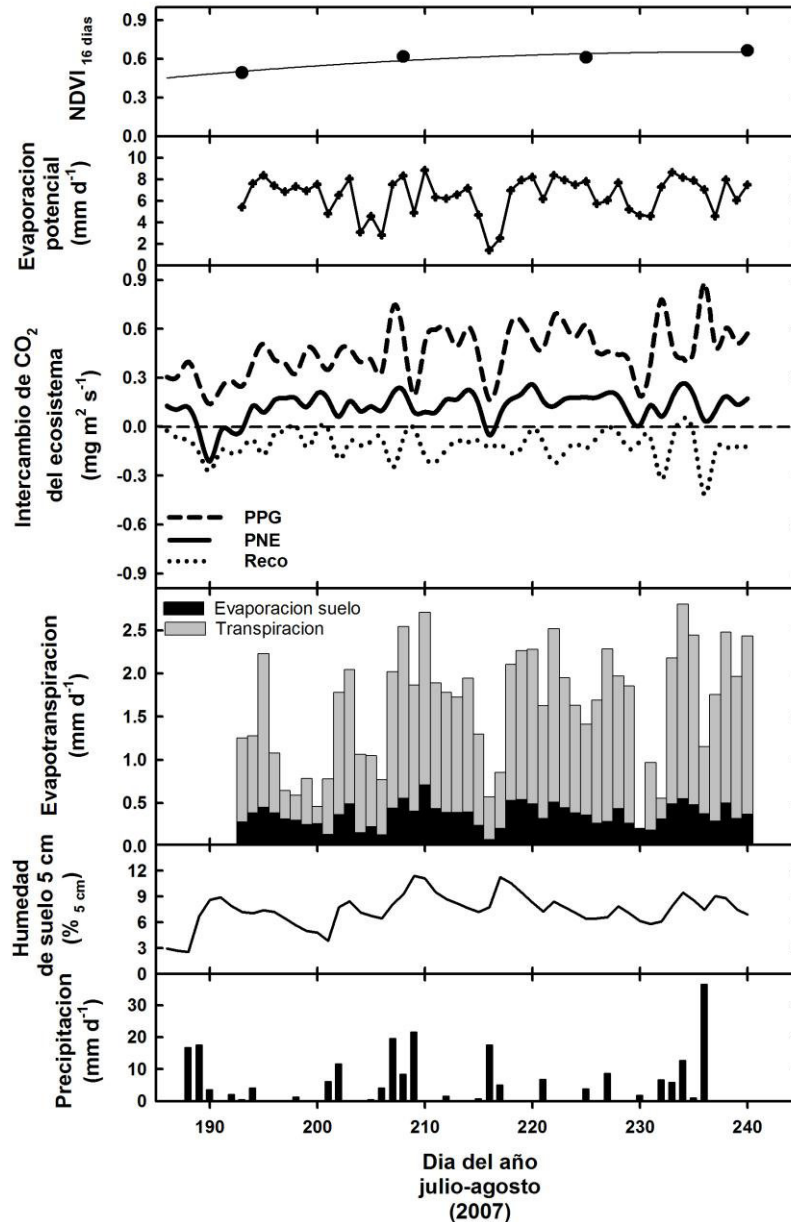


Figura 1. Condiciones climáticas ambientales en un matorral subtropical de Sonora, México. Se muestra de manera ascendente la precipitación en el periodo de estudio, el contenido de humedad en el suelo a los 5cm y la ET con sus componentes. Asimismo PNE separado en PPG y Reco, la evaporación potencial y el NDVI del ecosistema. En el caso de la PNE flujos positivos.

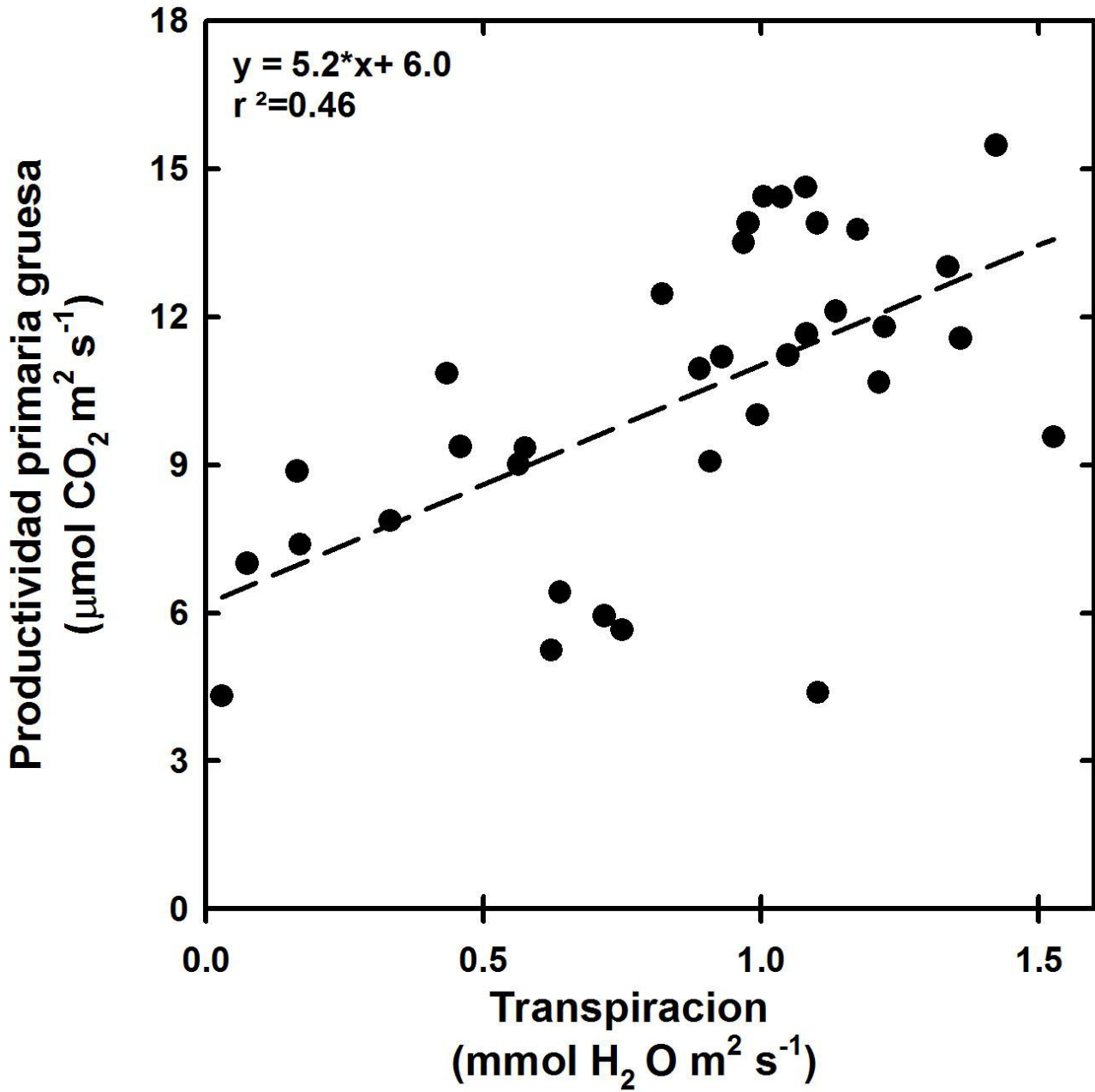


Figura 2. La eficiencia de uso de agua de la vegetación a nivel de ecosistema calculada en base a los componentes de la Productividad Neta del Ecosistema y la Evapotranspiración determinados con la técnica de correlación turbulenta en un matorral subtropical de Sonora, México