

## 1.31

**Intercambio neto de carbono en ecosistemas estacionales del noroeste de México**

**Elí Rafael Pérez Ruiz**<sup>1</sup>, Enrico A. Yépez<sup>1</sup>, Jaime Garatuza Payán<sup>1</sup>, Christopher Watts<sup>2</sup>, Julio Cesar Rodríguez<sup>3</sup>, Enrique R. Vivoni<sup>4,5</sup> y Luis A. Méndez Barroso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México

Autor para correspondencia: [erperez@itson.mx](mailto:erperez@itson.mx)

<sup>2</sup> Departamento de Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>4</sup> School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, Tempe, Arizona, EUA.

<sup>5</sup> School of Sustainable Engineering and the Built Environment, Arizona State University, Tempe, Arizona, EUA.

**Resumen**

El principal fenómeno que controla la lluvia y la disponibilidad de humedad en el noroeste de México es el sistema del monzón de Norteamérica (NAMS), que trae un incremento pronunciado en las precipitaciones durante el verano. Dicho fenómeno le confiere una estacionalidad de periodos secos y húmedos a la mayoría de los ecosistemas del noroeste de México, convirtiendo a la disponibilidad de agua en uno de los factores que controlan la dinámica de la vegetación. El presente estudio es una comparación de la dinámica del intercambio neto de carbono del ecosistema (NEE), en tres ecosistemas estacionales del noroeste de México, una Selva Baja Caducifolia (SBC), un Matorral Desértico (MD) y un Bosque de Encino (BE). Las mediciones del NEE fueron llevadas a cabo mediante la Técnica de Covarianza de Vórtices o Eddy Covariance, durante 2009. Durante la época seca, el NEE mostro valores cercanos a cero en SBC y MD, y valores de asimilación en BE, debido a la escasa o casi nula actividad biológica por la ausencia de humedad. Durante la época húmeda, se mostraron valores positivos en NEE (emisión) debido al aumento de actividad biológica en los ecosistemas SBC y MD, reflejado como un aumento en la emisión de carbono por la alta tasa respiratoria del ecosistema. A medida que el crecimiento de la vegetación aumenta los valores de NEE se vuelven negativos indicando un periodo amplio de captura de CO<sub>2</sub> en los 3 ecosistemas. Aun cuando el monzón afecta significativamente a los tres ecosistemas, hay diferencias entre ellos, teniendo un mayor y más pronunciado periodo de captura la SBC. En el BE, el comportamiento de los flujos es similar al del MD pero destaca una contribución importante del sotobosque herbáceo. Debido a que la precipitación y la disponibilidad de humedad tienen un efecto determinante en la dinámica del NEE, el entendimiento de su influencia de la variación de la lluvia en estos flujos es muy importante para predecir algunos efectos del cambio climático.

**Palabras clave:** *Técnica de covarianza de vórtices, Sonora, Flujos de carbono*

## Introducción

Cambios naturales y antropogénicos en el sistema climático pueden tener impactos importantes tanto en la estructura como en la función de los ecosistemas. Debido a esto, existe la necesidad de entender como los factores ambientales, principalmente la disponibilidad de humedad, influyen la dinámica de los ecosistemas estacionales, ya que estos serán más sensibles a posibles cambios en el clima (Yepez et al, 2007). En el noroeste de México, la ecohidrología está marcada por la respuesta de los ecosistemas a la precipitación durante el sistema del monzón de Norteamérica (NAMS) (Douglas et al, 1993; Mendez-Barroso et al, 2009). El NAMS es un incremento pronunciado de las precipitaciones de un período seco (mayo y junio) a un periodo húmedo (julio-septiembre), sobre grandes áreas del sureste de EUA y el noroeste de México (Adams y Conrie, 1997). Esta periodicidad en las lluvias confiere una estacionalidad de periodos secos y húmedos a la mayoría de los ecosistemas del noroeste de México, convirtiendo a la precipitación y la humedad del suelo en los controles principales de la actividad biológica (Huxman et al, 2004).

En la región del NAMS, la actividad biológica está marcada por 3 periodos perfectamente diferenciados entre sí, característicos de los ecosistemas estacionales. Un primer periodo, denominado pre-monzón, que corresponde a la temporada seca justo antes del inicio del monzón, en el cual la vegetación esta dormante y la actividad biológica es baja, mostrando flujos cercanos a cero. Un segundo periodo, denominado monzón, el cual está dividido en dos sub-periodos: el monzón temprano y el monzón tardío. El monzón temprano inicia con la llegada de las precipitaciones, y se caracteriza por un aumento sustancial en la emisión de CO<sub>2</sub>, debido a un aumento en la respiración del ecosistema, como respuesta de la actividad biológica a la llegada de la lluvia. El monzón tardío llega cuando después de un desarrollo completo de la cobertura vegetal, suficiente para contrarrestar la respiración del ecosistema, y entonces un periodo amplio de captura de CO<sub>2</sub> comienza, que permanece hasta el fin del monzón con la pérdida de hojas. Después de la pérdida de hojas en el ecosistema, los flujos de CO<sub>2</sub> tienden a valores mínimos de captura, cercanos a cero, en lo que se conoce como periodo de post-monzón (Perez-Ruiz et al, 2010).

En las últimas décadas, el uso de la técnica de covarianza de vórtices (eddy covariance) se ha convertido en la técnica más utilizada para la medición de flujos de materia entre la biosfera y la atmósfera (Baldocchi et al, 2001). Por medio de esta técnica, podemos medir directamente el intercambio neto de carbono del ecosistema (NEE), el cual es una medición importante para el monitoreo de la actividad biológica de los ecosistemas. Cuando el flujo es de emisión, es decir, flujo del ecosistema a la atmósfera, el flujo es positivo. Por el contrario, si tenemos un flujo de captura, es decir, de la atmósfera al ecosistema, el flujo es negativo. En el presente estudio se utilizó la técnica de covarianza de vórtices para el entendimiento de la dinámica del NEE en tres ecosistemas del noroeste de México influenciados por el NAMS, una selva baja caducifolia (SBC), un matorral desértico (MD) y un bosque de encino (BE).

## Materiales y Métodos

El estudio se localizo en 3 ecosistemas distintos, una en SBC en el Ejido La Estrella, municipio de Rosario, Sonora (27°50'40.7''N, 109°17'52''W, 460 msnm) con una precipitación anual de 712 mm (promedio de 1971-2001, Estación Meteorológica Tesopaco #00026100, CNA) una en MD en Rayón, Sonora (29°44'27.8''N, 110°32'11.7''W, 320 msnm) con una precipitación anual de 515mm (promedio de 1971-2001, Estación Meteorológica Rayón #00026181, CNA), y otra más en un BE en Sierra Los Locos, municipio de Opodepe, Sonora (29°44'26.9''N, 110°28'17.9''W, 1385 msnm) con una

precipitación anual de 530 mm (promedio de 1971-2001, Estación Meteorológica Opodepe #00026064, CNA) (**Figura 1**).

El NEE fue medido utilizando la técnica de covarianza de vórtices (eddy covariance) (Baldocchi et al, 2001; Baldocchi, 2003) en tres torres micrometeorológicas ubicadas en los sitios antes mencionados, una de 15 m (SBC), una de 12 m (BE) y una de 9 m (MD). El sistema de covarianza de vórtices consistió en un anemómetro sónico 3-D (CSAT3, Campbell, Scientific) y un analizador de gases infrarrojo (LI-7500, Li-Cor), colectando los datos por medio de un datalogger (CR5000, Campbell Scientific). También se realizaron mediciones de radiación neta, temperatura, humedad relativa, precipitación y otras variables meteorológicas. Las mediciones de CO<sub>2</sub> fueron hechas a 10 Hz, almacenando y promediando valores cada 30 minutos utilizando promedio de Reynolds. El periodo de estudio comprendió el año 2009, con datos completos para SBC y MD, y datos de marzo a octubre en BE.

Los flujos fueron corregidos mediante los siguientes procesos: rotación de coordenadas, correcciones Webb-Pearman-Leuning (Weeb et al, 1980) y corrección por el uso de temperatura sónica en el cálculo de calor sensible (Lui et al, 2001). El desempeño el sistema fue analizado por medio del balance energético ( $RN - G = LE + H$ ). Los datos fueron filtrados usando un criterio de exclusión de velocidad de fricción ( $u^*$ ) igual a 0.15 m/s. Los huecos de valores fueron reemplazados usando las estrategias de llenado de huecos descritas por Falge et al. (2001) y Reichstein et al (2005), mediante una herramienta en línea (<http://www.bgc-jena.mpg.de/~MDIwork/eddyproc/>). Para la corrección de los datos del BE, se utilizaron los valores de temperatura sónica del CSAT3 y concentración de agua del LI-7500 para el cálculo de presión de vapor y humedad relativa, por lo que dichos datos deben de ser tomados con cautela.

## Resultados y discusiones

La precipitación y la disponibilidad de humedad traída por el NAMS en los ecosistemas del noroeste de México, particularmente en el estado de Sonora, es el factor principal que domina la actividad biológica, y por consiguiente, la dinámica del NEE y el balance general de carbono. Sin embargo, a pesar de la marcada influencia del NAMS en estos ecosistemas, diferencias notables entre cada uno de ellos pueden ser observadas.

Los tres ecosistemas muestran un claro periodo de captura de carbono (flujos negativos) durante los meses de Julio a Septiembre, correspondientes a los meses del NAMS, mientras que el resto de los meses secos, dada la escasez de agua y actividad biológica, los flujos tienden a cero, aunque en BE, parece existir un poco de actividad biológica estos meses (**Figura 2**). Un aspecto importante en la SBC y el MD son valores altos de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera (valores positivos) justo al inicio de la temporada del NAMS, principalmente por un aumento significativo en la respiración del ecosistema (Yepez et al., 2007;). Lo cual parece ser una característica definitoria de los ecosistemas estacionales (Huxman et al, 2004). Este marcado periodo de emisiones es más notorio y amplio en el MD que en SBC para 2009, pero el NEE positivo (emisión) es generalmente mayor en SBC (Perez-Ruiz et al, 2010) probablemente por la mayor cobertura vegetal y consecuentemente la cobertura de hojarasca en el suelo que representa un sustrato lábil para la respiración microbiana. En el caso de BE, este periodo de emisiones es menos notorio, probablemente debido a que este ecosistema no presenta la característica caducifolia.

La ganancia neta de carbono durante la temporada húmeda en estos ecosistemas es también contrastante, ya que la duración del periodo y la magnitud de NEE en la SBC es mayor que en el MD y el BE. Las causas de estas diferencias son probablemente la mayor productividad primaria y cobertura vegetal en la SBC debido a una mayor precipitación promedio por la presencia de humedad adicional

de origen ciclónico hacia el final de NAMS. En el caso de MD y BE no se observa una diferencia significativa en el periodo de captura, tanto en amplitud como en magnitud.

En el BE, a pesar de notarse la influencia del NAMS en su actividad biológica, y tener una cobertura vegetal intermedia entre los otros dos ecosistemas y ser un ecosistema con menor biodiversidad, no se aprecia tan marcadamente el comportamiento típico de los ecosistemas estacionales secos, especialmente durante monzón temprano. Al ser un ecosistema que se encuentra a una mayor altitud, y tienen temperaturas más bajas, lo hacen un ecosistema con características más templadas (i.e. dominados por la temperatura del aire, productivos durante todo el año a excepción de sequías, etc.) (Powell et al. 2006; Ma et al, 2007), con una menor ganancia neta de C en 2009 que los otros dos ecosistemas.

## Conclusiones

La presencia del NAMS es un factor determinante en la dinámica de intercambio de CO<sub>2</sub> en los ecosistemas del estado de Sonora, sin embargo, la magnitud de esta respuesta es variable. Factores propios de cada ecosistema, como la cobertura vegetal, temperaturas máximas y mínimas, altitud e inclusive biodiversidad, así como factores ajenos a ellos, como perturbaciones antropogénicas, juegan un papel primordial al tratar de comparar la dinámica del NEE en estudios de síntesis de diversos ecosistemas.

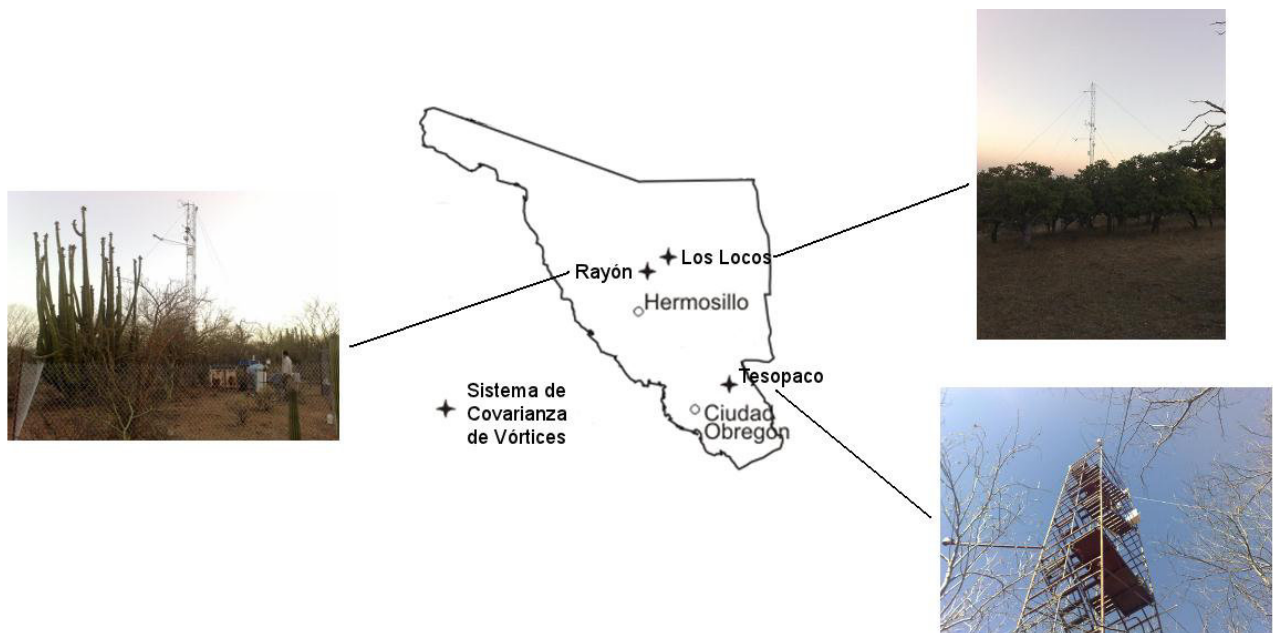
A pesar de las grandes diferencias, la disponibilidad de agua es el factor preponderante en la actividad biológica de los ecosistemas del noroeste de México, y ante las predicciones de los posibles efectos que el calentamiento global y el cambio climático pudieran tener en la dinámica del ciclo del agua, como la modificación de los regímenes de precipitación y la disminución de la generalizada de la precipitación, así como un aumento de las temperaturas, es de vital importancia estudiar los efectos que estos cambios tendrán en el intercambio y almacenamiento de carbono de estos ecosistemas.

## Referencias bibliográficas

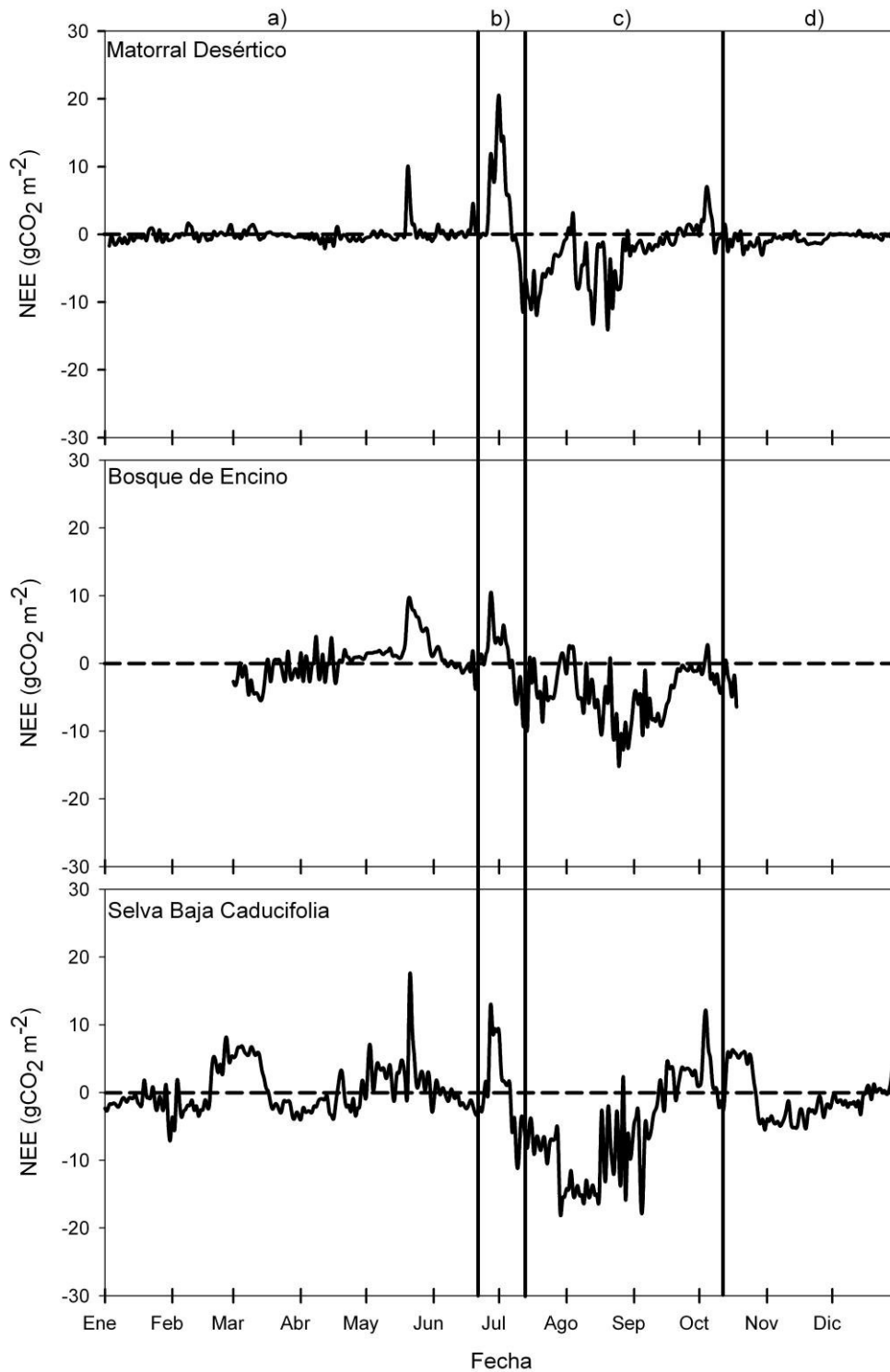
- Adams, D.K., Comrie, A.C., 1997. The North American monsoon. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78 (10), 2197–2213.
- Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meters, T., Munger, W., Oechel, W., Paw, U.K.T., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S., 2001. FLUXNET: a new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem scale carbon dioxide, water vapour and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82 (11), 2415–2434.
- Douglas, M.W., Maddox, R.A., Howard, K., Reyes, S., 1993. The Mexican monsoon. *Journal of Climate*. 6 (8), 1665–1677.
- Falge, E., Baldocchi, D., Olson, R.J., Anthoni, P., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, R., Clement, R., Dolman, H., Granier, A., Gross, P., Grüwald, T., Hollinger, D., Jensen, N.-O., Katul, G., Keronen, P., Kowalski, A., Ta Lai, C., Law, B.E., Meyers, T., Moncrieff, T., Moors, E., Mungers, J.W., Pilegaard, K., Rannik, U., Rebmann, C., Suyker, A., Tenhunen, J., Tu, K., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S., 2001. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Journal of Agriculture and Forest Meteorology*. 107, 43–69.

- Huxman, T.E., Snyder, K.A., Tissue, D., Leffler, A.J., Ogle, K., Pockman, W.T., Sandquist, D.R., Potts, D.L., Schwinning, S., 2004. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia*. 141, 254–268.
- Ma, S., Baldocchi, D. D., Xu, L., Hehn, T. 2007. Inter-annual variability in carbón dioxide exchange of an oak/grass savanna and aopen grassland in California. *Agricultural and forest meteorology*. 147, 157-171.
- Perez-Ruiz, E. R., Garatuza-Payan, J., Watts, C. J., Rodriguez, J. C., Yepez, E. A., 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.
- Powell, T. L., Bracho, R., Li, J., Dore, S., Hinkle, C. R., Drake, B. G. 2006. Environmental controls over net ecosystem carbon exchange of scrub oak in central Florida. *Agricultural and Forest Meteorology*. 141, 19-34.
- Reichstein, M., Falge, E., Baldocchi, D., Papale, D., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Gilmanov, T., Granier, A., Grünwald, T., Havránková, K., Ilvesniemi, H., Janous, D., Knohl, A., Laurila, T., Lohila, A., Loustau, D., Matteucci, G., Meyers, T., Miglietta, F., Ourcival, J.-M., Pumpanen, J., Rambal, S., Rotenberg, E., Sanz, M., Tenhunen, J., Seufert, G., Vaccari, F., Vesala, T., Yakir, D., Valentini, R., 2005. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology* 11, 1424–1439.
- Yepez, E.A., Scott, R.L., Cable, W.L., 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.** Ubicación de los sistemas de covarianza de vórtices instalados en ecosistemas estacionales de Sonora.



**Figura 2.** Serie de tiempo de valores diarios de intercambio de CO<sub>2</sub> para 3 ecosistemas estacionales en Sonora. Valores positivos indican emisión de CO<sub>2</sub> de la superficie a la atmósfera y valores negativos ganancia de CO<sub>2</sub> en el ecosistema. Las líneas verticales delimitan los periodos del año, a) Pre-monzón, b) Monzón temprano, c) Monzón Tardío, y d) Post-Monzón.