

Análisis de eventos de ventilación de suelo y su papel en el balance neto de carbono en ecosistemas carbonatados

María del Rosario Moya Jiménez

Tutores: Penélope Serrano Ortiz, Enrique Pérez Sánchez-Cañete.

Abstract. Despite the advance in the understanding of the carbon exchange between the terrestrial ecosystems and the atmosphere, semi-arid ecosystems have been poorly investigated and there is not much knowledge about their role in the global carbon balance. One of the main components in CO₂ exchange in these ecosystems is soil ventilation. It has been selected two different semi-arid Mediterranean experimental sites (with four years data) to determine the main environmental drivers related with them. An eddy covariance tower and a vertical soil profile were installed in each experimental site. The principal aim was to be able to forecast and modelling ventilation in generic Mediterranean semi-arid areas. Subterranean ventilation was detected in both experimental sites during daytime and specially during dry seasons. One of these sites shows a clear relation between CO₂ fluxes and friction velocity, deficit vapor pressure, net ecosystem radiation, air temperature and cave soil temperature. In the other experimental site there were no significant results.

Keywords: Eddy Covariance, Carbon exchange, Ventilation, Mediterranean climate, Net ecosystem carbon balance.

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente preocupación por el aumento de la concentración en la atmósfera de los llamados gases efecto invernadero y su papel en el actual cambio global es importante conocer y cuantificar los ciclos biogeoquímicos en los que se ven envueltos estos gases; en especial el ciclo del carbono. Recientes estudios han demostrado que los procesos abióticos como la ventilación del suelo (Serrano Ortiz et al., 2012) tienen un papel muy importante en los intercambios de CO₂ entre superficie y atmósfera y por lo tanto debería considerarse dentro del balance neto de carbono en el ecosistema (NECB). Aquellos ecosistemas con poca vegetación, como los semiáridos, constituyen el mejor escenario para avanzar en esta línea (Kowalski et al. 2008; Rey et al. 2012; Serrano- Ortiz et al. 2010).

La ventilación (V_s) es el flujo de aire que se produce desde el medio poroso de suelo hacia la atmósfera, debido al desequilibrio de fuerzas producidas en los gradientes de presión y gravedad. La ventilación produce emisiones repentinas del CO₂ previamente acumulado tanto en el subsuelo. Por tanto, estas emisiones de CO₂ no están relacionadas con un incremento de la respiración del suelo.

La técnica *Eddy Covariance* (EC) es la única técnica que permite la monitorización de los intercambios de CO₂ a nivel de ecosistema. El ecosistema principalmente actúa

como un sumidero de CO₂ durante el período de crecimiento ($F_c < 0$) y una fuente de emisión de este gas durante el período seco ($F_c > 0$, Pérez-Priego et al., 2013).

Pérez-Priego et al., 2013 concluyeron que para el sitio experimental ubicado *el Llano de los Juanes* durante los años con largos períodos de sequía, el CO₂ liberado a la atmósfera debido a V_s podía llegar a suponer más del 62% de la emisión anual. Sin embargo, aunque la relevancia de estos procesos no se puede despreciar en la estimación del balance neto de CO₂ en ecosistemas con largos períodos secos, la dificultad para identificar el origen del F_c nos impide llegar a comprender el gran número de incertidumbres que rodean este fenómeno.

Los objetivos de este trabajo han sido: 1) Aislar los eventos de ventilación acontecidos en los cuatro años de estudio en dos ecosistemas semiáridos mediante el análisis de datos de las torres EC y perfiles de CO₂ de suelo en profundidad. 2) Caracterizar dichos eventos y analizar las variables ambientales de las que dependen. 3) Buscar patrones comunes en los eventos de ventilación para llegar a predecirlos y modelizarlos de forma más general y válida para otros ecosistemas semiáridos.

METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en dos ecosistemas semiáridos ubicados en la provincia de Almería: *Balsablanca* (Cabo de Gata, Almería) y *el Llano de los Juanes* (Sierra de Gador, Almería). La instrumentación de medida, para cada uno de los sitios experimentales, estaba formada por una torre EC, sensores enterrados en el suelo y un datalogger. De cada lugar experimental se ha utilizado una base de datos de 4 años de duración (2010 a 2013) por sitio experimental. Cada una de ellas cuenta con medidas de velocidad de fricción (u_*), flujo de CO₂ (F_c), presión atmosférica (P), flujo de fotones fotosintéticamente activos reflejado (PPFD), precipitación (mm), déficit de presión de vapor (VPD), radiación neta (R_n), humedad relativa (HR) y temperatura (T^a). También se ha trabajado con otras dos bases de datos que contienen los datos generados en los perfiles de CO₂ con información sobre temperatura (°C), contenido de agua (SWC) y fracción molar de CO₂ (χ_c) a 0.15m, 0.5m y 1.5m de profundidad (en *el llano de los Juanes* también se cuenta con temperatura y fracción molar de CO₂ medidos en una cavidad artificial de 7m de profundidad en roca maciza y sellada del exterior). Los datos se procesaron según la metodología descrita en Serrano Ortiz et al., 2009, siguiendo los estándares considerados en la red internacional FLUXNET. También se aplicaron numerosos filtros para la detección de eventos.

La identificación de los eventos de ventilación se realizó mediante representaciones gráficas. Los factores ambientales considerados para la identificación eran altos valores de U_* , VPD y F_c para ambos emplazamientos. Los eventos de ventilación se observaban como un aumento de la emisión neta de F_c en *el Llano de los Juanes*, y una disminución de la asimilación de carbono en *Balsablanca*.

Se calcularon las correlaciones (R^2) entre el flujo de CO₂ y las distintas variables ambientales consideradas en este trabajo. También se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel significación de $p < 0.05$ y $p < 0.1$.

RESULTADOS

Aunque ambos ecosistemas se pueden considerar semiáridos, sus variables meteorológicas y ambientales son relativamente diferentes entre sí como consecuencia de la distinta proximidad del mar y altura. Los valores de R_n , SWC, χ_c y precipitación anual son mayores en *el Llano de los Juanes* que sobre *Balsablanca*. Por su parte, la HR, U_* , P, T^a y T_s son mayores en *Balsablanca*. 2012 resultó ser el año más seco y cálido, tanto en *Balsablanca*, como en *el Llano de los Juanes*. Por el contrario, 2010 fue el año más húmedo en ambos emplazamientos. El verano es la estación más calurosa y seca del año en los dos emplazamientos del estudio. La primavera es más calurosa y menos húmeda que el otoño. En *el Llano de los Juanes* durante esta estación es cuando la fotosíntesis es máxima debido al crecimiento vegetativo, y el F_c es negativo y mucho más bajo que el resto del año (el ecosistema actúa como sumidero de carbono). En *Balsablanca* también obtenemos valores negativos de F_c (más bajos que en primavera) durante los meses de invierno. *El Llano de los Juanes* presenta una enorme variación interanual en los valores de χ_c en las distintas profundidades. 2010 fue el año con mayor fracción de CO_2 .

La frecuencia e intensidad de los eventos de ventilación ha sido mayor durante los meses de verano. Aunque se han detectado dos posibles eventos nocturnos en *el Llano de los Juanes* (coincidiendo con altas U_* y una pequeña precipitación nocturna), la totalidad de los eventos se han producido durante las horas del día, coincidiendo el máximo de ventilación con los máximos de R_n .

Para conocer si existe realmente o no relación entre las distintas variables ambientales y el flujo de CO_2 durante los eventos de ventilación por un lado se aislaron los días en los que se consideró que existían eventos de ventilación y por otro lado los días previos (un día) a esos días de ventilación. Posteriormente, se correlacionaron las variables ambientales con los valores de F_c para ambos momentos. Aunque las barras de error son elevadas, los valores de R^2 de numerosas variables ambientales son bajos durante los días previos a los eventos de ventilación y aumentan considerablemente durante los días de evento en *el Llano de los Juanes*. Este es el caso de VPD, U_* , T^a , R_n y T_s de la cueva, todos ellos con valores de R^2 en torno a 0.4-0.6 (algunas de estas relaciones llegan a alcanzar valores cercanos a 1 en eventos concretos). En todos estos valores, el nivel de significación es suficiente ($p < 0.05$) como para considerar los resultados como estadísticamente significativos. Los valores de R^2 de χ_c , SWC y T_s a distintas profundidades con F_c parecen también ser más altos durante los días con eventos de ventilación, sin embargo, el test estadístico no mostró resultados significativos. Por su parte, la P no parece guardar ninguna relación con F_c . En *Balsablanca* la variación en la correlación entre las distintas variables ambientales con F_c para los días con eventos de ventilación y los días anteriores no son tan evidentes. En esta ocasión los valores de R^2 son bajos tanto durante los días previos a un evento de ventilación como el propio día del evento, aunque se aprecia un ligero ascenso en los valores de R^2 en la relación de χ_c , SWC y T_s a distintas profundidades con F_c . Sólo se aprecia una relación relativamente alta (R^2 en torno a 0.4) entre F_c y R_n pero esto sucede tanto en los días considerados como eventos como en los días previos. Las significaciones en este emplazamiento sólo se da en algunos años concretos y la mayoría de ellas con un 90% de confianza. Sólo para el año 2012 las

variables meteorológicas VPD, U_* y T^a muestran un resultado estadísticamente significativo. Finalmente, sólo la relación F_c -SWC a 1.5m tiene un gran número de significaciones con un 95% de confianza.

DISCUSIÓN FINAL

La identificación de eventos de ventilación fue especialmente complicada en *Balsablanca*, donde a pesar de emplear los mismos criterios que en *el Llano*, el comportamiento de estos era diferente. La relación U_* y F_c no se apreciaba en numerosas ocasiones y el comportamiento de la fracción molar de CO_2 del suelo y F_c de la torre parecía inexistente. Sólo la relación entre F_c y VPD se podía apreciar tanto en uno como otro emplazamiento. Todas estas complicaciones a la hora de clasificar un evento de ventilación han podido haber afectado en la falta de resultados significativos en *Balsablanca*. Dado los enormes valores de χ_c encontrados durante numerosos eventos de ventilación y su frecuencia durante los meses de sequía podríamos afirmar que la capacidad de ventilación de *el Llano de los Juanes* a diferencia de *Blasablanca* es enorme, debido al gran número de macroporos y fisuras que forman parte del suelo de este ecosistema kárstico.

En *el Llano de los Juanes* los análisis han mostrado una fuerte correlación entre algunas variables ambientales meteorológicas y F_c , que sólo se da durante los días de eventos de ventilación. Estos resultados nos permiten conocer más a fondo, como actúan los procesos de ventilación y las variables de las que depende, aportando un conocimiento muy valioso para una mejora en la modelización de estos eventos. El coeficiente de correlación (R^2) entre F_c y VPD, U_* , T^a , R_n o T_s de la cueva, durante estos días varía entre un 0.4-0.6, y ha resultado ser estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para la mayoría de años estudiados. Por lo que podemos afirmar que los eventos de ventilación se correlacionan muy bien con días con alto U_* , VPD y T^a , R_n y la T_s de la cavidad artificial. En estudios previos para este mismo emplazamiento, Kowalski et al. (2008) y Pérez-Priego et al. (2013) encontraron una relación entre F_c y U_* . También se habla de la relación entre F_c y la T^a durante los episodios de eventos de ventilación en Kowalski et al. (2008) y Serrano Ortiz et al. (2010). También en todos estos trabajos se habla de la fuerte relación entre R_n y F_c (Rey et al. 2011, Kowalski et al. 2008; Pérez-Priego et al. 2013 y Serrano Ortiz et al. 2010) y de la imposibilidad de que los eventos de ventilación se produzcan durante las horas nocturnas. En este sentido, este trabajo también apoya estos resultados previos y además aporta una cuantificación de estas relaciones. Sin embargo se han encontrado algún evento aislado de ventilación durante la noche en este emplazamiento. Además de los resultados obtenidos en este trabajo y avalados por trabajos anteriores, existen otras relaciones de F_c con otras variables que se han tratado en este trabajo por primera vez. En este sentido, ningún trabajo habla sobre la relaciones entre F_c -VPD y F_c - T_s de la cueva para los días de ventilación que sí se han encontrado en este trabajo. Los análisis han mostrado también una relación entre las variables medidas en profundidad (SWC, T_s y χ_c) y F_c durante los eventos de ventilación. Sin embargo sólo la relación F_c - T_s de la cueva ha resultado significativa en este trabajo.

Para el caso de *Balsablanca* las correlaciones entre las variables ambientales meteorológicas y F_c son muy bajas para los días previos a los eventos y los días considerados como eventos. Además sólo para el año 2012 estas relaciones han resultado significativas para VPD, U^* y T^a y para la P en el año 2013, lo que nos da a entender que no existe relación entre las variables ambientales meteorológicas y F_c durante los eventos de ventilación. Estos resultados podrían indicar que los flujos de CO_2 de este ecosistema no dependen del comportamiento de variables aisladas sino que varias variables ambientales podrían actuar de forma conjunta, y ser responsables del comportamiento del flujo de CO_2 medido, que no se ha realizado una correcta definición de los procesos de ventilación para este ecosistema o incluso si estos eventos verdaderamente son relevantes para el balance de carbono durante los años estudiados (2010-2013). Para el caso de la correlación $Rn-F_c$, ésta se produce tanto para los días considerados como eventos como para aquellos que no lo son, sin embargo no se han obtenido resultados significativos de esta relación en el test estadístico. Dicha relación si fue detectada por Rey et al., (2012).

Respecto a la falta de resultados concluyentes en la relación “variables ambientales- F_c ” durante los eventos de ventilación, probablemente se haya producido un enmascaramiento en los valores de F_c medidos debido a una importante contribución de los procesos biológicos en los flujos de CO_2 medidos. Además, destacar la existencia de una falla (Reicherter y Reiss, 2001) en el ecosistema estudiado que probablemente contribuya a la emisión de CO_2 de origen geológico (Mörner y Etiope, 2002). Finalmente, respecto a la relación de las variables medidas en profundidad (T_s , SWC y χ_c) y F_c en este emplazamiento no ha habido datos concluyentes.

BIBLIOGRAFÍA

4. Kowalski, A. S., Serrano-Ortiz, P., Janssens, I.A., Sanchez-Moral, S., Cuezva, S., Domingo, F., Were, A., Alados-Arboledas, L., 2008. Can flux tower research neglect geochemical CO_2 exchange?, *Agric. Forest Meteorology*, 148, 1045-1054.
5. Mörner N; A., Etiope, G., 2002. Carbon degassing from the lithosphere. *Global and Planetary Change*, 33, 185-203.
6. Pérez-Priego, O., Serrano-Ortiz, P., Sánchez-Cañete, E.P., Domingo, F., Kowalski, A.S., 2013. Isolating the effect of subterranean ventilation on CO_2 emissions from drylands to the atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology*. 180, 194-202.
7. Reicherter, K. R., Reiss, S., 2001. The Carboneras Fault Zone (South-eastern Spain) revisited with ground penetrating radar-Quaternary structural styles from high-resolution images. *Netherland Journal of Geosciences*, 80, 129-138.
8. Rey, A., Belelli-Marchesini, L., Were, A., Serrano-Ortiz, P., Etiope, G., Papale, D., Domingo, F., Pegoraro, E., 2012. Wind as a main driver of the net ecosystem carbon balance of a semiarid Mediterranean steppe in the South East of Spain, *Global Change Biology*, 18, 539-554.
10. Serrano-Ortiz, P., Roland, M., Sanchez-Moral, S., Janssens, I. A., Domingo, F., Godderis, Y., Kowalski, A. S., 2010. Hidden, abiotic CO_2 flows and gaseous reservoirs in the terrestrial carbon cycle: Review and perspectives, *Agric. Forest Meterology*, 150, 321-329.
11. Serrano-Ortiz, P., E. P. Sanchez-Cañete, and C. Oyonarte. 2012. The Carbon Cycle in Drylands.in R. Lal, L. K., R. F. Hüttl, B. U. Schneider, and J. von Braun, editors. *Recarbonization of the Biosphere*. Springer- Verlag, New York.