

FLUJOS DE CO₂ Y LE MEDIDOS CON CÁMARAS DE INTERCAMBIO DE GAS Y SENSORES DE IR BAJO CONDICIONES DE CIELO ABIERTO

CO₂ AND LE FLUXES MEASURED WITH INTERCHANGE GAS CHAMBER AND IR SENSORS UNDER OUTDOOR CONDITIONS

¹ A. López Santos y ²J. A. Gil Marín

¹ Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la UACH, Bermejillo, Dgo. México (alopez@chapingo.uruz.edu.mx); ² Programa de Postgrado en Ingeniería en Sistemas de Producción, UAAAN. Buenavista Saltillo, Coah. México

RESUMEN. En principio, las cámaras de intercambio de gases (CIG) han sido utilizadas ampliamente para medir flujos de dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (LE), principales componentes de la respiración del suelo, y con la aparición posterior de sensores de rayos infrarrojos (IR), complementados con termopares y más recientemente con los anemómetros sónicos para medir estos mismos flujos, se llegó a pensar que eran dos métodos alternativos por tratarse de instrumentos cuyo funcionamiento están basados en principios diferentes. Sin embargo, resultados de investigaciones recientes han mostrado que ambos instrumentos se complementan bastante bien, no por su diseño o las magnitudes que registran o por sus características de funcionamiento, sino debido a las condiciones de advección bajo las cuales funcionan. Es decir, mientras que las CIG funcionan en condiciones de calma los sensores IR requieren condiciones de viento significativas.

Palabras clave: Flujos de masa y energía, liberación de CO₂ y vapor de agua

SUMMARY. Gas interchange chambers (CIG) have been used extensively to measure carbon dioxide flux (CO₂) and water vapor (LE), the main components of soil respiration, and later on with infrared ray sensors (IR), supplemented with thermocouples, and more recently with sonic anemometers to measure the same fluxes. It was believed that they were two alternative methods since the instruments operation are based on different principles. Nevertheless, recent research results have shown that both apparatus are well complemented, not because of their design or the magnitudes they register, or for their performance features, rather due to the advection conditions under which they perform. To sum it up, while CIG works under still conditions, IR sensors require significant wind movement.

Key words: Energy and mass flux, Water vapor and CO₂ release.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo y cuantificación del dióxido de Carbono (CO₂) y vapor de agua (LE), que se liberan a la atmósfera en los sistemas agroproductivos, es una necesidad creciente ante los retos actuales del calentamiento global. Para el caso del CO₂, se sabe que en la última década los cambios de uso del suelo y silvícolas han contribuido de manera significativa en las emisiones de

este gas a la atmósfera, con emisiones netas para 1990 de 444.5 millones de toneladas métricas (PNUMA-SEMARNAT, 2004). En tanto que para LE, debido al incremento de los índices de aridez que en fecha reciente se ha estimado en poco más del 61 % del territorio nacional presenta déficit de humedad de moderado a severo durante todo el año (UACH-CONAZA, 2004).

Lo anterior, adquiere relevancia al considerar el reporte del IPCC (2007), sobre los cambios en los sistemas

físicos y biológicos y de temperatura entre 1970 y 2004, a nivel mundial, donde, por ejemplo: se indica que en el norte, centro y noroeste del territorio mexicano, dichos cambios se estiman entre 1 y 2 °C. Por tal motivo, en años recientes ha resurgido el interés en las mediciones de radiación y del balance de energía en el suelo y en el dosel de las plantas (Sauer y Pinter, 2007).

Por lo tanto, una investigación de actualidad requiere una mejor comprensión y entendimiento de la producción primaria neta (PPN) en los bosques del mundo, ecosistemas que juegan el rol principal de distribución de carbón global, (Clark *et al.* 2001); exigencia que se ve reflejada en la declaración de metas de la AmeriFlux network, que establece lo siguiente: (1) Comprender los factores y procesos que regulan el intercambio de CO₂, incluyendo procesos del suelo, estructura de la vegetación, fisiología y etapa de sucesión; y (2) Determinar la retroalimentación principal que puede afectar el futuro de la biosfera, de tal manera que responda a los cambios en el clima, contaminación del aire, y concentraciones de CO₂ (Massman y Lee, 2002).

El objetivo de la revisión bibliográfica es identificar, de acuerdo a reportes científicos el efecto de las cámaras de gas en la magnitud de los flujos de CO₂ y LE con relación a los mismos flujos en condiciones de cielo abierto.

COMPONENTES DEL BALANCE DE RADIACIÓN

En ecosistemas terrestres, los movimientos de CO₂ y LE pueden ser medidos básicamente por tres métodos: a) Covarianza Eddy, (EC); b) Relación Bowen, (RB); y c) Sistemas de cámaras de intercambio gaseoso, abiertas o cerradas (CIGO o CIGA). Los dos primeros, provistos de sensores IR capaces de medir el calor sensible (H) y gradientes atmosféricos (RB) o flujos verticales turbulentos, ambos, obviamente bajo condiciones de cielo abierto (Cambell, 2007); en tanto que el tercero, que pueden funcionar como cámaras abiertas o cerradas, cuantifica la concentración de CO₂ y LE, por diferencia de la masa atrapada en la cámara, y en este caso es indispensable un estado de presión y viento en calma (LI-COR Biosc, 2007).

Sin embargo, cada uno de estos métodos tienen ventajas y desventajas respecto al registro de las magnitudes que caracterizan el comportamiento de los flujos, debido a que son afectados por la variabilidad de las condiciones del sitio y su entorno en el transcurso del día y la noche, donde se pueden citar los siguientes: humedad, temperatura, presión barométrica, presencia de viento, etc. (Peters *et al.*, 2001; Clark *et al.*, 2001; Massman y Lee, 2002).

De los componentes del balance de energía, CO₂ y LE, son variables de flujo e intercambio de masa y energía

asociadas al funcionamiento de los ecosistemas, fundamentalmente en su parte biológica. Casi todo el CO₂ fijado en la fotosíntesis es eventualmente regresado a la atmósfera en forma de CO₂ por medio de la respiración, aunque el lapso de tiempo entre la fijación de un átomo de carbono y su liberación en la respiración puede variar grandemente dependiendo de su destino y al ser determinado por medio de su localización y partición dentro del organismo fotosintético y la red trófica (Schnyder *et al.*, 2003).

Cuando estos se encuentran en la atmósfera, su importancia se multiplica debido a la capacidad que tienen para atrapar la radiación de onda larga, Rlw-, generando con ello el conocido efecto invernadero (López, 2006). Efecto que se magnifica por la presencia de otros elementos contaminantes en la atmósfera (IPCC, 2001).

Mientras las concentraciones de gas de efecto invernadero con CO₂ continua incrementándose debido a actividades antropogénicas, actualmente no se entienden los grandes efectos sobre la distribución del carbón en el mundo (Clark *et al.*, 2001). Fenómeno, del que también se advierte una redistribución de la humedad y consecuentemente cambios en los flujos de vapor de agua (Peters *et al.*, 2001).

Prototipos empleados en cada método

El instrumental que se presenta en las Figuras 1a, 1b, 1c y 1d, evidentemente tiene diferencias importantes en términos de su diseño y capacidad para detectar el flujo de O₂-CO₂ y LE. Por ejemplo: la cámara portátil para medir la respiración del suelo o los flujos de intercambio de O₂-CO₂ entre el suelo y la atmósfera, además de estar limitada por su tamaño al registro de 60 cm², deja fuera a la parte aérea de la planta, a diferencia de los sistemas 2D y 3D Open Path Analyser, que tienen la capacidad de registrar la respiración del sistema suelo-planta de grandes áreas.

Sin embargo, aunque mucho se han criticado el uso de las cámaras, ya sea abiertas o cerradas, debido a que son afectadas por la temperatura, radiación y las condiciones de no viento dentro de estas, al parecer son sumamente útiles para separar los componentes de la respiración (Balog *et al.*, 2005); pues en los métodos (EC y BR), las mediciones de CO₂ representan la suma de una variedad de procesos donde se incluyen la respiración de la raíz, la oxidación heterotrófica de los organismos de la materia orgánica del suelo y de la parte aérea de la vegetación (James y Mora, 2005).

A manera de ilustración a continuación se presentan solo algunos prototipos del instrumental de diferentes marcas y modelos que se emplean en las mediciones de flujo de LE y CO₂.

Método: Eddy Covariance



Figura 1a: 2D-Open Path Gas Analyzer

Método: Open-close Chamber



Figura 1b: Cámara portátil, modelo: LCA-4



Figura 1c: 3D- Open Path Gas Analyzer

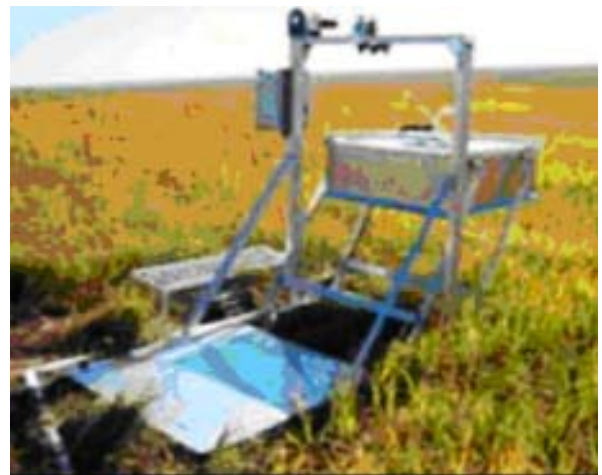


Figura 1d: Cámara automática para medir CO₂

RESULTADOS DE COMPARACIONES CRUZADAS

La complementación entre el uso de los instrumentos (Figura 1), ha sido demostrada en diversos trabajos de investigación, por ello a continuación se presenta algunos resultados sobre comparaciones entre los métodos CE y las CIG.

Balog *et al.* (2005), utilizaron las técnicas CE y CIG para la medición de flujos de CO₂ en diferentes ecosistemas de pastizal con el propósito de comparar los resultados entre los dos métodos. El periodo del estudio cubrió los años 2003 y 2004, cuando las condiciones de sustentabilidad fueron diferentes. Las

mediciones con la CIG se hicieron durante nueve campañas en dos años. Este autor reporta que los patrones de flujo diarios de CO₂ fueron en el mismo rango, pero, dice: "...en algunos casos los flujos de CIG fueron más altos (i.e. siguiendo la notación convencional significa que es más negativo) que CE."

La Figura 2, presenta la relación entre los dos diferentes métodos basado en flujos de CO₂, promedio de media hora. La dispersión es grande, pero mientras la técnica CE obtuvo muestras de áreas de pastizal más grandes de diferentes direcciones, el CIG fue midiendo exactamente la misma parcela a través del estudio.

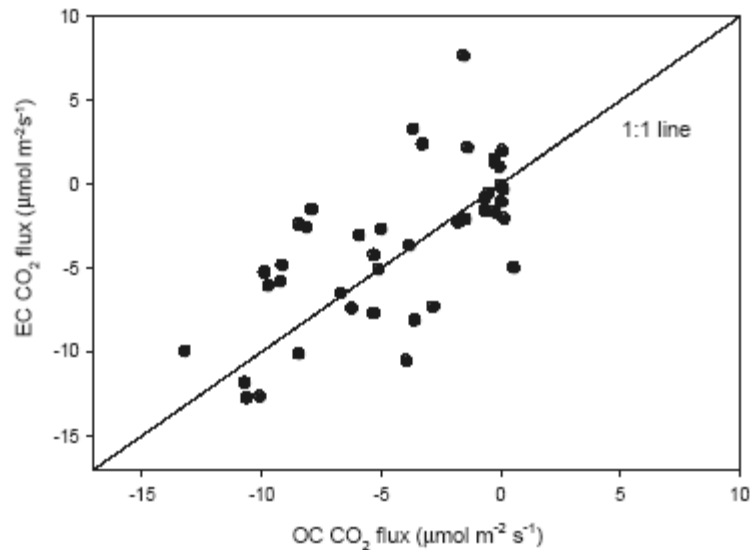


Figura 2. Flujos de CO₂ medidos (promedios de hora y media) por medio de dos técnicas diferentes. La línea muestra una relación 1:1. La captura de CO₂ se muestra con valores negativos.

Balog *et al.* (2005) señala que: "...en comparación con CE el sistema CIG proporcionó una buena herramienta para las mediciones de intercambio de gas en el pastizal."

Benson *et al.* (s.f.), justificó el uso de cámaras automatizada para medir flujo de CO₂ debido a que en el método convencional CE, dice el autor: "...hay pérdida de información cuando las condiciones de viento son estables o cuando la velocidad del viento es muy baja, particularmente por la noche..."

Para ello, hizo una medición comparada de ambos métodos: CE y CIG, cuyos sensores IR se instalaron a 60 m de distancia entre ambos, de lo cual, entre otros concluye lo siguiente:

1. Las mediciones de la respiración con la cámara automatizada presentaron un patrón robusto que fue cercanamente correlacionado con la temperatura del aire. Esto sugiere que una gran parte de la respiración de la pradera ocurre en la superficie y/o a poca profundidad del suelo;
2. La respiración disminuye y los patrones diurnos se vuelven menos pronunciados sobre la vegetación senil;
3. Los métodos CE y CIG podrían coincidir cuando la fotosíntesis = 0, ahora el flujo nocturno obtenido del EC fue consistentemente más bajo

que el medido mediante la CIG. Sin embargo, el CE podría estar desestimando la contribución del flujo nocturno de la respiración neta del ecosistema en el balance total de carbón del ecosistema.

Por otro lado, Drewitt *et al.* (s.f.), compararon el resultado de los dos diferentes métodos de medición (CE y CIG) de intercambio de CO₂ en el piso del un bosque de 50 años de edad (en el año 2000), en el Douglar-Fir que es parte de la Red Ameriflux. Un sistema de seis cámaras automatizadas se puso a funcionar continuamente en el sitio por un periodo de 8 meses, desde el inicio de la primavera hasta finales del verano del año 2000. En Septiembre y Octubre del mismo año, el flujo de CO₂ fue medido mediante el método CE sobre el suelo forestal.

Los resultados indican que los flujos de CO₂ medidos durante los dos meses de comparación fueron variables entre las seis cámaras. El promedio de flujo más bajo de una cámara del periodo fue: 4.6 ± 0.6 (S.D.) mmol m² s⁻², mientras el promedio más alto de otra cámara fue: 10.8 ± 2.0 mmol m² s⁻². El promedio de flujo de los dos meses de las seis cámaras fue de 7.3 ± 1.2 mmol m² s⁻².

Respecto al comparativo entre los dos sistemas de medición (CE y CIG), los resultados obtenidos por Drewitt *et al.* (s.f.) indican coincidencias en diversos trabajos, los cuales se realizaron en diferentes tiempos y lugares.

(Balog *et al.*, 2005; Lavigne *et al.*, 1997; Dugas *et al.*, 19991; Dore *et al.*, 2003)

CONCLUSIONES

Entre CE y CIG, obviamente hay diferencias significativas en cuanto a su diseño, lo cual, les da una capacidad diferente para registrar el comportamiento de los flujos de CO₂ y LE. Sin embargo, al parecer lejos de ser métodos alternativos en la medición de dichos flujos, más bien deben ser considerados como métodos complementarios, si el objetivo es diferenciar el origen de los flujos, especialmente el relativo a la respiración.

El monitoreo y cuantificación de los flujos de masa y energía que se verifican entre la superficie del suelo y la atmósfera contribuye de manera importante en la comprensión del ciclo del carbono en los sistemas agroproductivos y las potencialidades para la captura de CO₂.

LITERATURA CITADA

- Balogh, J.; Foti, S.; Nagy, Z.; Czobel, S.; Pintér, K.; Peli, E. R. y Tuba, Z. 2005. Comparison of carbon dioxide fluxes over sandy grassland vegetation as measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. Prodedings of the 8th Hungarian Congress on Plant Physiology and 6th Hungarian Conference on Photosynthesis. Vol. 49(1-2): 143-145
- Benson, E; Ham, J.; Owensby, C. Auen, L. and Caldwell, F. (s.f.) A New Automated Chamber System for Measuring Ecosystem Respiration: Comparison with Hanheld Chambers and Eddy Covariance Towers. Published by the Dept. of Agronomy Kansas State University, Manhattan, Kansas 66506. *In:* <http://www.aznet.ksu.edu/envphys/Research/researchada.htm> Revisado (01/30/07)
- Cambell, Sci. 2007. Campbell Scientific for data loggers, sensors & automatic weather stations and more. *In:* <http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=184> Revisado (09/08/07)
- Clark, D. A., Brown, S., Kiclighter, W. D.; Chambers, Q. J.; Thomlinson, R. J. y Ni, J. 2001. Measuring Net Primary Production in Forest: Concepts and Field Methods. Ecological Society of America. Ecological Applications, 11(2): 356-370
- Dore, S.; Hymus, G. J.; Jhonson, D. P.; Hinkle, C.R.; Valentns, R.; y Drake, B. G. 2003. Cross Validation of Open-Top chamber and Eddy Covariance Measurements of Ecosystem CO₂ Exchange in Florida Scrub-Oak Ecosystem. Global Change Biology. Vol. 9 (1): 84
- Drewitt, G.; Humphrey, E. R. ; Black, T.A.; Ethier, G.; Nestic, Z.; Morgenstern, K. y Novak, M. (s.f.). Eddy Covariance and Chamber Measurements of Carbon Dioxide Fluxes from the Forest Floor of a Closed-Canopy Douglas-Fir Forest. University of British Columbia, Vancouver, Can. and University of Victoria, Victoria, BC, Canada.
- Dugas, W.A.; Frischen, L. J.; Gay, L. W.; Held, A.A. y Matthias, A. D. 1991. Bowen Ratio, Eddy Correlation and Portable Chamber Measurements of Sensible and latent Heat Flux Over irrigated Spring Wheat. Agricultural and Forest Meteorology AFMEEB, Vol. 56 (1/2): 1-20
- IPCC, 2001. Climate Change, 2001, the scientific basis. *In:* http://www.grida.no /climate/ipcc_tar/wg1/ Revisado (06/12/06)
- James, W. y Mora, G. 2005. Estimating Root Plus Rhizosphere Contributions to Soil Respiration in Annual Croplands. Published in Soil Sci. Am. J. 69:634-639
- Lavigne, M. B.; Ryan, M. G.; Anderson, D. E.; Baldocchi, D. D.; Crill, P. M.; Fitzjarrald, D. R.; Goulden, M. L.; Gower, S. T.; Massheder, J. M.; McCaughey, J. H.; Rayment, M. y Striegl, R. G. 1997. Comparing nocturnal eddy covariance measurements to estimates of ecosystem respiration made by scaling chamber measurements at six coniferous boreal sites. American Geophysical Union. Journal of Geophysical Research, Vol. 102 (D24): 28977-28986
- LICOR-Biosciences, 2007. Soil CO₂ Flux Measurements: Using the LI-8100 System to Collect Air Samples for Estimating Soil Trace Gas Flux. *In:* <http://www.licor.com/env/Products/li8100/documents/AirSampling.pdf> Revisado (09/08/07)
- López S., A. 2006. Relación entre el Cambio Climático y la Erosión del Suelo. Ensayo. UACH. (Inédito)
- Massman W. J. y Lee, X. 2002. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. Agriculture and Forest Meteorology 113: 121-144
- Peters, G.; Fischer, B. y Munser, H. 2001. Eddy Covariance Measurements with Closed-Path Optical Humidity Sensors: A feasible Concepts? Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, American Meteorological Society. 18: 503-514
- PNUMA-SEMARNAT, 2004. El Cambio Climático en América Latina y El Caribe (Versión Preliminar). <http://www.pnuma.org/CambioClimatico/CAMBIO%20CLIMATICO-web.pdf> Revisado (05/07/07)
- Sauer T. J. y P. J. Pinter. 2007. Introduction to the Symposium in Radiation and Energy Balance Measurements Systems. Agron. J. 99: 238-239
- Schnyder, H.; Schaefe, M.; Lostcher, M.; y Gebbing, T. 2003. Disentangling CO₂ fluxes: direct measurements of mesocosm-scale natural abundance ¹³CO₂/¹²CO₂ gas exchange, ¹³C discrimination, and labeling of CO₂ exchange flux components in controlled environments. Published in Plant, Cell and Environment 26: 1863-1874
- UACH-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA, 2004. Escenarios Climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático. Universidad Autónoma Chapingo, CONAZA, Dirección de Vinculación y Transferencia de Tecnología, SEDESOL y SAGARPA.