Ceniavances
Nº 184 Agosto de 2016
cenipalma 1990-2015 25 años
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma ISSN 0123-8353

Establecimiento del sistema Eddy Covariance en el cultivo de palma de aceite para cuantificar el rendimiento como sumidero de CO_2

Cristihian Bayona[1], Hernán Mauricio Romero.[2]

[1]Investigador Asociado, Cenipalma
[2]Coordinador Programa Biología y Mejoramiento de la Palma, Cenipalma

Notas del Director

Colombia y el mundo están enfrentando el cambio climático cuyos efectos potenciales sobre la agricultura y la palmicultura, en particular, dependerán no solo del clima sino también de su capacidad de adaptarse a los cambios.

El cultivo de la palma de aceite podría convertirse en un aliado del hombre tanto en la adaptación al cambio climático como en su mitigación, al representar el sumidero de carbón.

Para demostrar esta función se debe medir el flujo de dióxido de carbono en los ecosistemas, medición, que entre otras herramientas, puede utilizar el sistema de Eddy Covariance. El sistema ha sido usado para diferentes cultivos agrícolas y forestales; Cenipalma empezó a utilizarlo para la palma de aceite en el marco del Convenio de Cooperación 246/12 celebrado con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Al contar con pocos informes y estudios internacionales sobre esta técnica y su utilización en la palma de aceite, el proceso de instalación y operación del sistema representó un reto por sí mismo, reto que fue superado y cuyos resultados se presentan en este Ceniavances.

Los datos, que se siguen recopilando, servirán para demostrar la capacidad del agroecosistema de la palma de aceite como sumidero de carbono, dato de importancia para la sostenibilidad y competitividad de esta agroindustria.

José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.
Director General de Cenipalma

Introducción

Durante las últimas décadas se ha incrementado tanto la quema de combustible fósil como el cambio de uso del suelo a nivel mundial. Esto ha permitido que aumente la concentración de CO_2 atmosférico además de otros gases efecto invernadero (GEI) (Posse *et al.* 2014). Ante esta situación, y atendiendo la convención de las Naciones Unidas sobre cambio climático de Río de Janeiro en 1992, se estableció que el cambio climático es una de las principales amenazas para el medio ambiente. Adicionalmente en 1997 surgió el protocolo de Kyoto que insta a la humanidad a establecer mecanismos que favorezcan la reducción de las emisiones de CO_2 a la atmósfera (Lamade and Bouillet 2005), por lo que se plantea la necesidad de cuantificar las posibles fuentes y sumideros de estos gases además de promover la conservación de los principales sumideros de CO_2 de los diferentes países (Lau *et al.* 2012).

Para determinar cuáles son los sumideros de carbono es necesario medir el flujo de CO_2 sobre los ecosistemas. En los sistemas agrícolas, forestales o de bosque se busca determinar la cantidad del dióxido de carbono que es asimilado por la vegetación involucrada. La información del flujo de CO_2 está directamente relacionada con mediciones del flujo de vapor de agua y variaciones microclimáticas, lo que permite entender la interacción entre el suelo, la biósfera y la atmósfera (Foken *et al.*, 2012). Existen diferentes métodos para cuantificar el flujo de dióxido de carbono y de vapor de agua en los ecosistemas. Desde modelos basados en datos alométricos, muestreos destructivos o como el planteado para este trabajo que se denomina la técnica de Eddy Covariance (Burba y Anderson, 2010).

El sistema de Eddy Covariance (EC) se basa en dos elementos fundamentales, el primero es el viento con sus componentes de dirección y velocidad, y el segundo, las concentraciones de los gases que se mueven en él. El viento está compuesto de remolinos (*eddy* en inglés) que llevan una concentración de gases, para efecto del estudio se refiere a CO_2, y vapor de agua. Conociendo la dirección, la velocidad y la concentración de los gases en los remolinos, se puede determinar el flujo de los gases estudiados (Burba y Anderson, 2005). Para determinar el área de influencia (captura de información) del sistema EC, se emplean dos términos: *footprint*, que es usado para definir la distancia efectiva a la cual los equipos están tomando lecturas y es dependiente de la velocidad del viento. Por lo tanto, esta distancia es variable y puede ir desde unos metros después de la torre hasta el *fetch*, término que se usa para denotar la máxima distancia en línea recta (paralela al suelo) a la cual los equipos pueden registrar información, este parámetro es determinado por la altura de instalación de los equipos, en una relación de 1-100, es decir, por un metro de altura 100 metros horizontales. Detrás de esta simplificación de la técnica se tiene un andamiaje de modelos matemáticos del orden físico y meteorológico, que permiten desarrollar los cálculos para estimar de manera precisa el flujo de CO_2 y de vapor de agua.

Las mediciones de los parámetros mencionados se realizan con equipos robustos y sofisticados, que deben ser instalados en una estructura (andamio, torre o antena) que sobrepase la altura del ecosistema objeto de estudio. Es necesario, como mínimo, contar con un anemómetro sónico y un analizador de gases. Adicionalmente, es importante recolectar datos micrometeorológicos como: radiación, flujo latente, temperatura ambiente, humedad ambiente, humedad del suelo y temperatura del suelo, entre otros. De esta manera el sistema Eddy Covariance se va robusteciendo, y por supuesto, generando información más precisa. En este orden de ideas, los sistemas se configuran de acuerdo con las necesidades de la investigación y al recurso económico con el que se cuenta. En el mercado actualmente se encuentran dos compañías de reconocimiento mundial, Campbell Scientific Inc. y Li-Cor Inc. que proveen los componentes para realizar distintas configuraciones del sistema. Sin embargo, Li-Cor Inc., lleva la delantera en el manejo e interpretación de la información y con su grupo de investigadores desarrolló el *software* Eddypro, el cual es recomendado por Campbell para el análisis de la información.

Durante los últimos años se ha avanzado en el uso y comprensión de la información capturada con la técnica de Eddy Covariance, siendo cada vez más fácil el uso de la herramienta. Por ejemplo, hay reportes de flujo de CO_2 en bosques de pino (Peichl *et al*. 2010; Shibistova *et al*. 2002), en maíz y soya (Posse *et al*. 2014), en bosques de acacias y eucaliptos (Chen *et al*. 2011). Igualmente, se ha usado la técnica para validar datos de evapotranspiración (Zhou *et al*. 2014). También, se ha aplicado para la comprensión de la respiración del suelo asociadas a plantaciones de especies forestales (Yan *et al*. 2011). Inclusive para determinar si existen mejoras en el suelo cuando hay secuestro de carbono (Belfon *et al*. 2014). Para el caso específico de la palma de aceite, los reportes son pocos (Henson and Mohd Haniff 2005; Misztal *et al*. 2011; Page *et al*. 2011) y, por ende, es importante investigar la relación de los flujos de CO_2 y el consumo de agua de la palma de aceite en condiciones de Colombia.

Metodología

Lugar de trabajo

El sistema EC fue instalado en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína (CEPV), Vereda Peroles, Departamento de Santander. En el sitio de ubicación de la torre se tiene sembrado material de *Elaeis guineensis* de 5 años, edad reportada para estudios de modelos de crecimiento en palma de aceite (Van Kraalingen, Breure, & Spitters, 1989; Henson, 1991; Henson, 2005).

Rosa de los vientos

La rosa de los vientos es una herramienta que permite ver gráficamente las distribuciones de frecuencia de la fuerza (velocidad) y dirección del viento, con el fin de conocer la predominancia de este. Para generar la rosa de los vientos (Figura 1) se recolectó información histórica de la estación meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) instalada en el CEPV, la cual está registrada como VIZCAÍNA LA LIZAMA [0024055080]. Se determinó una predominancia de los vientos en la dirección ENE – OSO. A pesar de esta tendencia, es evidente un cambio en la dirección dada por la época del año. Adicionalmente se tienen bajas velocidades, lo que puede llegar a tener una influencia directa con el *footprint*, sin embargo, son las condiciones promedio de la zona.

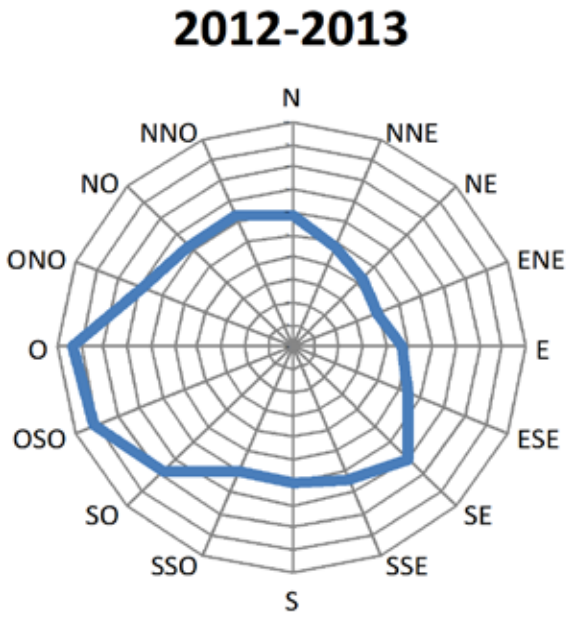

Figura 1. Rosa de los vientos promedio de la estación del IDEAM.

Instalación de la torre y montaje del sistema de Eddy Covariance.

La altura de instalación de los equipos está en función de la altura del dosel, entendiéndose como la capa superior de hojas de la palma. De acuerdo a la recomendación técnica, para determinar la altura de instalación de los sensores de intercambio de gases y el anemómetro sónico, se debe utilizar la siguiente fórmula: APD x 1.5 (APD: altura promedio del dosel). En este caso (palma de aceite de 5 años de edad) el dosel mide 4,5 metros de altura y por ende, los equipos deben instalarse a 7 metros del suelo. Esto implica armar una torre (andamio o antena) con una elevación igual o mayor a este valor. Adicionalmente, la estructura debe ubicarse en la posición contraria a la dirección predominante de los vientos, es aquí donde la rosa de los vientos desempeña un papel importante ya que permite determinar la localización de la torre y de los equipos.

Durante la semana del 13 al 18 de julio de 2014 se instaló la torre tipo andamio (base cuadrada de 2 x 2 m), se utilizó este tipo ya que ofrece mayor seguridad para el trabajo en alturas y permite un mejor acceso y distribución del sistema. Para emplazar el andamio se fundió una placa de hormigón armado de 3 x 3 m (Figura 2) y se hicieron cuatro bases para los templetes de sujeción de la estructura, los cuales fueron instalados a 45° de cada uno de los vértices a una altura de 6 metros. Una vez fundida la placa, se procedió al armado de la estructura (Figura 3)

Figura 2. Hormigón armado y estructuras para templetes de soporte.

Figura 3. Armado de la estructura, para esto se usaron tres niveles completos de 2 m de altura y un cuarto nivel de 1 m, para una altura efectiva de 7 m a partir de la base. Cada sección cuenta con piso y barandas de seguridad.

Los componentes instalados en la torre son:

- Analizador de gases: 7200 CO_2/H_2O (cerrado) con su sistema de flujo
- Interfaz: Unidad de integración LI7550
- Anemómetro: Sónico Gill Windmaster Pro
- Paneles solares (3)
- Sensores Biomet:
  - Radiómetro CNR4 (1)
  - Placas de flujo de calor (3)
  - Sensores temperatura del suelo (3)
  - Sensores de humedad del suelo (3)
  - Sensor para precipitación (1)
  - Sensor para humedad relativa (1)
  - Sensor para temperatura (1)
  - Sensor PAR (1)
  - Datalogger (1)

Los paneles fueron instalados en la parte superior de la torre donde se tiene la mayor exposición a la radiación solar, igualmente en ese módulo del andamio se colocaron el anemómetro sónico y la cabeza del analizador de gases (Figura 4).

Figura 4. Se muestra uno de los paneles solares, el anemómetro sónico y la cabeza del analizador de gases.

En la sección inferior se instaló la interfaz LI7550 con el sistema de smartflux para geoposicionamiento, también se encuentra el módulo de flujo del analizador de gases (Figura 5).

Figura 5. En la foto superior está la interface de integración LI7550 con sistema smartflux, en la inferior, el módulo de flujo del analizador de gases.

En la tercera sección también se encuentra instalado el radiómetro CNR 4 junto con el sensor de radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Figura 6).

En la segunda sección se instalaron cajas de paso de cables, toda vez que si la torre va aumentando su altura con el tiempo, haya suficiente cable para subir los sensores, adicionalmente en la base de esta sección se instaló el sensor de humedad y temperatura ambiente (Figura 7).

En el primer nivel se instaló el datalogger de la estación microclimática, igualmente están las baterías que soportan el sistema eléctrico de la torre (Figura 8).

Las placas de flujo de calor, los sensores de humedad del suelo, los termómetros de suelo y el sensor de precipitación se instalaron al frente de la torre, bajo las especificaciones del proveedor: las placas a 8 cm de profundidad, dos centímetros arriba de estas se incorporaron los termómetros de suelo y, clavados superficialmente, los sensores de humedad del suelo (Figura 9).

Figura 6. Radiómetro CNR 4 instalado en la tercera sección del andamio. La posición del radiómetro está dirigida al dosel con lo que se pretende establecer el balance de energía de la palma de aceite.

Figura 7. En la fotografía superior, instalación de cajas de paso de cables; en la inferior, sensores de humedad y temperatura ambiente.

Figura 8. A la izquierda, Datalogger Sutrom de la estación microclimática; en el centro, batería Campbell para manejo de sistema del analizador de gases; derecha, sistema en paralelo de baterías que suministran energía al resto de los sensores.

Figura 9. A la izquierda se muestra en detalle la disposición de los sensores de humedad del suelo, temperatura del suelo y placas de flujo de calor; a la derecha se observa la distribución de los tres sitios donde se instalaron los sensores además de la posición del pluviómetro.

Adicionalmente se realizó un cerramiento en malla galvanizada para salvaguardar los equipos, este encerramiento cubre un perímetro de la torre con un área efectiva de 45 m^2 y con una altura de 2 m.

Captura y análisis de la información

El sistema está diseñado para colectar información en un rango de 10 a 20Hz, esto quiere decir que captura de 10 a 20 datos por segundo por cada uno de los componentes asociados (anemómetro sónico y analizador de gases). La información capturada es guardada en una memoria USB que se encuentra dentro de la consola LI-7550, generando un archivo nativo del sistema (.GHG) cada 30 minutos, con un contenido aproximado de 18.000 datos por cada una de las variables. Adicionalmente el sistema está asociado a una estación meteorológica la cual captura datos a razón de 1Hz (1 dato por segundo de cada variable), esta información también es guardada junto con los datos del analizador de gases y del anemómetro sónico.

Para el análisis de la información se cuenta con el programa EddyPro 5.1, el cual fue diseñado por LiCor, Inc., una aplicación de *software* de código abierto desarrollada, mantenida y respaldada por LI-COR Biosciences. Tiene su origen en ECO2S, el proyecto Eddy Covariance Community Software (*Software* de la Comunidad de Eddy Covariance), que se desarrolló como parte del proyecto de investigación Infraestructura para la Medición del Ciclo de Carbono Europeo (Infrastructure for Measurement of the European Carbon Cycle, IMECC-EU). La herramienta informática posee un conjunto completo de opciones de procesamiento, incluyendo la corrección a la frecuencia de respuestas, estimación de huella, estimación de errores aleatorios e indicaciones de calidad, además que EddyPro proporciona todo el rango de salidas y opciones de procesamiento para realizar un análisis de datos avanzado.

Proyecciones

El método de Eddy Covariance permite medir, de manera continua y no destructiva, el flujo de carbono a diferentes escalas de tiempo, lo que conlleva a cuantificar el Balance Neto de Carbono del Ecosistema (NEE por sus siglas en inglés). Teniendo en cuenta esto se espera estudiar a fondo el comportamiento del flujo de CO_2 en el sistema palma de aceite, para determinar las épocas de mayor crecimiento de las plantas, el efecto de los periodos secos y húmedos, como eventos independientes, y establecer la capacidad que tiene el agrosistema palma de aceite como sumidero de carbono. Esta información es de suma importancia como insumo para determinar la huella de carbono de la agroindustria de palma de aceite. Finalmente, se pretende entender el flujo de agua en el continuo suelo planta atmósfera a nivel ecosistémico para establecer directrices del uso eficiente del agua para el cultivo.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y al Centro Internacional de Agricultura Tropical por el apoyo financiero del proyecto a través del convenio 246. Al Ing. Arley Valencia de Cenicafé y al Inv. Fausto Moreno de la UNAL. La investigación de Cenipalma es financiada por el Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma.

Bibliografía

Belfon R, Bekele I, Eudoxie G, Voroney P, Gouveia G. 2014. Sequestering carbon and improving soil fertility; Validation of an improved method for estimating CO_2 flux. Geoderma 235-236:323–328; doi:10.1016/j.geoderma.2014.07.027.

Burba G, Anderson D. 2010. Eddy Covariance Flux Measurements. Ecol. Appl. 18: 211.

Chen D, Zhang C, Wu J, Zhou L, Lin Y, Fu S. 2011. Agricultural and Forest Meteorology Subtropical plantations are large carbon sinks : Evidence from two monoculture plantations in South China. Agric. For. Meteorol. 151:1214–1225; doi:10.1016/j.agrformet.2011.04.011.

Henson IE, Mohd Haniff H. 2005. The influence of climatic conditions on gas and energy exchanges above a young oil palm stand in north Kedah, Malaysia. J. Oil Palm Res. 17: 73 – 91.

Lamade E, Bouillet J. 2005. Carbon storage and global change: the role of oil palm. Oléagineux, Corps Gras, Lipides 12: 154–160.

Lau LC, Lee KT, Mohamed AR. 2012. Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord—A

comment. Renew. Sustain. Energy Rev. 16:5280–5284; doi:10.1016/j.rser.2012.04.006.

Misztal PK, Nemitz E, Langford B, Marco CF Di, Phillips GJ, Hewitt CN, *et al.* 2011. Direct ecosystem fluxes of volatile organic compounds from oil palms in South-East Asia. Atmos. Chem. Phys. 11:8995–9017; doi:10.5194/acp-11-8995-2011.

Page S., Morrison R, Malins C, Hooijer A, Rieley J., Jauhiainen J. 2011. Review of peat surface greenhouse gas emissions from oil palm plantations in southeast Asia.

Peichl M, Brodeur JJ, Khomik M, Arain MA. 2010. Biometric and eddy-covariance based estimates of carbon fluxes in an age-sequence of temperate pine forests. Agric. For. Meteorol. 150:952–965; doi:10.1016/j.agrformet.2010.03.002.

Posse G, Richter K, Lewczuk N, Cristiano P, Gattinoni N, Rebella C, et al. 2014. Attribution of Carbon Dioxide Fluxes to Crop Types in a Heterogeneous Agricultural Landscape of Argentina. Environ. Model. Assess. 19:361–372; doi:10.1007/s10666-013-9395-x.

Shibistova OB, Lloyd J, Kolle O, Arneth a, Tchebakova NM, Zolotukhin D a, *et al.* 2002. Eddy covariance assessment of CO_2 accumulation by mature pine forest. Dokl. Biol. Sci. 383: 133–7.

Yan M, Zhang X, Zhou G, Gong J, You X. 2011. Temporal and spatial variation in soil respiration of poplar plantations at different developmental stages in Xinjiang , China. J. Arid Environ. 75:51–57; doi:10.1016/j.jaridenv.2010.09.005.

Zhou X, Bi S, Yang Y, Tian F, Ren D. 2014. Comparison of ET estimations by the three-temperature model, SEBAL model and eddy covariance observations. J. Hydrol. 519:769–776; doi:10.1016/j.jhydrol.2014.08.004.

Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

Director general: José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.
Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
Coordinación editorial: Yolanda Moreno Muñoz - Esteban Mantilla
Diagramación: Jenny Angélica Ramírez Jácome
Impresión: Javegraf

Esta publicación contó con el apoyo de Fedepalma y el Fondo de Fomento Palmero