

EL CICLO DEL CARBONO: Midiendo el flujo del CO₂ del suelo

Medir la respiración del suelo familiariza a los estudiantes con un importante componente del ciclo del carbono y hace más tangibles los invisibles mecanismos de la biología del suelo y el cambio climático.

Por Robert Lessard, L. Dennis Gignac
y Philippe Rochette

Traducción de Manuel Antonio Fernández Domínguez

Áreas temáticas: biología, química, ciencia, matemáticas

Conceptos clave: ciclo del carbono, efecto invernadero, respiración del suelo, materia orgánica del suelo, valoración ácido-base.

Destrezas: uso del método científico, observación, realización de medidas científicas, análisis y síntesis de datos, destrezas de presentación.

Lugar: exteriores y a cubierto

Temporalización: 1 día para la preparación y el montaje, de 4 a 24 horas para la incubación y la recogida de muestras, 1-2 horas de trabajo de laboratorio para la valoración y los cálculos.

Materiales: cámaras de aire, pequeños envases de yogurt, frascos con tapón, equipo de valoración y sustancias químicas (ver la sección de "Materiales" más adelante)

Enseñar los conceptos relacionados con los problemas ambientales no siempre es fácil, ya que muchos de sus componentes básicos pueden ser abstractos, complejos o invisibles. Tal es el caso del cambio climático y el calentamiento global. Los gases de efecto invernadero son virtualmente indetectables sin el uso de un sofisticado equipo de análisis de gases, lo que resulta prohibitivo para la mayoría de las escuelas primarias y secundarias. Por tanto, es difícil para los estudiantes evidenciar las grandes cantidades de gases emitidas a la atmósfera. Se les explica que las concentraciones de gases de efecto invernadero están aumentando y que estos cambios tienen una importancia global, ya que tendrán como



resultado el cambio climático. Sin embargo, para muchos estudiantes, la atmósfera terrestre queda reducida a una misteriosa caja negra. Una forma de desmitificar este concepto es hacer que los estudiantes midan el flujo, o tasa de emisión, de dióxido de carbono (CO₂) del suelo a la atmósfera.

La actividad que describimos aquí se diseña para estudiantes de escuela secundaria y pretende familiarizarlos con un aspecto del ciclo global del carbono: la producción de CO₂ por la respiración del suelo. También se puede usar para demostrar como el suelo puede llegar a ser un sumidero de carbono, reduciendo así su concentración en la atmósfera y aliviando la tendencia hacia el calentamiento global. Además, supone un método práctico y barato de medir los flujos de CO₂ en los suelos.

Introducción al tema

La respiración del suelo se define como la producción de CO₂ debido a dos procesos: la ruptura, u oxidación, de la materia orgánica rica en carbono por medio de los microorganismos del suelo, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. La tasa de producción de

CO₂ es científicamente importante porque nos da una indicación de la tasa de descomposición de la materia orgánica y por tanto de la cantidad que se pierde de carbono del suelo. Las medidas de la respiración del suelo ayudan a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera.

El carbono, un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, se obtiene de la atmósfera por medio de la fotosíntesis. Sin embargo, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son descompuestos por los organismos vivos. La materia orgánica del suelo es por tanto la suma de los residuos orgánicos (animales y plantas) en diferentes grados de descomposición. La materia orgánica mejora la calidad del suelo, ayuda a prevenir la escorrentía, incrementa su humedad y contribuye a moderar las fluctuaciones diarias de temperatura en las capas superiores del suelo. La materia orgánica del suelo también funciona como un enorme almacén de carbono: se estima que los organismos vivos suponen aproximadamente un cuarto de todo el carbono de los ecosistemas terrestres, mientras que los otros tres cuartos están almacenados en la materia orgánica contenida en los suelos.

El carbono del suelo no se acumula para siempre. Se libera del suelo cuando la materia orgánica es descompuesta por varios tipos de organismos aerobios que usan el carbono para su propio crecimiento. Este proceso libera nutrientes que pueden ser captados por las plantas, pero también produce CO₂. La tasa de actividad microbiana

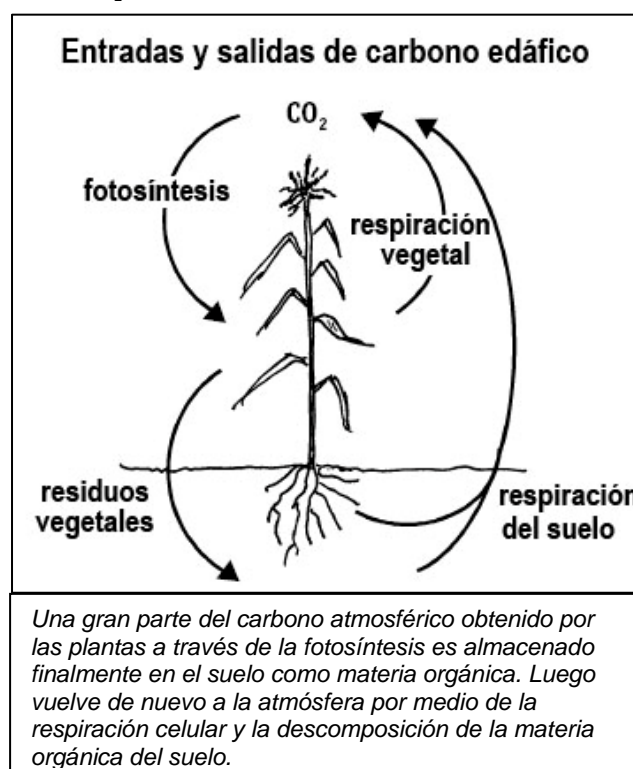
y, por consiguiente, de respiración del suelo, es afectada por la temperatura y la humedad del suelo, así como por la cantidad y calidad de su materia orgánica. Como todos los organismos aeróbicos desprenden CO₂ como resultado de la ruptura de las moléculas orgánicas, y como puede haber millones de estos organismos en un volumen tan pequeño como una cucharada de suelo, la respiración del suelo es una importante fuente de CO₂ atmosférico,

contribuyendo anualmente con 100 billones de toneladas métricas al ciclo global del carbono.

El aumento en los niveles de CO₂ atmosférico desde el inicio de la Revolución Industrial es debido a la combustión de los combustibles fósiles y a los cambios en los usos del territorio. Las prácticas agrícolas, usualmente desestimadas como fuente de gases de efecto invernadero, son responsables aproximadamente del diez por cien de los gases de efecto invernadero emitidos por la actividad humana en la mayor parte de los países desarrollados. La cantidad de carbono que es retenido en el suelo o perdido a la atmósfera depende mayormente del método de cultivo usado.

Cuando se ara la tierra, los residuos orgánicos frescos son intensamente mezclados en la capa superior del suelo. Bajo estas condiciones, la actividad microbiana se acrecienta, lo que trae como consecuencia que la mayor parte del carbono orgánico del suelo se convierte en CO₂ atmosférico. También hay una pérdida neta de carbono cuando los campos se dejan a barbecho. Esto es debido en parte al aumento de la temperatura y la humedad del suelo, que aceleran la descomposición, y también al hecho de que no se añade carbono al suelo el año en el que no hay cultivo.

Las prácticas correctas de manejo de la tierra ayudan a conservar la materia orgánica del suelo, revertiendo así la tendencia de los suelos a liberar su carbono a la atmósfera. Una de estas prácticas es la agricultura sin labranza, que consiste en sembrar un cultivo sobre los residuos de la cosecha del año anterior.



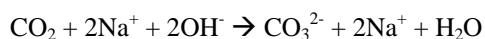
Diferentes estudios muestran que el establecimiento de una cubierta vegetal permanente también contribuye a mantener el carbono en el suelo. Por consiguiente, además de reducir nuestro consumo de combustibles fósiles, la práctica de un buen manejo de la tierra es otro método de reducción de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, por medio del almacenamiento de dióxido de carbono en el suelo como

materia orgánica.

Como la respiración del suelo juega un importante papel en el ciclo del carbono, su medición es un valioso y eficaz método educativo sobre los mecanismos que producen el calentamiento global. Sin embargo, es fundamental encontrar un método efectivo y barato para medir el CO₂ que se produce en la respiración del suelo. El método propuesto aquí se basa en la capacidad de algunos compuestos alcalinos, como el hidróxido sódico (NaOH), en reaccionar con el CO₂ del aire.

Diseño experimental

En este experimento se colocan recipientes de plástico boca abajo sobre varios lugares de muestreo para actuar como cámaras de aire para recoger el CO₂ del suelo. Se coloca un recipiente más pequeño de NaOH dentro de cada cámara de aire para atrapar el CO₂. Este sistema usa las propiedades de ácido débil del CO₂ en una reacción de neutralización ácido-base que produce carbonato:



Mientras haya un exceso de iones OH⁻ (como resultado de la disociación del NaOH), el equilibrio se desplazará hacia la derecha, produciéndose carbonato. Después de un período de incubación, se recoge el NaOH y el carbonato se precipita usando cloruro de bario (BaCl₂). La cantidad de CO₂ absorbida por la solución alcalina se puede medir con una simple valoración.¹

Materiales

- cámaras de aire, una por muestra: funcionarán bien unos cubos de plástico de 5 litros, con aproximadamente 18 cm de diámetro y 18,5 cm de altura.
- recipientes para el NaOH, uno por muestra: pequeños recipientes plásticos de yogurt, aproximadamente de 9 cm de diámetro y una altura de 4 cm aproximadamente. Se puede usar cualquier pequeño recipiente de plástico; sin embargo, para maximizar la absorción del CO₂, la boca del recipiente del NaOH debe ser mayor que el 26% de la abertura de la cámara de aire.
- un frasco con tapón para cada muestra.
- uno o dos tableros planos de 30 por 30 cm, o más grandes.
- cinta aislante
- matraces Erlenmeyer de 250 ml
- probetas de 10 y 25 ml
- pipetas de 5 ml
- vasos de precipitados de 400 ml
- buretas de 50 ml montadas en soportes con retorta
- 1 litro de NaOH 0.25 M

- 500 ml de BaCl₂ 3 N (1.5 M)
- 2 litros de HCl 0.1 M
- indicador de fenolftaleína.

Precauciones de seguridad

Las disoluciones usadas en esta actividad son muy corrosivas. Los lugares para la recogida de las muestras deben estar vallados y tener señales de advertencia. Siempre que se manipulen las sustancias químicas deben llevarse los guantes, protección ocular y batas. Al final del experimento, hay que asegurarse de que todas las disoluciones sean adecuadamente depositadas en los contenedores de residuos químicos.

Preparando las disoluciones

NaOH: Para preparar la disolución 0.25 M de NaOH, añádanse 10 gramos de lentejas de NaOH a 500 ml de agua destilada. Remover y luego completar el volumen hasta 1 litro añadiendo más agua destilada. Tapónese firmemente para proteger a la disolución de la exposición al aire.

HCl: Para preparar la disolución 0.1 M de HCl, añádanse 16 ml de ácido concentrado a 1 litro de agua destilada, agítese la disolución y luego vuélvase a añadir 1 litro de agua destilada para completar un volumen total de 2 litros. Es una buena idea estandarizar el ácido diluido usando una disolución de NaOH 0.5 M estándar. Las concentraciones de HCl y NaOH pueden ajustarse anticipadamente en función de las emisiones de CO₂ del suelo. Se usarán concentraciones más bajas de las disoluciones del ácido y la base, si se esperan emisiones bajas de CO₂. Para asegurar los mejores resultados, la concentración de HCl debe mantenerse entre la mitad y un cuarto de la concentración del NaOH.

BaCl₂: Se usa en este experimento para precipitar el carbonato, en forma de BaCO₃ insoluble. Para preparar la disolución 1.5 M, añádanse 156.2 gramos de BaCl₂ a 400 ml de agua destilada y agítese. Luego complétese hasta un volumen de 500 ml. Si el producto que usamos es BaCl₂·H₂O, se necesitan 183.2 gramos para producir la disolución 1.5 M.

Indicador de fenolftaleína: La disolución de fenolftaleína sirve como un indicador colorimétrico de pH. Prepárese una disolución al 1%, añadiendo 1 gramo de fenolftaleína a 100 ml de alcohol etílico al 95%. Se necesitarán sólo dos gotas de esta disolución para cada valoración.

Selección de los lugares de muestreo

Como en los lugares donde se tomarán las muestras habrá recipientes abiertos de NaOH, estos deberán situarse en un área con acceso restringido.

Seleccionense espacios de aproximadamente 50 por 50 cm en un área con poca o ninguna vegetación.

Cualquier suelo puede ser usado para este experimento, siempre que su superficie sea suficientemente llana.

Para obtener los mejores resultados, pruébese con diferentes lugares que presenten diferentes tipos de suelo.

Una importante variable que distingue unos tipos de suelo de otros es su contenido en materia orgánica.

Generalmente, si la temperatura del suelo es suficientemente alta (más de 10°C) y hay suficiente humedad, los suelos que contienen más materia orgánica tendrán la mayor tasa de respiración. Después de seleccionar los lugares más adecuados para el muestreo, quítese toda la vegetación al menos con 24 horas de antelación para eliminar el CO₂ que puede producirse como resultado de la alteración del suelo.

Opción: Si la búsqueda del lugar adecuado de muestreo nos resulta un reto difícil, podemos arreglarnos con

un experimento en el patio escolar o el laboratorio. Pueden usarse canteros con suelo preparado con diferentes concentraciones de materia orgánica para simular suelos con diferentes niveles de contenido en carbono.

Montando las cámaras de recogida

Póngase a trabajar a los estudiantes en grupos de dos, cada pareja será la responsable de la medida de la respiración del suelo en uno de los lugares de muestreo. Asígnese a uno o dos pares de estudiantes el control de los lugares. Los controles son necesarios con el fin de obtener una medida del CO₂ ambiental en la atmósfera. Este valor se restará de la cantidad de CO₂ medido en las muestras del suelo, con el fin de determinar cuanto del CO₂ atrapado se debe a la respiración del suelo. Móntese cada lugar de muestreo de la forma siguiente:

1. Medir y anotar el diámetro de la



Figura 1: Un recipiente de plástico cortado a una altura de aproximadamente 4 cm sirve como captador de NaOH. Se suspende encima del suelo sobre un trípode hecho con tres palillos pegados al recipiente.



Figura 2: Se transporta el NaOH al lugar de estudio en un frasco de cristal y luego se vierte dentro del captador.



Figura 3: La cámara de aire es un cubo plástico de 5 litros que se coloca sobre el captador y se introduce dentro del suelo a una profundidad de 2 cm. Derecha: El suelo que rodea esta cámara se presiona a lo largo de los bordes del cubo para que quede bien sellado.

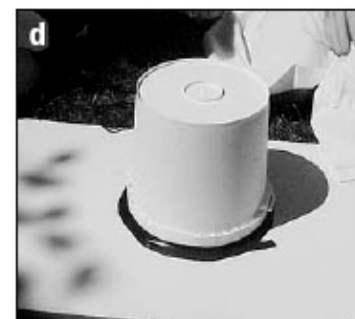


Figura 4: Instalación del control. a) El captador de NaOH se coloca directamente sobre un tablero plano. b) Se vierten en él 25 ml de NaOH. c) La cámara de aire se coloca sobre el captador. d) Se sella esta cámara al tablero usando cinta aislante negra.



Figura 5: Al final del experimento, se separa la cámara de aire suavemente y se vierte el NaOH en un frasco de cristal para transportarlo al laboratorio.

abertura de la cámara de aire para calcular la superficie que cubrirá cuando se coloque cara abajo sobre el captador de NaOH.

2. Poner el captador de NaOH aproximadamente 4 cm

encima del suelo, pegando tres pequeños palillos, a modo de trípode, a los lados del recipiente (ver Figura 1).

3. Colocar 25 ml de la disolución de NaOH en el fondo de su recipiente (ver Figura 2). El suelo no debe ser alterado en esta fase. Además, los estudiantes no deben respirar directamente sobre la superficie del líquido pues se contaminaría con CO₂. Debido a la naturaleza corrosiva del NaOH, los 25 ml de disolución para cada recipiente captador deben ser transportados hasta los lugares de estudio en un

frasco taponado.

4. Rápidamente situar la cámara de aire sobre el captador e introducir sus bordes aproximadamente 2 cm en el suelo (ver Figura 3). Algo del suelo circundante puede ser comprimido suavemente a lo largo del borde del recipiente para asegurar un completo sellado e impedir el escape de CO₂ a la atmósfera.

5. Dejar la cámara sin tocar durante 24 horas, dependiendo del contenido orgánico del suelo. Los suelos que contienen una elevada proporción de materia orgánica usualmente necesitan menos tiempo que los que no. El tiempo debe ser registrado cuidadosamente para calcular los flujos.

Controles: Instalar cámaras de control de la misma manera que las otras, salvo las siguientes excepciones. Tender un tablero plano sobre la superficie del suelo, para que actúe como una barrera entre el suelo y el recipiente de NaOH. Colocar el captador de NaOH directamente sobre el tablero (no lo eleveis sobre un trípode). Montar la cámara de aire sobre el captador, sellando sus bordes al tablero por medio de cinta aislante (ver Figura 4). Debeis establecer controles durante el período de tiempo que duren los ensayos.

Cálculos de las muestras

En este ejemplo, el NaOH que incubamos durante ocho horas fue recogido de un captador situado encima del lugar de muestreo y del control. El volumen medio de HCl (0.1N) necesario para valorar el NaOH del control fue de 36 ml; el necesario para la muestra de suelo, 30 ml.

Concentraciones de CO₂ en las muestras

Se usa un factor de conversión de 22 para calcular la cantidad, en miligramos, de CO₂ absorbido por el captador de NaOH. El volumen de NaOH en el captador fue de 25 ml y el volumen usado para cada valoración de 5 ml. Estos valores se introducen en la ecuación $QCO_2 = (T-C)(N)(E)(V_{tr}/V_{ti})$, de la forma siguiente:

$$\begin{array}{lll} T = 36 \text{ ml} & N = 0.1 \text{ N} & V_{tr} = 25 \text{ ml} \\ C = 30 \text{ ml} & E = 22 & V_{ti} = 5 \text{ ml} \end{array}$$

$$\text{Por lo que, } QCO_2 = (36-30)(0.1)(22)(25/5) = 66 \text{ mg de CO}_2$$

El flujo de CO₂ del suelo

Continuando con el ejemplo anterior, el diámetro de la apertura de la cámara de aire era de 18.2 cm, o 0.182 m, por lo que la superficie de suelo expuesta es de $A = (\pi)(0.182/2)^2 = 0.02602 \text{ m}^2$. Como el tiempo de incubación fue de 8 horas, el flujo de CO₂ es $(FCO_2) = 66/(0.02602)(8) = 317.06 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$

Cantidad y flujo de carbono

Para encontrar la cantidad de carbono absorbido por el captador, QC, usar la fórmula con el factor de conversión E = 6. Este se obtiene multiplicando 22 por la cantidad de carbono que hay en un mol de CO₂ (22 por 12g C/44 g CO₂). Esto da un QC = 18 mg de carbono. Por lo que el flujo de carbono (FC) sería de $18/(0.02602)(8)$, o sea 86.5 mg de carbono m⁻²h⁻¹.

6. Después del período de incubación, recoger las muestras de NaOH en frascos adecuadamente etiquetados. Para hacer esto, simplemente verter el líquido de los captadores de NaOH dentro de frascos, asegurándose de que no se pierda nada y sin respirar directamente sobre él (ver Figura 5). Luego, llévense las muestras al laboratorio para la valoración.

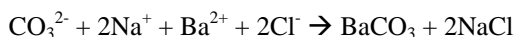
Valoración

Valorar cada muestra de NaOH tres veces, de la forma siguiente.

1. Colocar un vaso de precipitados de 400 ml debajo de una bureta graduada de 50 ml. Abrir la llave de paso y lavar la bureta durante unos breves momentos con agua destilada. Añadir 50 ml de HCl 0.1 M a la bureta dejando que llegue hasta el extremo. Cerrar la llave de paso y añadir HCl 0.1 M a la bureta hasta que la parte baja del menisco esté a 0 ml.

2. Pasar 5 ml de la disolución de NaOH de la muestra a un Erlenmeyer de 250 ml y añadir 10 ml de H₂O destilada.

3. Precipitar el carbonato contenido en la disolución de NaOH añadiendo 10 ml de BaCl₂ 3 N. La cantidad de cristales blancos formados es proporcional a la concentración de carbonato presente en la disolución alcalina. La reacción es:



4. Añadir dos gotas de fenolftaleína al matraz. La disolución se pondrá de coloración rosa.

5. Colocar el matraz debajo de la bureta, añadiendo lentamente gotas de HCl a la muestra. Después de cada adición, parar y mezclar la disolución agitando suavemente o revolviendo con una varilla de cristal. Cuando el color de la muestra cambie de rosa a transparente (punto de equivalencia), párese la valoración y regístrese el volumen de HCl usado.

6. Repetir la valoración dos veces más para cada muestra, para encontrar el volumen medio que se requiere de HCl.

Cuantificación de las concentraciones de CO₂ en las muestras

La cantidad de CO₂ absorbido por el NaOH (QCO_2) para cada muestra, se calcula de la forma siguiente:

$$QCO_2 = (T-C)(N)(E)(V_{tr}/V_{ti}), \text{ donde:}$$

T = volumen medio de HCl usado para valorar el CO₂ en el control

C = volumen medio de HCl necesario para valorar el CO₂ en cada una de las muestras

N = normalidad del HCl usado = 0.1

E = factor de conversión: usar 22 para obtener los mg de CO₂, o 6 para obtener los mg de C absorbidos por el captador

V_{tr} = volumen de NaOH en el captador = 25 ml

V_{ti} = volumen de NaOH usado en la valoración = 5 ml.

Cuantificación de la respiración del suelo

Este cálculo tiene en cuenta la superficie de suelo expuesta y el tiempo de incubación. La respiración del suelo se calcula como la tasa de producción de CO₂ por superficie durante un período de tiempo dado y por tanto se define como flujo de CO₂ (mg/m²/hr). El flujo (FCO_2) se calcula de la forma siguiente:

$FCO_2 = QCO_2/(A)(t)$, donde A es el área expuesta de suelo en metros cuadrados y t el tiempo de incubación en horas.

Ampliaciones

1. La mayor parte del CO₂ emitido por la superficie del suelo se produce por los microorganismos, y cuanto más caliente está el suelo, más intensa es la actividad microbiana. La temperatura del suelo es por tanto uno de los factores ambientales más importantes en el control de la tasa de producción de CO₂ por los suelos. Usando sondas de temperatura, los estudiantes pueden medir este factor durante varios días y de esta manera pueden dibujar una gráfica de la respiración del suelo en función de su temperatura.

2. La segunda variable que afecta a la respiración del suelo es la humedad que contiene. Esta es fácilmente medible pesando muestras de suelo, secándolas en un horno a 60°C durante 24 horas y pesándolas nuevamente. El porcentaje de humedad (MC) se calcula así: $MC = ((\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}) \text{ por } 100$.

3. El contenido en materia orgánica es una importante variable que afecta a la respiración del suelo. El porcentaje de materia orgánica puede ser estimado por combustión, de la forma siguiente. Extrae un puñado de suelo de los 10 o 15 cm superiores de la zona en estudio. Calienta una parte de la muestra a baja intensidad en un crisol hasta evaporar el agua que contiene, y luego pesa el suelo para obtener el peso seco. A continuación, calienta la muestra de suelo a elevada intensidad durante unos pocos minutos

hasta que el color no cambie más. Enfríese el suelo y pésese de nuevo para obtener el peso quemado. El porcentaje de materia orgánica (OC) del suelo se calcula así:
$$OC = ((\text{peso seco} - \text{peso quemado}) / \text{peso seco}) \text{ por } 100.$$

4. Otros factores que cambian los flujos de CO₂ de los suelos son la cantidad y la calidad de los residuos orgánicos en descomposición. Hay varias formas por las que las correcciones de materia orgánica del suelo pueden influenciar los flujos de CO₂. Por ejemplo, añadir al suelo materiales fácilmente degradables, como estiércol fresco, harina o incluso azúcar, puede generar flujos más altos a los de los suelos tratados con substratos que se descomponen a una tasa inferior (astillas de madera, paja). Diseñar experimentos en los que se cambie el tipo y/o la cantidad de materia orgánica añadida al suelo, ayudará a los estudiantes a comprender como las correcciones con materia orgánica afectan a la respiración del suelo.

Evaluación

Al final del ejercicio, los estudiantes deberán ser capaces de medir el CO₂ y comprender que es producido por los suelos y se acumula en la atmósfera. También deben comprender que varios factores, como la temperatura y la humedad de los suelos, afectan a la tasa de producción de CO₂. Si se realizan las actividades de ampliación 3 y 4 (ver más arriba), también captarán la relación entre la cantidad y el tipo de materia orgánica añadida al suelo y las cantidades de CO₂ liberadas a la atmósfera. Una posible pregunta para que los estudiantes puedan reflexionar sobre todo esto, sería:
¿Cómo la restitución de más materia orgánica a los suelos (residuos de cosechas, estiércol, etc.) aumentaría la sustentabilidad agrícola (elementos para la respuesta: reducción de la erosión, mejor retención de agua y nutrientes, fertilidad intrínseca más alta, mejor aireación, menos compactación) y actuaría sobre el balance total de los gases de efecto invernadero?

Traducción de **Manuel Antonio Fernández Domínguez**, Profesor de Biología del Instituto Arcebispo Xelmírez I, de Santiago de Compostela, (Galicia, España) y Coordinador del Taller de Educación Ambiental del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Santiago de Compostela.

Nota

1. Rochette P. y Hutchinson, G.L. "Measurement of soil respiration in situ: chamber techniques," en Hatfield, J. y Baker, J.M. eds., *Micrometeorology in Agricultural Systems*, Monografía ASA, n° 47, pp. 247-286. American Society of Agronomy, 2005. Madison, WI.

Bibliografía

Anderson, J.P.E. "Soil respiration", en A.L. Page et al., eds. *Methods of soil analysis*, Parte 2. ASA y SSSA, Agronomy Monograph 9, 1982, pp. 831-871.

Environment Canada. CO₂/Climate report- Summer 2003. (Julio 23, 2008)
<http://www.msc.smc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/newsletter/co2_summer2003/2_e.html>

Griffiths, M., Cobb, P. y Marr-Laing, T. Carbon capture and Storage: An Arrow in the Quiver or a Silver Bullet to Combat Climate Change- A Canadian Primer. Pembina Institute, 2005 (Julio 23, 2008),
<<http://www.pembina.org/pub/584>>

Natural Resources Canada. Carbon cycle. Natural Resources Canada, 2005 (Julio 23, 2008)
<<http://ecosys.cfl.scf.rncan.gc.ca/dynamique-dinamic/carbone-carbon-eng.asp>>

Rochette, P. y Hutchinson, G.L. 2005. Measurement of soil respiration in situ: Chamber techniques, pp. 247-286. En Hatfield, J. y Baker, J.M., eds. *Micrometeorology in agricultural systems*. Monografía ASA, n° 47. American Society of Agronomy. Madison, WI.

Robert Lessard es Director de la Escuela franco-canadiense de Saskatoon, Saskatchewan. **L. Dennis Gignac** es Profesor Asociado de Ecología Vegetal en la Facultad Saint-Jean de la Universidad de Alberta, Edmonton. **Philippe Rochette** es agrometeorólogo en Agricultura y Agro-Alimentación Canadá, Québec City, Québec.