

La medida de la respiración de suelo como herramienta docente en edafología

Measurement of soil respiration as a teaching tool in edaphology

Manuel Sánchez Marañón

Universidad de Granada

msm@ugr.es

Resumen

La edafología es una asignatura universitaria compleja por la variabilidad de conocimientos que integra y su interconexión con otras ciencias. Es por ello que la experimentación cobra en esta disciplina una importancia vital para mejorar la comprensión del estudiante. Experimentar el suelo en el laboratorio lo priva de su realidad funcional, y la experiencia de campo es compleja por las dificultades de desplazamiento de los estudiantes desde sus centros universitarios. Para paliar unos y otros inconvenientes, el objetivo de este trabajo fue la medida de la respiración de los suelos ($\text{mg O}_2/\text{kg}$ suelo) del jardín de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada (Spain), empleando un método manométrico (OxiTop Control measuring system). Esta experiencia práctica permitió la participación continuada en el tiempo de los estudiantes, recogió la vitalidad funcional del suelo y sirvió para mostrar la conexión de la edafología con otras ciencias. A través de un aprendizaje autorregulado y cooperativo basado en el problema de los cambios de respiración del suelo en el tiempo y el espacio, los estudiantes adquirieron competencias específicas correspondientes a la temática edáfica, así como competencias transversales tales como la capacidad de análisis, razonamiento crítico, comprensión del método científico y capacidad de discusión.

Palabras clave: Innovación docente, Edafología, Respiración del suelo.

Abstract

Soil science is a complex university course by the variability of knowledge that integrates and its interconnection with other sciences. That is why experimentation in this discipline becomes vital to improve student understanding. Experiencing the soil in the laboratory actually strips it of its functional and field experience is complex because of the difficulties of moving students from their universities. To alleviate each other drawbacks, the objective of this work was to measure soil respiration (mg O₂/kg ground) Garden of the Faculty of Science of the University of Granada (Spain), using a manometric method (OxiTop Control measuring system). This experience allowed continued participation in the students' time, collected soil functional vitality and served to show the connection of soil science with other sciences. Through a self-regulated learning and problem-based cooperative of soil respiration changes in time and space, students acquire specific skills relevant to the subject soil and transferable skills such as analytical skills, critical thinking, understanding the scientific method and ability discussion.

Key words: Teaching innovation, Soil, soil respiration.

Fecha recepción: Enero 2011

Fecha aceptación: Abril 2011

Introducción

La edafología (pedology, soil science) es fundamentalmente una ciencia interdisciplinar, y aún cuando a partir de 1883 con la obra cumbre de Dokuchaev: *El Chernozom Ruso*, se puede hablar ya de una metodología propia, lo cierto es que sigue manteniéndose una estrecha dependencia con métodos incorporados de otras disciplinas, tal y como refleja la clásica división de la edafología en secciones como química de suelos o física de suelos (Díaz-Fierros, 2011). Por otro lado, los materiales objeto de su estudio son esencialmente dependientes de la biología y la geología. Al tiempo que se define el suelo como entidad natural independiente o unidad del paisaje en la que interaccionan la materia inanimada y la materia viva, también es cierta la falta de un material propio que no esté comprendido en alguna de las ciencias citadas. Asimismo, los datos aportados por la edafología son útiles tanto para

agrónomos, forestales, urbanistas, ingenieros civiles, arqueólogos o incluso geomorfólogos del Cuaternario. Se reconocen por tanto grandes relaciones y dependencias de la edafología con otras disciplinas desde el punto de vista del método, contenido y aplicación, lo cual la hace especialmente compleja para el estudiante universitario. El bagaje y variabilidad de conocimientos exigibles al estudiante dificulta su aprendizaje, pero sin lugar a dudas, es un hecho consustancial a la ciencia del suelo y comprender sus interconexiones constituye la primera de las competencias que debe adquirir el alumno.

Entender el suelo como un cuerpo natural dinámico y vivo es también una idea básica recogida en todos los manuales de edafología (Porta et al., 2011). El suelo desempeña múltiples funciones para los ecosistemas terrestres como el reciclaje biogeoquímico, la regulación de la cantidad y calidad de las aguas superficiales, amortiguación de cambios químicos y físicos inoportunos para la pervivencia y desarrollo de plantas y animales, así como el reparto de energía (Sánchez-Marañón et al., 2002). La máxima expresión del funcionamiento y vitalidad del suelo es su respiración, más allá del mero intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera por flujo de masas y difusión. Existen un sin fin de trabajos de investigación sobre la importancia que la respiración del suelo, debida a los organismos heterótrofos allí desarrollados, tiene especialmente para el ciclo natural del Carbono (Bauer et al., 2012). La concentración en CO₂ y O₂ en el aire del suelo difiere de aquella de la atmósfera y su explicación está en la respiración microbiana (Schaetzl and Anderson, 2005). Al contrario que los investigadores, los docentes han prestado escasa atención a la práctica educativa de este aspecto del suelo que, sin embargo, es esencial para transmitir la idea de un suelo vivo del que dependen los sistemas naturales y en última instancia también la humanidad, y a la vez es un punto focal de máxima eficacia para mostrar las relaciones de la edafología con otras ciencias.

El Espacio Europeo de Educación Superior, en el marco de la Declaración de Bolonia y haciéndose eco de ciertas prácticas pedagógicas (Kirschner and Meester, 1988;

Escribano y Del Valle, 2008), está promoviendo un marco educativo en el que el aprendizaje esté basado en la práctica y la resolución de problemas temáticos de las disciplinas en cuestión. Asimismo estamos asistiendo a la necesidad de potenciar un aprendizaje autorregulado (Peñasola et al., 2006) al tiempo que cooperativo (Sharan and Sharan, 1992). La labor del docente no debería ser sólo enseñar contenidos, sino enseñar a aprender en un contexto autónomo, donde el aprendiz encuentre motivación por el logro de metas, la expectativa de mejora o la autoestima por un trabajo bien hecho; al tiempo que se exige que el docente convierta las tareas académicas también en experiencias sociales.

El objetivo de este trabajo es diseñar una experiencia docente en la enseñanza universitaria de la edafología sobre respiración del suelo, en la que el estudiante adquiera competencias específicas de la materia y comprenda su interrelación con otras disciplinas científicas, todo ello en un marco educativo que combine el carácter autorregulado y cooperativo del aprendizaje, como pilares básicos de las directrices que están señalando las autoridades académicas de enseñanza superior.

Material y métodos

Los alumnos y la asignatura

El material humano estuvo constituido por 30 alumnos de segundo curso del Grado de Ciencias Ambientales por la Universidad de Granada, que durante el curso 2011-2012 cursan la asignatura de edafología. Esta es una asignatura de 6 créditos (150 horas) de carácter básico y con un 60% de actividades no presenciales en el aula. Entre las competencias específicas que deben adquirir los alumnos están aquellas relacionadas con los contenidos propios de la caracterización del suelo (morfología, componentes, propiedades, génesis, clasificación y cartografía), además de adquirir habilidad y destreza en el laboratorio y manejo de instrumentación básica de índole química y física. Entre las competencias transversales que deben cubrir este curso destacan

también la comprensión del método científico, la capacidad de análisis y síntesis, la resolución de problemas, y el razonamiento crítico.

El experimento

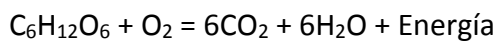
El problema planteado a los estudiantes fue la medida de la respiración del suelo y la necesidad de valorar los factores que intervienen. A los alumnos se les ofrece la posibilidad de experimentar sobre esta temática de un modo continuo en los jardines de su propio centro educativo (Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Spain), lo que facilita su disponibilidad al formar parte del aula, en este caso, un aula natural, puesto que los suelos urbanos de los jardines son un parche de naturaleza dentro de la ciudad (Johnson and Catley, 2009). Se trata de un jardín de más de 35 años de edad que contiene diferentes especies arbóreas y arbustivas de clima mediterráneo sobre Antrosoles y Tecnosoles (IUSS Working Group WRB, 2006). Estos suelos están contruidos en parte por adiciones de material de relleno, procedente de los residuos de las obras de construcción de los edificios del propio campus universitario, y aportes posteriores en superficie de material orgánico (turbas y restos picados de podas). La base de estos suelos es un residuo en situ del suelo preexistente original de la Vega de Granada (Fuvisoles), que aparece de un modo variable entre 40 y 60 cm de profundidad.

Un total de 21 alumnos mostraron su disponibilidad a participar en este proyecto, con los que construimos 4 grupos o unidades docentes de cinco-seis personas, al objeto de que cada uno de estos grupos hiciera su muestreo cuyo material y resultados posteriores serían utilizados de forma cooperativa por el resto de grupos y alumnos. Para esta relación comunicativa se emplearon las diferentes redes sociales, un blog construido para el seguimiento de la experiencia (<http://manuel-edafologia.blogspot.com.es>), así como la propia plataforma Web de docencia de la Universidad de Granada. Cada grupo debería hacer un muestro del suelo y posterior medida de su respiración, para lo cual se le ofreció la posibilidad de utilizar un muestreador cilíndrico para sacar muestra de hasta 40 cm de profundidad.

La medida

Mediante una actividad de tutorías-Taller, a los alumnos se les suministró antecedentes y fuentes bibliográficas sobre el concepto y factores influyentes en la respiración del suelo, así como se les instruyó sobre los fundamentos de la medida y el manejo del equipo necesario para la misma. Los fundamentos de esta medida son los siguientes.

El proceso de respiración aeróbica, que es consecuencia de la actividad biológica del suelo (Rowell, 1994), puede resumirse en la siguiente reacción en la que glucosa es oxidada a dióxido de carbono:



La cantidad de oxígeno consumido por los organismos, en tanto que se libera a la vez dióxido de carbono, es una medida efectiva de la intensidad del proceso de respiración del suelo, que depende fundamentalmente del contenido de materia orgánica, temperatura y humedad del suelo.

Nosotros empleamos un método manométrico (OxiTop Control measuring system, Platen and Wirtz, 1999) que registra la depresión causada por el oxígeno consumido en un frasco de cristal con cierre hermético de 960 mL, en el que previamente se introduce una cantidad de suelo (100 – 300 g) y un vaso con 50 mL de NaOH 1 M, cuyo objeto es absorber el CO₂ liberado y que no aparezca en la forma de gas libre. El resultado es una curva de cambios de presión (hPa) con el tiempo (minutos). El periodo de incubación total fue de 7 días, excepto en un caso inicial de 5 días. A partir de los cambios de presión (valores negativos) se puede calcular el oxígeno consumido (mg) empleando la ecuación general de los gases. Dado que en esta ecuación interviene el valor de la temperatura, ella se controló en la proximidad a los frascos de respiración. Los grupos de estudiantes modificaban las condiciones experimentales a la vista de la experiencia que iban acumulando los grupos anteriores. En todos los casos se midió la humedad gravimétrica (*w*, diferencia de masa antes y después de evaporación a 110 °C).

Resultados

Aprendizaje autorregulado:

I – Primeras medidas de respiración del suelo.

El primero de los grupos en experimentar (G1, Tabla 1) eligió como punto de muestreo el suelo cubierto de césped, que es la situación más frecuente dentro del jardín. Un segundo grupo (G2), sin embargo, eligió la situación opuesta y de menos ocupación areal, cual es la de los suelos de parterres. Los parterres son algunos núcleos dispersos dentro de la zona con césped, pero cubiertos de matorral y conteniendo restos picados de poda que forman un mulching artificial. Aunque el contenido de arcilla y materia orgánica no se ha determinado, la sensación organoléptica del suelo del parterre, exhibiendo más adherencia y plasticidad así como un color más rojizo y oscuro, le presupone más rico en arcilla y materia orgánica que el suelo bajo césped. La figura 1 muestra las curvas de presión que los grupos G1 y G2 obtuvieron para los primeros centímetros de suelo con césped y parterre.

II - Diferencias de actividad biológica en el perfil de suelo

La posibilidad de obtener suelo inalterado con un tubo cilíndrico de acero dividido en dos mitades (split tube sampler, Eijkelkamp Co.), despertó en uno de los grupos de alumnos más competitivo la curiosidad por experimentar los cambios de respiración a diferentes profundidades del suelo. Alcanzando hasta los 40 cm de espesor, los alumnos

Tabla 1. Medidas de respiración (consumo de O₂) en suelos de jardín realizadas como actividad docente universitaria para la asignatura de Edafología por varios grupos de estudiantes (G1-G4).

GRUP	Fecha	Muestra	Tempera	Humed	O ₂
O		(suelo de ...)	tura	ad	consumid
			(°C)	(w, %)	o (mg/kg)
G1	08-13/03/2012	Césped 0-5 cm	15-24	28	420

G2	13-20/03/2012	Parterre 0-10 cm	16-20	34	2871
G3	21-28/03/2012	Césped bajo árbol 0-14cm	18-20	31	581
G3	21-28/03/2012	Césped bajo árbol 14-27cm	18-20	12	235
G3	21-28/03/2012	Césped bajo árbol 27-40cm	18-20	14	163
G4	30-06/03-04/2012	Césped 0-10	16-20*	27	465
G4	30-06/03-04/2012	Césped 0-10	16-20*	42	608
G4	30-06/03-04/2012	Césped 0-10	16-20*	57	650

* En completa oscuridad

obtuvieron un cilindro de suelo de 7854 cm³ que dividieron en tres porciones: 0-14, 14-27 y 27-40 cm. Las diferencias, y también similitudes, en las curvas de presión obtenidas se muestran en la figura 2.

III – El efecto de la humedad del suelo

Como final de esta experiencia docente, cabe destacar la iniciativa de otro grupo de estudiantes que se planteó el problema del efecto del contenido de humedad sobre la actividad biológica. Su postulado partía de que el agua bañando los micrositios de los microorganismos debería ser un incentivo para multiplicar las poblaciones microbianas y por tanto, el consumo de oxígeno aumentaría. A partir de una muestra superficial, los alumnos obtuvieron submuestras de 85 g a las que se le añadieron cantidades diferentes de agua destilada (0, 10, 20 ml). Ciertamente, la figura 3 demuestra este efecto catalizador en las curvas de presión, si bien fue una sorpresa que los cambios de una a otra situación sólo alcanzarán los 5 hPa.

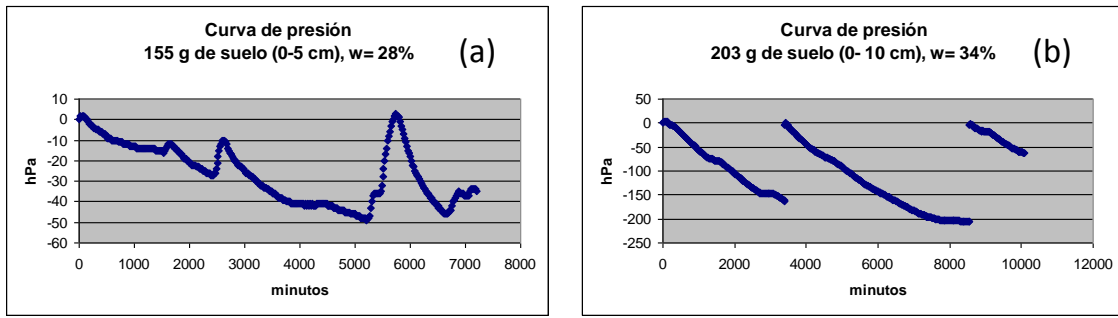


Figura 1. Curvas de presión de la actividad respiratoria del suelo obtenidas por los grupos G1 (a) y G2 (b)

Aprendizaje cooperativo:

I - Variabilidad espacial de la respiración del suelo

La conjunción de esfuerzos de los diferentes grupos de alumnos pudo sumarse y dar como resultado la Tabla 1. Los estudiantes han aprendido con la experimentación

cooperativa que la respiración del suelo es una propiedad funcional con variabilidad espacial. Esta variación está especialmente probada entre las zonas de césped y los parterres, así como entre los horizontes superficiales y subsuperficiales.

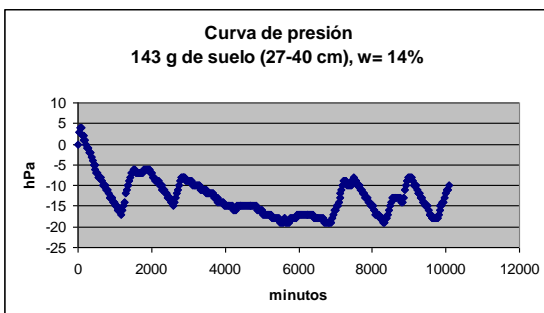
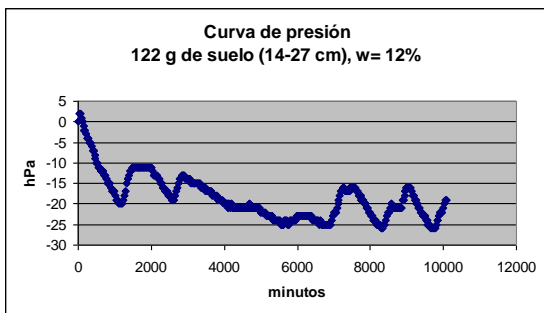
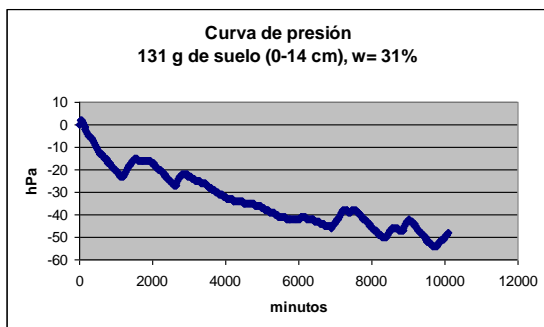


Figura 2. Curvas de presión de la actividad respiratoria del suelo a diferentes profundidades obtenidas por el grupo G3.

Discusión

Las primeras medidas de los grupos G1 y G2 no sólo mostraron diferencias importantes en el consumo de oxígeno o respiración del suelo entre las zonas de césped y los parterres, sino que establecieron las bases de las

experiencias para los siguientes grupos. Los estudiantes pudieron experimentar que diferencias en las propiedades de los suelos, conducen a un funcionamiento también diferente del suelo. Ellos establecieron la hipótesis de que las poblaciones microbianas debieron estar más activas en los parterres, probablemente por un mayor contenido de materia orgánica y mayor humedad retenida en el suelo por su textura más fina. Asimismo, los alumnos comprobaron anomalías en las curvas de presión. Por una parte, los incrementos de presión en la figura 1a se correspondían con periodos de tiempo diurnos en los que la temperatura del laboratorio era más alta. Los valores de presión debidos al consumo de oxígeno se volvían a recuperar durante la noche o fines de semana sin ocupación del laboratorio y sin calefacción. Por otra parte, la figura 1b refleja que los frascos de respiración tuvieron que abrirse en dos ocasiones. La depresión alcanzada en el frasco indicaba que todo el oxígeno se había consumido y por tanto, hubo de abrirse y después volver a cerrar para continuar la medida hasta finalizar los 7 días de incubación. Probablemente la cantidad de muestra era excesiva para el volumen de oxígeno albergado en los frascos de respiración herméticos. La cantidad de muestra debe ajustarse en función del grado de actividad respiratoria del suelo (menos cantidad cuanto mayor respiración).

Las medidas del grupo G3 estuvieron dirigidas a la comprobación de los antecedentes e hipótesis establecidas por los grupos anteriores. Muestras de suelo a diferentes profundidades tienen diferentes propiedades, en especial cambia el perfil húmico, y en consecuencia la respiración normalizada a 20 °C varió desde 581 a 163 mg O₂/kg en 7 días de incubación (Tabla 1). En la figura

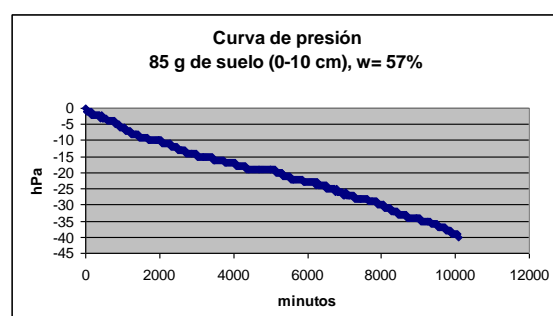
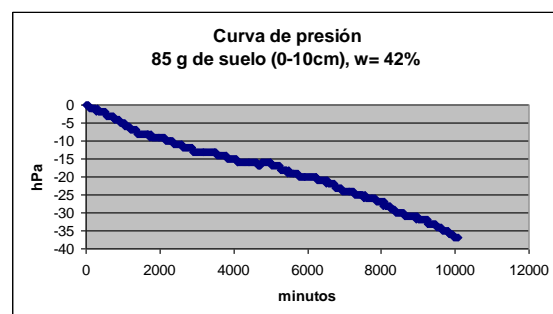
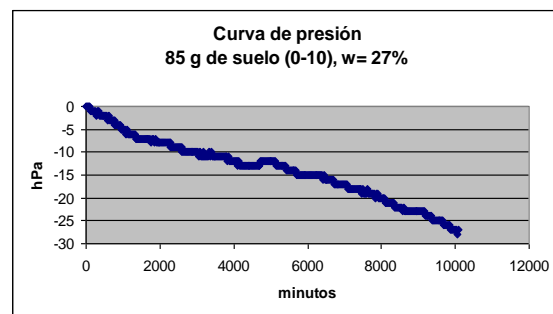


Figura 3. Curvas de presión de la actividad respiratoria del suelo a diferentes contenidos de humedad obtenidas por el grupo G4.

2 se observa que hay un consumo de oxígeno rápido en las primeras 30 horas de incubación de todas las muestras (mayor pendiente de las curvas de presión) y que después la respiración se ralentiza, especialmente en las muestras por debajo de 14 cm, tendiendo a su estabilización (-20 hPa) en la muestra tomada entre 27 y 40 cm de profundidad. Aparentemente el menor contenido de materia orgánica influye en una menor respiración del suelo, si bien en la experiencia también podría haber influido el contenido de humedad. Por otra parte, a pesar de que no se conectó la calefacción en el laboratorio, por lo que las condiciones experimentales de temperatura fueron menos variables que en el caso de los grupos G1 y G2, se puede observar en la figura 2 que todas las curvas tienen anomalías con la generación de dientes de sierra en los mismos periodos de tiempo: durante las horas de días laborables en las que estaba encendida la luz del laboratorio.

La experiencia del grupo G4 investigó el efecto lumínico y de humedad. Bajo condiciones de absoluta oscuridad, porque los frascos de respiración se colocaron en el interior de un armario cerrado, y aún con una oscilación térmica superior que en la experiencia del grupo G3, las curvas de presión (figura 3) dejaron de exhibir anomalías. Es evidente también que una misma muestra de suelo incrementa su respiración con el aumento de humedad, pero en un menor grado que muestras con diferente contenido de materia orgánica. Las diferencias son de 418 mg O₂/kg entre la muestra superficial y profunda de la experiencia del grupo G3 y 185 mg O₂/kg para una misma muestra con contenidos de humedad que difieren un 30%.

Conclusión

Los estudiantes han aprendido el proceso de aprendizaje científico. La influencia de factores químicos y físicos en la medida de la respiración del suelo ha transmitido la interdisciplinariedad de la edafología. La vitalidad del suelo, como eje central de la esencia del suelo ha sido también descubierta, no aprendida teóricamente. La metodología docente empleada ha permitido cubrir las competencias específicas de conocimiento del suelo y además las transversales como manejo de instrumentación básica, además de aquellas más generales tales como la iniciativa, capacidad de trabajo y socialización. Los estudiantes experimentaron el método científico, reproduciendo un aprendizaje “feedback” que incluye: 1-recopilación del

conocimiento previo, 2-observación del hecho, fenómeno o entidad, 3- medida de sus atributos, 4-establecimiento de hipótesis, 5-comprobación de hipótesis, y 6-análisis de los resultados con los que actualizar el conocimiento previo.

Bibliografía

- Bauer, J., Weihermuller, L., Huisman, J.A., Herbst, M., Graf, A., Sequeris, J.M., Vereecken, H. (2011). Inverse determination of heterotrophic soil respiration response to temperature and water content under field conditions. *Biogeochemistry*, 108, 119-134.
- Díaz-Fierros, F. (2011). La ciencia del suelo: Historia, concepto y método. Universidad de Santiago de Compostela.
- Escribano, A. & Del Valle, A. (2008). El aprendizaje basado en problemas. Una propuesta metodológica en Educación Superior. Ed. Nacea.
- Johnson, E.A. & Catley, K.M. (2009). Urban soil ecology as a focal point for environmental education. *Urban Ecosystems*. 12, 79-93.
- Kirschner, P.A., & Meester, M.A. (1988). The laboratory in higher education: problems, premises and objectives. *High Education*. 17, 81-98.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. (2011). Introducción a la edafología. Uso y protección de suelos. Madrid: Ediciones Mundi-prensa.
- Rowell, D.L. (1994). Soil science: methods and applications. Longman Scientific & Technical. New York: Wiley.
- Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Delgado, G., Delgado, R., (2002). Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal*. 66, 948–957.
- Schaetzl, R., & S. Anderson. (2005). Soils: Genesis and geomorphology. New York: Cambridge Univ. Press.
- Sharan, Y., & Sharan, S. (1992). Expanding cooperative learning through group investigation. Nueva York: Teachers College Press.