

Los costos ambientales de la pérdida de suelo en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato

Bautista Francisco¹, Alma Barajas¹, José Luis Cortés¹,
Luis D. Olivares¹, Ángeles Gallegos^{1,2}, Azucena Pérez³

¹Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México,
Antigua carretera a Pátzcuaro SN, Morelia Michoacán, México, leptosol@ciga.unam.mx,;

²Scientific Knowledge In Use, Ciudad de México, México, www.actswithscience.com;

³Departamento de Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato.

Resumen

La pérdida de suelo por erosión en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda es un problema y creciente, a pesar de ser una zona para la protección del ambiente y de la biodiversidad de la región. El objetivo de este trabajo fue la evaluación de las funciones ambientales de un perfil de suelo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en el estado de Guanajuato. Se tomaron muestras de un perfil de un suelo conservado y fueron analizadas en el laboratorio. La evaluación de la capacidad de retención de agua disponible y el contenido de carbono orgánico se evaluaron con el software *Soil & Environment*, considerando dos escenarios de erosión: a) una pérdida del horizonte A de 0 a 14 (cm) y b) una pérdida de los horizontes A y AB (de 0 a 39 cm). El análisis del *Chromic Endoskeletal Luvisol* (Cutanic, Humic, Epiloamic) en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda revela que: a) el suelo contiene un total del 7568.7 t ha⁻¹, con un volumen de 8000 m³; b) una erosión severa, con la pérdida del horizonte A, disminuye en un 27.56% la retención de humedad y una erosión en niveles superiores la disminución alcanza un 58.29%; c) la retención de carbono orgánico en el Luvisol se pierde por erosión del 20.1% al 58.22%.

Introducción

La degradación del suelo puede ser descrita también como el deterioro de su calidad o la pérdida parcial o total de una o más funciones del suelo (van Lynden et al., 2004). Por otro lado, la degradación del suelo no suele preocupar tanto como la degradación del agua o la del aire debido a que no se conocen o no son obvias las repercusiones en la vida humana. Sin embargo, en los últimos años se ha venido gestando un movimiento internacional para la protección de los suelos, debido a que la degradación ha ido avanzando de manera alarmante.

Una de las formas de degradación del suelo es la erosión, tema sobre el cual se ha estudiado y escrito mucho, tanto a nivel internacional como a nivel nacional. Se sabe que la erosión es uno de los principales problemas del país como

consecuencia del deficiente manejo del suelo. Los problemas que se generan por la erosión del suelo suelen no ser contundentes, debido a que la pérdida de un número cualquiera de toneladas por hectárea parece no ser relevante.

La degradación, y particularmente la erosión de los suelos, se liga de manera clara con sus funciones ambientales, más allá de los tradicionales ámbitos agrícola, pecuario y forestal (Bouma, 2009). Las funciones ambientales de los suelos son: amortiguación de los contaminantes (Bouma, 2009); limpieza del agua (Bautista et al., 1995; Aguilar y Bautista, 2011); reserva para la biota silvestre (Lehmann, 2006; Lehmann et al., 2008, 2010); archivo geológico, histórico y cultural (Bouma, 2009); fijación y reserva de carbono (Bouma, 2009; Pérez-Ramírez et al., 2013).

El paso del conocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a su expresión como funciones ambientales requiere la correcta interpretación, considerando las propiedades del perfil del suelo a evaluar (Gallegos et al., 2014). En actividades agrícolas a menudo se evalúa solo el horizonte superficial. Pero para la evaluación de las funciones ambientales se deben considerar las propiedades del perfil de suelo completo.

El paso de la evaluación de las propiedades del suelo por horizonte requiere “hacer las cuentas” para todo el perfil, utilizando una superficie estándar, como el metro cuadrado o la hectárea, para de esta manera calcular la cantidad de agua, nutrientes, carbono, metales pesados, aire, entre otros, que el suelo puede contener, adsorber o liberar.

Para que quienes toman decisiones y el público en general reaccionen ante las consecuencias de la pérdida de suelo, se hace necesario expresar el daño que la erosión ocasiona en el ambiente,

como la pérdida de las funciones ambientales de los suelos, es decir, las repercusiones en la calidad del agua, del aire, de la vida humana en general.

El objetivo de este trabajo fue la evaluación de las funciones ambientales de un perfil de suelo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en el estado de Guanajuato.

Materiales y métodos

Utilizamos un Luvisol que se encuentra en un bosque de encinos o *Quercus* en la Sierra Gorda de Guanajuato (Figura 1). El uso del suelo es forestal de tala selectiva. *In situ* no se observó ninguna evidencia de erosión y el perfil tiene un drenaje interno que puede considerarse bueno. El perfil de suelo se describió siguiendo el manual de descripción de suelos en campo de la FAO (2006). En campo se midió el espesor de los horizontes, se calculó la pedregosidad y se evaluó la forma, tamaño y estabilidad de los agregados.

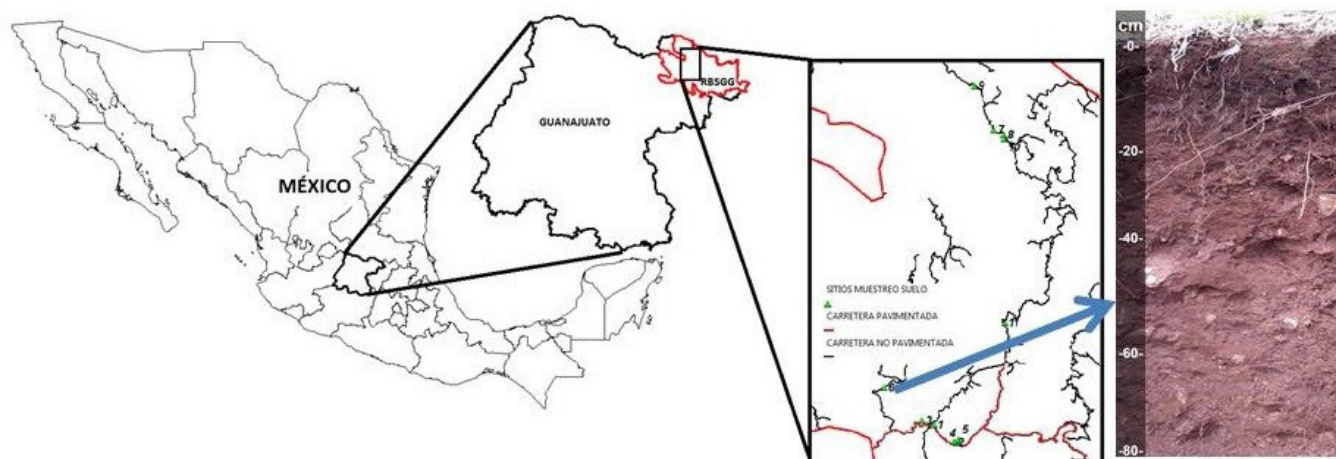


Figura 1. Zona de estudio en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda del estado de Guanajuato

Análisis de laboratorio

Se realizaron los siguientes análisis: a) distribución del tamaño de partículas (Okalebo et al., 1993), b) densidad aparente por el método de la parafina, pH 1:2.5 (Lean, 1982), c) materia orgánica por oxidación ácida con dicromato de potasio (Nelson y Sommers, 1982), d) capacidad de intercambio de cationes por el método del acetato de amonio pH 7, con los cationes intercambiables (USDA, 1996).

Análisis de datos

Para estimar la capacidad de retención de agua disponible (Cuadro 1) es necesario conocer el tipo de textura y la densidad aparente por horizonte del perfil de suelo. La evaluación de la capacidad de retención de agua disponible se realiza a partir de intervalos de valores en $L\ m^{-2}$,

por lo que es necesario convertir la estimación obtenida en porcentaje de volumen para calcular la capacidad de retención de agua disponible por horizonte con la siguiente ecuación:

$$dCC(Lm^{-2}) = dCC[Vol. \%] * (100 - piedras[Vol. \%]) * espesor[dm]$$

Donde:

$dCC\ [L\ m^{-2}]$ = capacidad de retención de agua disponible por horizonte en L/m^2 ;

$dCC\ [Vol. \%]$ = capacidad de retención de agua en porcentaje de volumen;

$piedras\ [Vol. \%]$ = volumen de piedras;

$espesor\ [dm]$ = espesor del horizonte en decímetros.

Cuadro 1. Estimación de la capacidad de retención de agua disponible (% Vol.).

Textura	DA < 1.2	DA ≥ 1.2 - DA ≤ 1.4	DA > 1.4
A	16	11	11
AC	20	16	14
L	28	26	-
	DA ≤ 1.0	DA > 1.0 - DA ≤ 1.4	DA > 1.4
CA	24	20	17
CL	27	24	21
C	20	15	13
CRA	15	12	10
CRL	20	16	14
CR	16	12	9
	DA ≤ 1.0	DA > 1.0 - DA ≤ 1.6	DA > 1.6
R	16	12	-
RA	16	12	9
RL	15	11	7

DA: Densidad aparente; A: Arenosa, AC: Arenosa franca, CA: Franco arenosa, L: Limosa, CL: Franco limosa; C: Franca, CRA: Franco arcillo arenosa, CRL: Franco arcillo limosa, CR: Franco arcillosa, R: Arcillosa, RA: Arcillo arenosa, RL: Arcillo limosa. Fuente: Siebe et al., (2006).

La sumatoria de los horizontes es el resultado de la capacidad de retención de agua disponible en el suelo. De acuerdo con Siebe et al. (2006), un valor de capacidad de retención de agua disponible menor a cincuenta es considerado muy bajo; un valor igual a cincuenta y menor a noventa es bajo; si el valor es mayor o igual a noventa y menor a ciento cuarenta es mediano, si es mayor o igual a ciento cuarenta y menor que doscientos es alto; por último si el valor es mayor a doscientos, la capacidad de retención de agua disponible es muy alta.

El carbono orgánico del suelo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{COST} = \sum_{\text{horizonte}=i}^{\text{horizonte}=n} \left((BD_i * TH_i * [1 - \frac{CR_i}{100}]) * C_i \right) * 100$$

Donde:

COST [Mg ha⁻¹] = carbono orgánico del perfil completo

BD_i [Mg m⁻³] = Densidad aparente del horizonte i

TH_i [m] = Espesor del horizonte i

CR [Vol. %] = Volumen de fragmentos gruesos del horizonte i o pedregosidad

C_i [%] = porcentaje de carbono orgánico del horizonte i

Se estimaron dos escenarios de degradación por erosión, teniendo en cuenta las observaciones de campo. La información del perfil del suelo se capturó en el software *Soil and Environment* (Gallegos et al., 2016) y se calcularon las funciones ambientales de los suelos (Bautista et al., 2016; Gallegos et al., 2016). Para estimar la pérdida de las funciones de los suelos se recalcularon las funciones ambientales considerando una pérdida del horizonte A de 0 a 14 cm con una cobertura de matorral secundaria; en el segundo caso se simuló un suelo con uso pecuario, con una pérdida de los horizontes A y AB de 0 a 39 cm.

Cuadro 1. Propiedades del perfil GTO-006 estimadas en campo y la cantidad de tierra fina por horizonte calculada con S&E.

Profundidad (cm)	Pedregosidad (%)	Forma de agregados	Tamaño de agregados	Estabilidad de agregados	Tierra Fina (t ha ⁻¹)
0 14	2	Bloques subangulares	Gruesos	Alta	1400
14 39	15	Bloques angulares	Muy gruesos	Baja	2210
39 65	15	bloques subangulares	Medios	Muy baja	2807
65 80	40	Bloques angulares	Muy gruesos	Moderada	1152

Cuadro 2. Propiedades del perfil GTO-006 medidas en laboratorio.

C (%)	MO (%)	DA (g cm ³)	pH	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	CIC	Ca	Mg cmol kg ⁻¹	Na	K
5.07	8.74	0.64	5.70	31.08	42	26.92	C	28.8	3.8	3.18	0.4	1.3
4.05	6.99	1.04	6.37	20.36	40	39.64	CR	28.5	2.66	3.02	0.3	0.6
2.57	4.44	1.27	6.37	25.08	30	44.92	R	33.8	7.35	3.28	0.4	0.5
1.32	2.29	1.28	6.13	20.72	30	49.28	R	31.9	5.36	4.2	0.4	0.5

C= carbono orgánico; MO= materia orgánica; DA= densidad aparente; Textura: C Franco; CR Franco arcilloso y R Arcilloso; CIC= capacidad de intercambio de cationes.

Resultados

El perfil de suelo de acuerdo con la WRB (IUSSS, 2014) y utilizando los calificadores, corresponde a un Chromic Endoskeletal Luvisol (Cutanic, Humic, Epiloamic).

El suelo contiene un total del 7568.7 t ha^{-1} , con un volumen de 8000 m^3 ; si la tierra de una hectárea se vendiera como tierra de jardín a $\$500 \text{ el m}^3$, entonces el suelo valdría $\$4,000,000$ y el terreno quedaría con afloramiento rocoso, sin retención de humedad y toda el agua de lluvia sería de escorrentía. Además, sin flora ni fauna silvestre ni microorganismos, perdería su poder de retención de nutrientes y de adsorción/descomposición de contaminantes.

También podría calcularse el costo del desazolve de presas y ríos si el costo de sacar un metro cúbico de sedimento fuera de $\$50$ pesos. El costo por desazolver el equivalente a una hectárea sería de $\$400,000$, pero los volúmenes de desazolve de las presas a menudo rebasan los 6 millones de metros cúbicos con un costo de alrededor de los 300 millones de pesos.

Cuando un Luvisol tiene una cubierta de bosque de Quercus puede retener más de 120 Lm^{-2} de agua, sin embargo, cuando se erosiona y pierde su horizonte A pierde alrededor de

40 Lm^{-2} de capacidad para almacenar agua. En casos extremos, donde el suelo puede estar cubierto por bosque o por pasto, la diferencia es significativa, pues pierde más de la mitad de su capacidad para retener agua (Figura 2).

Si este suelo se utilizara de manera agrícola cuidándolo y disminuyendo la erosión, entonces el agua de lluvia podría ser captada por el suelo y utilizarse para el crecimiento de las plantas. De la misma manera, el suelo conservado protege de mejor forma los acuíferos al limpiar el agua. Podríamos decir que un suelo conservado significa mayor cantidad y mejor calidad de agua en los acuíferos.

La capacidad de un suelo para almacenar carbono orgánico es un tema de relevancia internacional, porque los suelos retienen más carbono que las plantas y la atmósfera. Cuando un Luvisol cambia de cubierta forestal a pastizal pierde 129 Mg ha^{-1} de carbono orgánico y, cuando pasa de forestal a matorral, pierde 44 Mg ha^{-1} (Figura 2), o 44 t ha^{-1} .

El carbón orgánico se pierde, ya sea acompañando a los sedimentos, o integrándose a la atmósfera en forma de CO_2 , que es un gas de efecto invernadero. La conservación del carbono en el suelo significa atenuación del cambio climático, mayor pago por captura de carbono y cumplimiento de las medidas de mitigación.

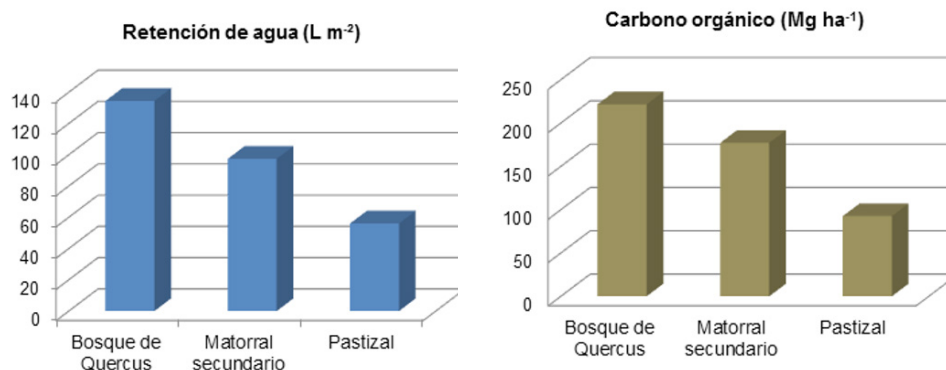


Figura 2. Evaluación del carbono orgánico del suelo

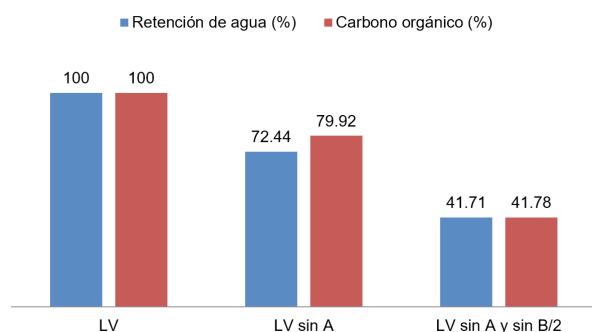


Figura 2. Evaluación del carbono orgánico del suelo

Conclusión

Las funciones ambientales del suelo se pierden por erosión. En este trabajo sólo se evaluó la pérdida en la retención de humedad y el contenido de carbono orgánico, y quedó pendiente la evaluación de la pérdida de la fertilidad, la capacidad de retención de metales pesados, la capacidad de adsorción de nutrimentos y el resto de las funciones ambientales de los suelos.

Agradecimientos

A la empresa Skiu por facilitarnos una versión gratuita del software S&E y a los árbitros y revisores por sus valiosas observaciones.

Referencias

- Aguilar, Y. y Bautista, F., 2011, Extrapolating the suitability of soils as natural reactors using an existing soil map: application of pedotransfer functions, spatial integration and validation procedures. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 221- 232.
- Bautista, F., Luna, P. V. M., Durán, B. C., 1995 El suelo, un reactor químico muy interesante. *Educación química*, 6(4), 226–230.
- Bautista F., A. Gallegos, A. Pacheco, 2016, Análisis de las funciones ambientales de los suelos con datos de perfiles (Soil & Environment). Skiu. México D.F., México. 69 pp.

Blum, W. E. H., 2005, Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4(3), 75-79. Doi: 10.1007/s11157-005-2236-x

Bouma, J., 2009, Soils are back on the global agenda: Now what?. *Geoderma*, 150, 224–225. Doi:10.1016/j.geoderma.2009.01.015

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006, Guidelines for soil description (Fourth edition): Rome, 111 pp.

Gallegos-Tavera, Á., Bautista, F., Álvarez, O., 2014, Software para la evaluación de las funciones ambientales de los suelos (Assofu). *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2), 237-249. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.11.060.

Gallegos A., F. Bautista, I. Dubrovina, 2016, «Soil & Environment» - Software for the evaluation of soil environmental functions. *Programmnye produkti I sistemy (Software and Systems) 2* (114): 195-200 (en ruso).

IUSSS (International Union of Soil Science Societies) working group WRB. 2015. World reference bases for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Reports*, FAO (106). FAO, Rome, Italy.

Lean, E.O., 1982, Soil pH and lime requirement. En: Page, A. L., Miller, R.H., Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI, pp. 199-224.

Lehmann, A., 2006, Technosols and other proposals on urban soils for the WRB (World Reference Base for soil resources). *International Agrophysics*, 20(2), 129–134.

- Lehmann, A., David, S., K. Stahr, 2008, Technique for Soil Evaluation and Categorization for Natural and Anthropogenic Soils. University of Hohenheim: Stuttgart
- Lehmann, A. y Stahr, K., 2010, The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 1092–1102. Doi: 10.1007/s11368-010-0207-5.
- Nelson, D.W. and Sommers, L. E., 1982, Total carbon, organic carbon and organic matter. En: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D. R., (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI. pp. 535-577.
- Okalebo, R., Gathua, K.W., Woomer, P.L., 1993, *Laboratory methods of soil and plant analysis: A working manual*. KARI, SSEA, TSBF, UNESCO, Nairobi, Kenya, 88 pp.
- Pérez-Ramírez, S., Ramírez, M. I., Jaramillo-López, P. F., Bautista, F., 2013, Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1) 157-173. Doi:10.5154/r.rchscfa.2012.06.042.
- Siebe, C., Jahn, R., y Stahr, K., 1996, *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo, publicación especial 4: Chapingo*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C., 30 pp.
- USDA (United State Department of Agriculture), 1996, *Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report No. 42 version 3.0*. United State Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Washington D.C., 693 pp.
- van Lynden G.W.J. and Oldeman L.R., 1997, *The assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and South East Asia*. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, Holanda. 35 pp.
- van Lynden, G.W.J.; Mantel, S., van Oostrum A., 2004, *Guiding principles for the quantitative assessment of soil degradation*. FAO. Rome. 73 pp.

Manuscrito recibido: 25 enero de 2016

Recepción del manuscrito corregido: 5 enero de 2017

Manuscrito aceptado: 10 enero de 2017