

BASE DE DATOS DE LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO

DATABASE OF THE EVALUATION OF THE DEGRADATION OF SOILS IN MEXICO

Fernando Paz-Pellat^{1†} y Carlos A. Ortiz-Solorio²

¹ GRENASER, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, CP 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

² Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, CP 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

† Autor para correspondencia: ferpazpel@gmail.com

RESUMEN

En el estudio para la evaluación de la degradación de los suelos en México de SEMARNAT-CP del 2002, se utilizó una base de datos de 4583 muestras de suelo, procedentes de todo el país. Las muestras se colectaron a una profundidad de 20 cm. Para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero asociados al carbono, la información sobre el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) proveniente de muestreos sistemáticos es un insumo crítico. En estos ejercicios, es necesario contar con datos de la MOS, densidad aparente y fragmentos gruesos (> 2 mm) para poder estimar densidades de carbono. En la base de datos de SEMARNAT-CP solo hay 1843 mediciones de la densidad aparente y los fragmentos gruesos no se midieron, por lo que es necesario que, en el futuro, se midan estas variables en cada muestreo de suelos que se realice. En este trabajo se documenta y analiza la base de datos SEMARNAT-CP, la cual se encuentra disponible para el público en general (http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/).

Palabras clave: *carbono orgánico del suelo; densidad aparente; fragmentos gruesos; almacenes de carbono; inventarios nacionales.*

ABSTRACT

The study for the evaluation of the soil degradation in Mexico of SEMARNAT-CP of 2002, used a database of 4583 soil samples from all over the country. The samples were collected at a depth of 0 to 20 cm. The information of soil samples that include organic matter data (SOM) is a critical input for national inventories of greenhouse gases associated with carbon. In these exercises, in addition to having the results of the SOM analysis, it is necessary to know the soil bulk density and the coarse fragments (> 2 mm) fraction to estimate soil carbon densities. In the database of SEMARNAT-CP there were only 1843 measurements of bulk density and no coarse fragments were measured, so in the future it is necessary to have all the measured variables. In this work the aforementioned database is documented, which can be consulted by the general public (http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/).

Key words: *organic soil carbon; bulk density; coarse fragments; carbon stocks; national inventories.*

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un ingrediente crítico en la estabilidad de los agregados del suelo, su fertilidad y propiedades hidráulicas, por lo que el conocimiento de la distribución espacial de la MOS permite focalizar acciones de intervención para preservarla o restaurarla (Paz *et al.*, 2016).

El carbono orgánico del suelo (COS) es el principal almacén en los ecosistemas terrestres (Eswaran *et al.*, 1993; Batjes, 1996; Hiederer y Köchy, 2011; FAO e ITPS, 2015) y se relaciona estrechamente con las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y el cambio climático. El COS equivale aproximadamente a dos a tres veces el almacén de la biomasa (Lal, 2004), por lo que la pérdida del COS contenido en los ecosistemas terrestres puede causar grandes emisiones de GEI como consecuencia de perturbaciones antropogénicas.

En México se han realizado varios ejercicios de mapeo del COS a escala nacional (Segura *et al.*, 2004; Balbontín *et al.*, 2009; Paz *et al.*, 2016; Guevara *et al.*, 2018), considerando diferentes profundidades, con el fin de evaluar el almacén de carbono del suelo. En estos ejercicios de evaluación del COS a escala nacional se ha utilizado la base de datos de perfiles de suelo del INEGI (1998, 2004), documentadas en Paz-Pellat y Velázquez-Rodríguez (2018); así como los muestreos asociados a la evaluación de la degradación de los suelos de México (SEMARNAT-CP, 2002). Esta última base de datos no ha sido documentada y puesta a disposición

del público, por lo que es importante realizar esta tarea, que será de utilidad para estudios a futuro.

De acuerdo con lo anterior, en el presente manuscrito se analiza y documenta la base de datos de la evaluación de la degradación de los suelos en México de SEMARNAT-CP (2002), la cual puede consultarse en el sitio que se describe al final del trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos del estudio de la degradación de los suelos de México de SEMARNAT-CP (2002), consta de 4583 muestras colectadas en pozos de dimensiones de 20 cm x 20 cm x 20 cm, distribuidas en el territorio nacional (Figura 1). Para la elaboración de los inventarios nacionales de gases efecto invernadero (INEGEI), el IPCC (2003 y 2006) recomienda, en lo referente a las estimaciones del COS requeridas para calcular el suelo como fuente de los mismos, recolectar muestras a la profundidad de 0 a 30 cm. En el caso de México, la base de SEMARNAT-CP se usó para elaborar la tercera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (de Jong *et al.*, 2006 y 2010). En dicho documento, la profundidad original de las muestras de suelo (0 a 20 cm) se extendió a 30 cm, para lo cual se usaron relaciones empíricas por tipo de suelo. La misma base se ha utilizado para caracterizar las estructuras de variación espacial del COS en México (Segura *et al.*, 2004; Paz *et al.*, 2008).



Figura 1. Distribución de las muestras de suelos del estudio de SEMARNAT-CP (2002).

Los protocolos de muestreo, campo y laboratorio de la base de datos de SEMARNAT-CP, fueron los recomendados por la norma oficial mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT (2002) y van Reeuwijk (1999). Una limitante de esta base de datos, es que solo se realizaron 1843 mediciones de la densidad aparente (DA), que corresponden a las muestras que

contaban con terrones, dato requerido para calcular densidades de carbono cuando los resultados de carbono están expresados en concentración (%). Otra variable no medida fue la fracción de fragmentos gruesos (> 2 mm), lo cual permite estimar el COS en forma correcta (Poeplau *et al.*, 2017). Los modelos empleados fueron los siguientes:

$$COS = (DA)(p)(COSp) \left(1 - \frac{FG}{100}\right) \tag{1}$$

$$COS = (DA_{ff})(p)(COSp) \left(1 - \frac{FG_v}{100}\right) \tag{2}$$

donde el COS está expresado en Mg C ha⁻¹, la DA es la densidad aparente del suelo total (Mg m⁻³), p es la profundidad del suelo (cm), FG es el porcentaje de la masa de fragmentos gruesos (> 2mm), COSp es la concentración de carbono (%) de la fracción ≤ 2 mm del suelo (fracción fina), DA_{ff} se refiere a la densidad aparente de la fracción fina y FG_v al porcentaje en volumen de los fragmentos gruesos.

Las estimaciones de la densidad de carbono que se hacen sin considerar la FG y DA generan sobreestimaciones y deben reevaluarse (Poeplau *et al.*, 2017). de Jong *et al.* (2006 y 2010) utilizaron estimaciones de la DA y una aproximación a la estimación de FG, para lo cual estimaron la FG_v sin usar DA_{ff}, tal como se muestra en la relación (2), por lo que el COS está sobreestimado.

La MOS medida por el método de Walkley and Black (SEMARNAT, 2002) solo mide aproximadamente 76% de ésta, por lo que es necesario ajustarla por un factor empírico para estimar la MOS total. Adicionalmente, se sabe que la MOS humificada contiene, en promedio, 58% de C en su estructura. Por lo que, para estimar

el C contenido en la MOS, es preciso multiplicar su valor por el factor de conversión 0.58. Padilla *et al.* (2012) verificaron que dicho factor empírico coincide con los resultados de COS obtenidos al medir el COS empleando autoanalizadores (TOC), con los generados mediante el método de Walkley and Black y modificados por los factores empíricos indicados.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestra la estructura de la base de datos de los muestreos de suelos de la evaluación de la degradación de los suelos de SEMARNAT-CP (2002).

Cuadro 1. Estructura de la base de datos de SEMARNAT-CP

Campo	Descripción	Tipo	Unidades
ID	Identificador de la muestra	Numérico	Número entero
Longitud	Localización geográfica: longitud	Numérico	Grados con decimales
Latitud	Localización geográfica: latitud	Numérico	Grados con decimales
pH	Reacción del suelo, método del potenciómetro, relación con agua 1:2.5	Numérico	Número real
MO	Materia orgánica, método de Walkley y Black	Numérico	%
CE	Conductividad eléctrica del extracto de suelo 1:5, método del puente de Wheatstone	Numérico	dS m ⁻¹
DA	Densidad aparente, método del terrón	Numérico	Mg m ⁻³

En el caso de información faltante en la base (*i.e.* densidad aparente), se utilizó el valor -999. El Cuadro 2 muestra los estadísticos de las variables incluidas en la base de datos SEMARNAT-CP.

Cuadro 2. Estadísticos de las variables de la base de datos de SEMARNAT-CP (2002).

Variable	Mínimo	Promedio	Máximo
pH	3.50	7.03	10.50
MO	0.00	2.60	28.22
CE	0.00	0.45	40.70
DA	1.01	1.51	2.45

En la Figura 2 se muestra, como contexto, el mapa de degradación de los suelos de México generado en la evaluación de SEMARNAT-CP (2002) y, en la Figura 3, un mapa de la distribución del COS en México.

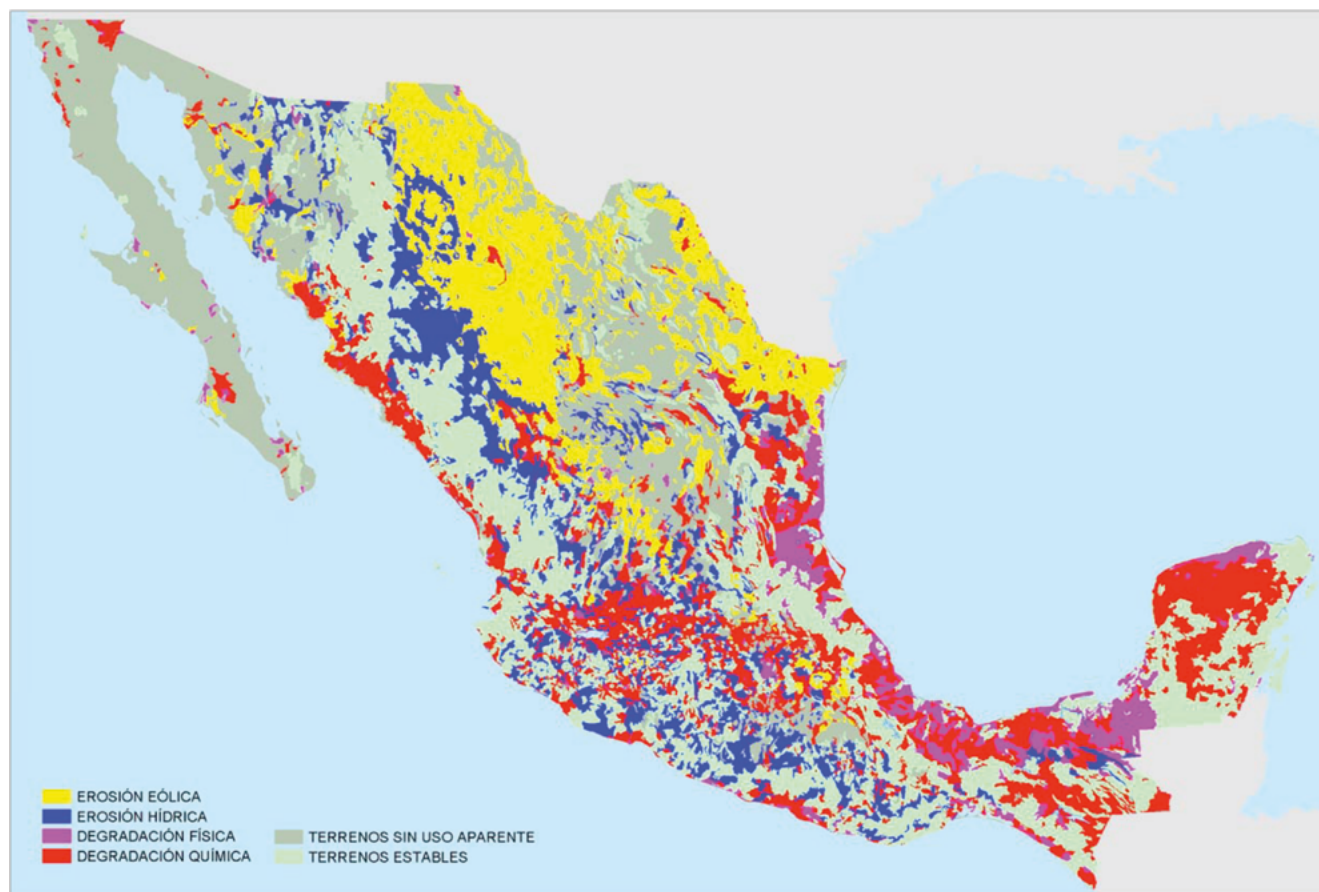


Figura 2. Mapa de la degradación de los suelos de México. Fuente: SEMARNAT-CP (2002).

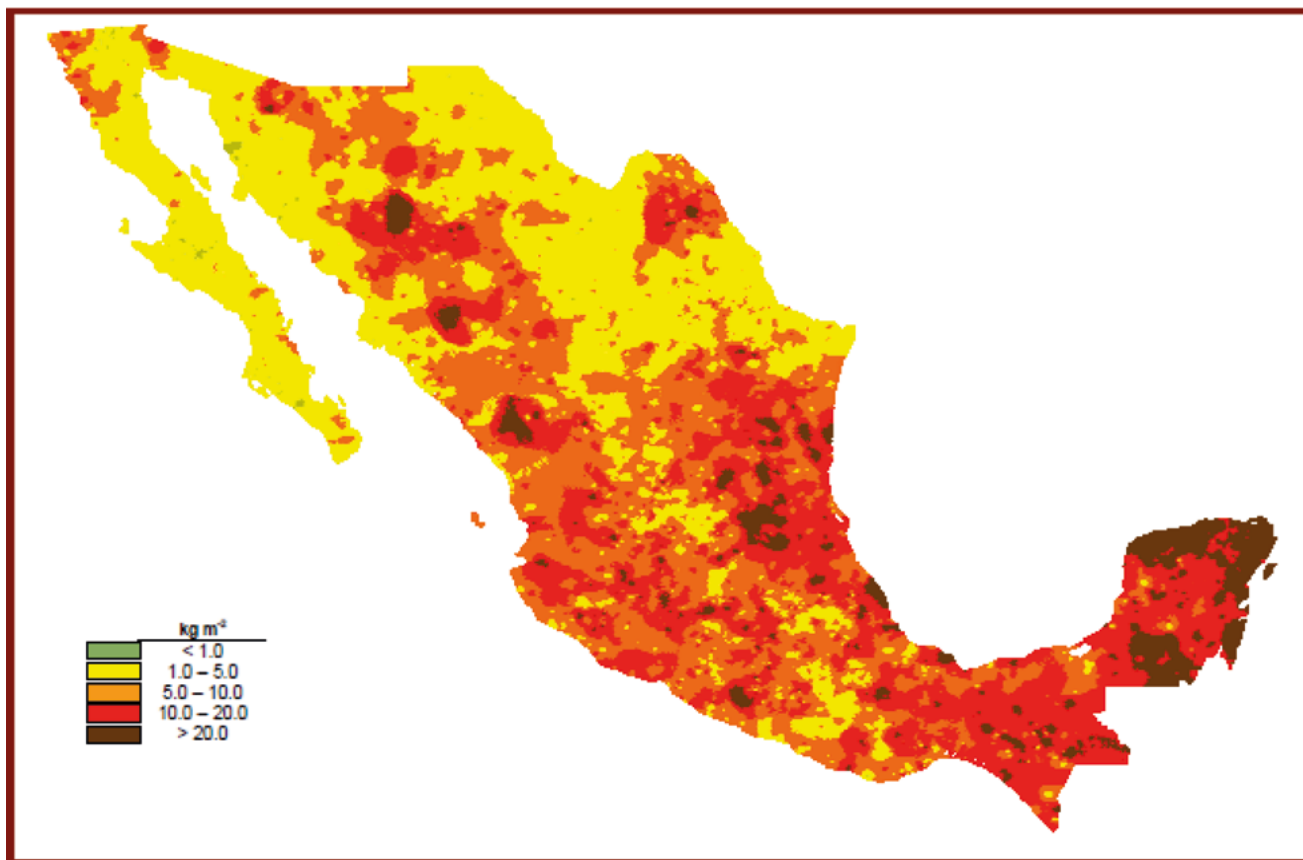


Figura 3. Mapa del carbono orgánico de los suelos de México. Fuente: SEMARNAT-CP (2002).

COMENTARIOS FINALES

La base de datos documentada y abierta al público permite utilizar información nacional estandarizada para evaluación de los almacenes de carbono (Segura *et al.*, 2004; Paz *et al.*, 2016), así como de la degradación de los suelos (SEMARNAT-CP, 2002; Bolaños *et al.*, 2016).

La base de datos de SEMARNAT-CP (2002), al igual que otras bases de datos en México, no cuenta con información completa para estimar densidades de COS, por lo que es necesario que en el futuro se realicen mediciones de los fragmentos gruesos y de la densidad aparente del suelo usando métodos analíticos estandarizados. Sólo de esta manera se podrán evaluar los almacenes del COS y tener datos interoperables (Vargas *et al.*, 2017) a nivel de país.

BASE DE DATOS

En seguimiento a la política del Programa Mexicano del Carbono de libre acceso a las bases de datos asociadas al ciclo del carbono y sus interacciones,

así como en soporte de las síntesis nacionales del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres y acuáticos, la base de datos de este trabajo está disponible en http://pmcarbono.org/pmc/bases_datos/.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a SEMARNAT su disposición en hacer disponibles los datos generados con el financiamiento del estudio de la evaluación de la degradación de los suelos en México.

LITERATURA CITADA

Balbotín, C., C. O. Cruz, F. Paz and J. D. Etchevers. 2009. Soil carbon sequestration in different ecoregions of Mexico. pp. 71-96. In: Lal, R. and R. F. Follett (eds.). Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect. SSSA Special Publication 57. 2nd Edition. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI.

Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47:161-163.

Bolaños, M. A., F. Paz, C. O. Cruz, J. A. Argumedo, V. M. Romero y J. C. de la Cruz. 2016. Mapa de erosión de los suelos de

- México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana* 34:271-288.
- de Jong, B., C. Anaya, O. Masera, M. Olguin, F. Paz, J. Etchevers, R. Martínez, G. Guerrero and C. Balbontín. 2010. Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico. *Forest Ecology and Management* 260:1689-1701.
- de Jong, B., O. Masera, R. D. Martínez, F. Paz, M. Olguin, C. Anaya, C. Balbontín, M. Motolinia y G. Guerrero. 2006. Inventario nacional de emisiones de gases invernadero 1993-2002. Uso del suelo, cambio de uso del suelo y bosques. Reporte preparado para el Instituto Nacional de Ecología. D.F., México 78 p.
- Eswaran, H., E. Van Den Berg and P. Reich. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal* 57:192-104.
- FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWRS) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy.
- Guevara, M., G. Federico-Olmedo, E. Stell, Y. Yigini, Y. Aguilar-Duarte, C. Arellano-Hernández, G. E. Arévalo, C. E. Arroyo-Cruz, A. Bolívar, S. Bunning, N. Bustamante-Cañas, C. O. Cruz-Gaistardo, F. Davila, M. Dell-Acqua, A. Encina, H. Figueredo-Tacona, F. Fontes, J. A. Hernández-Herrera, A. R. Ibelle-Navarro, V. Loayza, A. M. Manueles, F. Mendoza-Jara, C. Olivera, R. Osorio-Hermosilla, J. Rodríguez-Rodríguez, R. Roopnarine, A. Rosales-Ibarra, K. A. Rosales-Riveiro, G. A. Schulz, A. Spence, G. M. Vasques, R. R. Vargaas and R. Vargas. 2018. No silver bullet for digital soil mapping: country-specific soil organic carbon estimates across Latin America. *Soil* 4:173-193.
- Hiederer, R. and M. Köchy. 2011. Global soil organic carbon estimates of the harmonized world soil database. EUR 25225. Publication Office of the European Union. Luxembourg 79 p.
- INEGI. 1998. Información nacional sobre perfiles de suelo Versión 1.0. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI. 2004. Información nacional sobre perfiles de suelo Versión 1.2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. *In*: Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (eds). Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- IPCC. 2006. Agriculture, forestry and other land use IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *In*: Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe (eds.). National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.
- Padilla, J., J. D. Etchevers, R. C. Gomora, C. I. Hidalgo, M. Carrasco y V. Saynes. 2012. Relación entre los métodos TOC, LOI, Walkley-Black y NIR para determinar carbono en suelos. pp. 187-194. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México, México.
- Paz, F., C. Balbontín, J. Etchevers, M. Martínez y C. Ortiz. 2008. Análisis multifractal del carbono en los suelos 1. Función universal de escalamiento. *Terra Latinoamericana* 26:183-191.
- Paz, F., J. Argumedo, C. O. Cruz, J. D. Etchevers y B. de Jong. 2016. Distribución espacial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México. *Terra Latinoamericana* 34:289-310.
- Paz-Pellat, F. y A. Velázquez-Rodríguez. 2018. Base de datos de perfiles de suelos en México. *Elementos para Políticas Públicas* 2:210-235.
- Poeplau, C., C. Vos and A. Don. 2017. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *Soil* 3:61-66.
- Segura, M. A., P. Sánchez, C. A. Ortiz y M. C. Gutiérrez. 2004. Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23:21-28.
- SEMARNAT. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000 (antes NOM-021-RECNAT-2000) Norma oficial mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación del 31 de Diciembre de 2002.
- SEMARNAT-CP. 2002. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, a escala 1:250 000. Memoria Nacional. D. F., México.
- Van Reeuwijk, L. P. (ed.). 1999. Procedimientos para Análisis de Suelos, versión 1995. Traducción: Gutiérrez-Castorena, Ma. Del C., C. A. Tavares-Espinoza y C. A. Ortiz-Solorio. 1a edición en español. Especialidad de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 145 p.
- Vargas, R., D. Alcaraz-Segura, R. Birdsey, N. A. Brunsell, C. O. Cruz-Gaistardo, B. de Jong, J. Echevers, M. Guevara, D. J. Hayes, K. Johnson, H. W. Loescher, F. Paz, Y. Ryu, Z. Sanchez-Mejia and K. P. Toledo-Gutierrez. 2017. Enhancing interoperability to facility implementation of REDD+: case study of México. *Carbon Management* DOI: 10.1080/17583004.2017.1285177.