

Estimation of potential CO₂ emission in agricultural soils of two watersheds in Durango state

Estimación del potencial de emisión de CO₂ en suelos agrícolas de dos cuencas en el estado de Durango

López-Romero Lourdes L.; Bueno-Hurtado Palmira

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), km 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango, C.P. 35140. Correo-e: lopez.lucia@inifap-gob.mx (*Autor para correspondencia).

Abstract

The agricultural sector generates environmental impacts by releasing greenhouse gases, considered potential factors in global warming. Soil organic carbon has a significant impact on greenhouse gas emissions because the loss of soil organic matter results in the release of CO₂, the main gas emitted into the atmosphere. The objective of this study was to predict potential CO₂ emission from the total organic carbon (TOC) in the soil in some agricultural areas in the India Arroyo, Arroyo Cerro Gordo and Arroyo de Naitcha watersheds in Durango state, using estimates based on IPCC models. The average concentration of TOC in the study sites was 1.33 %, while potential CO₂ emission was 0.032 Gg, accounting for 1.03 % of the total emission from the soils of Durango state.

Keywords: greenhouse gases, soil organic carbon, carbon loss, IPCC.

Resumen

El sector agrícola genera impactos en el medio ambiente por la liberación de gases efecto invernadero (GEI), considerados factores potenciales para el aumento del calentamiento global. El carbono orgánico del suelo tiene una importante repercusión sobre las emisiones de GEI, debido a que la pérdida de materia orgánica del suelo repercute en la liberación de CO₂, principal gas emitido a la atmósfera. El objetivo de este trabajo fue predecir el potencial de emisión de CO₂ a partir del carbono orgánico total (COT) del suelo de algunas zonas agrícolas pertenecientes a las cuencas "Arroyo La India", "Arroyo Cerro Gordo" y "Arroyo de Naitcha" del estado de Durango, mediante estimaciones basadas en los modelos del IPCC. La concentración promedio de COT en los sitios de estudio fue de 1.33 %, mientras que el potencial de emisión de CO₂ fue de 0.032 Gg correspondiente a un 1.03 % del total de emisión de suelos del estado de Durango.

Palabras clave: gases efecto invernadero, carbono orgánico del suelo, pérdida de carbono, IPCC.

Introduction

At present, due to environmental regulations concerning agricultural activities, this sector has to adhere to new production process regimes, due to its impact on the environment; this impact can be soil erosion, soil and water pollution and greenhouse gas (GHG) emissions, among others (Sandoval et al., 2003). GHGs can be listed from highest to lowest concentration as follows: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and chlorofluorocarbons (CFC). CO₂ and CH₄ are natural gases that have always been present in the Earth's atmosphere, optimizing the temperature for development of life.

In the last 150 years, agriculture has led to a significant increase in the concentration of GHGs in the atmosphere. On a global scale, agricultural activity produces one fifth of the GHGs that cause global warming, accounting for 50 to 70 % of CH₄ and N₂O emissions and 5 % of CO₂ emissions (Cole, 1996). Deforestation, land-use change and other factors together cause an additional 14 % emission. Traditional agriculture is another factor causing the increase in CO₂ (Lal, 1997). From 1750 to 2001, the CO₂ concentration in the planet has increased by 31 %, rising from 280 to 367 ppm, probably the highest level in the last 20 million years of Earth's history. According to Mexico's National Institute of Ecology, 30.6 % of total CO₂ emissions are attributable to rural sector activities. Such emissions have contributed to the creation of the greenhouse effect, which consists of the absorption of radiation that the ground emits when heated by the Sun's rays (Fernández et al., 2008) causing global warming.

When climate change was detected, the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP) created the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 1988, which seeks to analyze relevant scientific, technical and socioeconomic information to understand the scientific elements of the risk posed by the climate change caused by human activities, its potential impacts, and the potential for adaptation and mitigation of the phenomenon. The IPCC consists of several working panels; one of them is the task force on national greenhouse gas inventories (IPCC, 2011).

The soil organic C (SOC) present in agricultural soils represents approximately 10 % of total organic C stored in all soils on the Earth's surface (Paustian et al., 1997). Despite the low proportion that it represents, SOC stored in agricultural soils has significantly contributed to the increase in the concentration of GHGs for decades. The conversion of forest lands and grasslands to arable land has led to a significant loss of organic C previously stored in the soil and the release of CO₂ to the atmosphere (Álvaro, 2010).

Introducción

En la actualidad, debido a la normatividad ambiental respecto a las actividades agrícolas, el sector se ve obligado a apegarse a los nuevos regímenes de procesos de producción, debido al impacto en el medio ambiente que esta actividad genera; dicho impacto puede ser la erosión del suelo, contaminación del suelo y agua y emisión de gases efecto invernadero (GEI), entre otros (Sandoval et al., 2003). De mayor a menor concentración los GEI son: El bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarburos (CFC's). En cuanto al CO₂ y CH₄, son gases naturales que siempre se han encontrado en la atmósfera terrestre, optimizando la temperatura para el desarrollo de la vida.

La agricultura ha llevado en los últimos 150 años un importante incremento en la concentración de GEI en la atmósfera. A escala mundial, la actividad agrícola produce la quinta parte de los GEI que provocan dicho calentamiento global, siendo el causante del 50 al 70 % de las emisiones el CH₄ y N₂O y de un 5 % las de CO₂ (Cole, 1996). La deforestación, el cambio de suelo y otros, causan otro 14 % de emisión adicional. La agricultura tradicional es otro de los factores causantes del incremento de CO₂ (Lal, 1997). Del año 1750 al 2001, la concentración de CO₂ en el planeta ha aumentado en un 31 %, al pasar de 280 a 367 ppm, siendo probablemente la mayor en los últimos 20 millones de años de la historia de la Tierra. Según el Instituto Nacional de Ecología, en México, el 30.6 % del total de las emisiones de CO₂ es atribuido a las actividades del sector rural. Dichas emisiones, han contribuido en la formación del conocido efecto invernadero, el cual consiste en la absorción de la radiación que el suelo emite al ser calentado por los rayos solares (Fernández et al., 2008) provocando el calentamiento global.

Cuando se detectó el problema del cambio climático, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el año de 1988, el cual tiene la función de analizar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. El IPCC consta de varios grupos de trabajo, uno de ellos es el equipo especial sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2011).

El C orgánico del suelo (COS) presente en los suelos agrícolas, representa aproximadamente el 10 % del total del C orgánico almacenado en todos los suelos de la superficie terrestre (Paustian et al., 1997). A pesar de

Organic C losses are due to the decomposition of soil organic matter (SOM) by microorganisms and leaching of soluble organic compounds. The decomposition of SOM by soil heterotrophic microorganisms generates CO₂ as the main byproduct. This GHG generated is stored in the porous space of the soil and is released, to a greater or lesser extent, from the soil surface into the atmosphere. This SOM decomposition process is controlled by a set of factors, such as: soil climate conditions (temperature, moisture), biochemical composition of organic matter, nutrient availability, and soil alteration (Paustian et al., 1997). Therefore, small variations in SOC stocks directly alter CO₂ content in the atmosphere (Weihermuller et al., 2011). Nationwide, there is plenty of information on carbon fluxes in the soil. Sandoval (2003) and Álvaro (2010) have studied the dynamics of carbon sequestration in agricultural systems and its effect in global warming; however, there is a lack of information on carbon loss through CO₂ emission. The aim of this study is to predict potential CO₂ emission from total organic carbon (TOC) in the soil of two agricultural areas within the Arroyo La India, Arroyo Cerro Gordo and Arroyo de Naitcha watersheds in Durango state, using estimations based on IPCC models.

Materials and methods

Soil samples were collected in two agricultural areas, one in San Luis Cordero County (Figure 2) and the other in Santo Domingo County (Figure 3), located in Durango state, Mexico; these sites are located within the Arroyo India, Arroyo Cerro Gordo and Arroyo de Naitcha watersheds (Figure 1). We selected 12 plots in San Luis del Cordero County and 12 plots in Santo Domingo County; a soil sample was collected from each plot, following the criteria and recommendations specified by NOM-021-SEMARNAT-2000, for a total of 24 soil samples.

The laboratory work was conducted at the INIFAP CENID-RASPA facilities located in the city of Gómez Palacio, Dgo. Soil samples were submitted to the drying and milling process, in order to subsequently determine the texture, total carbonate content and total organic carbon. The TOC of the soil was determined by the wet combustion method by Walkley & Black (1934). This technique is used to quantify easily oxidizable carbon (EOC), which was transformed to TOC using the general correction factor of 1,298, recommended by the NOM-021-SEMARNAT-2000.

For the quantification of potential CO₂ emission, Greenhouse Gas Inventory software, version 1.3.1., was used. This software works on the Microsoft Excel platform, using the methodology referred to in the revised 1996 IPCC guidelines.

la baja proporción que representa, el COS almacenado en los suelos agrícolas ha tenido una importante repercusión en el incremento de la concentración de GEI durante décadas. La conversión de tierras forestales y pastos a superficie arable ha supuesto una pérdida significativa del C orgánico previamente almacenado en el suelo y una liberación a la atmósfera de CO₂ (Álvaro, 2010). Las pérdidas de C orgánico se deben a la descomposición de la materia orgánica del suelo (MOS) por los microorganismos y la lixiviación de compuestos orgánicos solubles. La descomposición de la MOS por los microorganismos heterótrofos del suelo genera como principal subproducto el CO₂. Este GEI generado se almacena en el espacio poroso del suelo y se va liberando, en mayor o menor medida, desde la superficie del suelo hacia la atmósfera. Este proceso de descomposición de la MOS está controlado por una serie de factores, tales como: las condiciones climáticas del suelo (temperatura, humedad), la composición bioquímica del material orgánico, la disponibilidad de nutrientes y, por último, la alteración del suelo (Paustian et al., 1997). Por lo tanto, pequeños cambios en los almacenes de COS, afectan directamente el contenido de CO₂ en la atmósfera (Weihermuller et al., 2011). A nivel nacional, existe amplia información sobre los flujos de carbono en el suelo. Sandoval (2003) y Álvaro (2010) han estudiado la dinámica del secuestro del carbono en los sistemas agrícolas y su efecto con respecto al calentamiento global, sin embargo se carece de información relativa al tema de la pérdida de carbono mediante la emisión de CO₂. El presente estudio tiene como objetivo predecir el potencial de emisión de CO₂ a partir del carbono orgánico total (COT) del suelo de dos zonas agrícolas pertenecientes a las cuencas “Arroyo La India”, “Arroyo Cerro Gordo” y “Arroyo de Naitcha” del estado de Durango, mediante estimaciones basadas en los modelos del IPCC.

Materiales y métodos

La recolección de muestras de suelo se realizó en dos zonas agrícolas correspondientes a los sitios de San Luis del Cordero (Figura 2) y Santo Domingo (Figura 3) ubicados en el estado de Durango, México; dichos sitios se localizan dentro de las cuencas “Arroyo La India”, “Arroyo Cerro Gordo” y “Arroyo de Naitcha” (Figura 1). Se seleccionaron 12 parcelas para el municipio de San Luis del Cordero y 12 parcelas para el municipio de Santo Domingo y en cada una de las parcelas se realizó la recolección de una muestra de suelo, siguiendo los criterios y recomendaciones especificadas por la NOM-021-SEMARNAT-2000, obteniendo un total 24 muestras de suelo.

El trabajo de laboratorio se realizó en las instalaciones del INIFAP CENID-RASPA ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. Las muestras de suelo se sometieron al

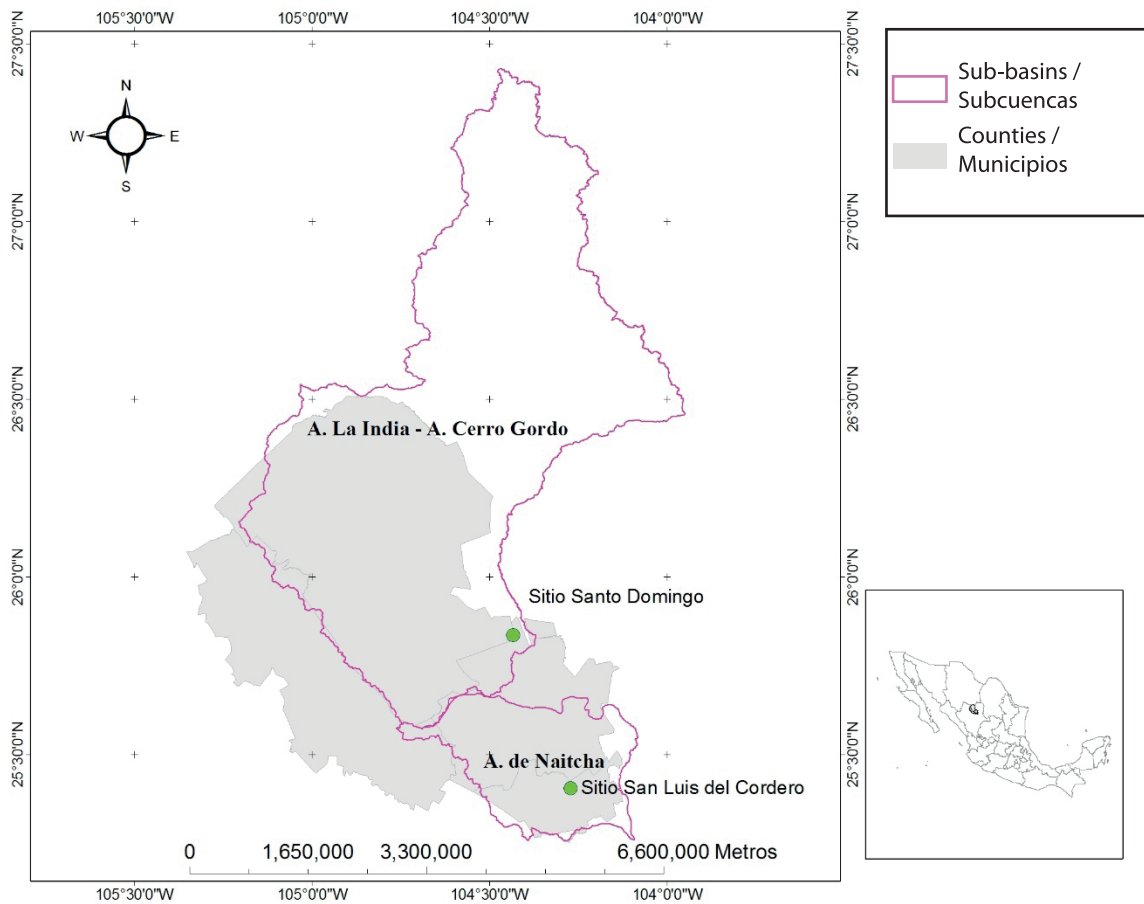


Figure 1. Location of the study sites.

Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio.

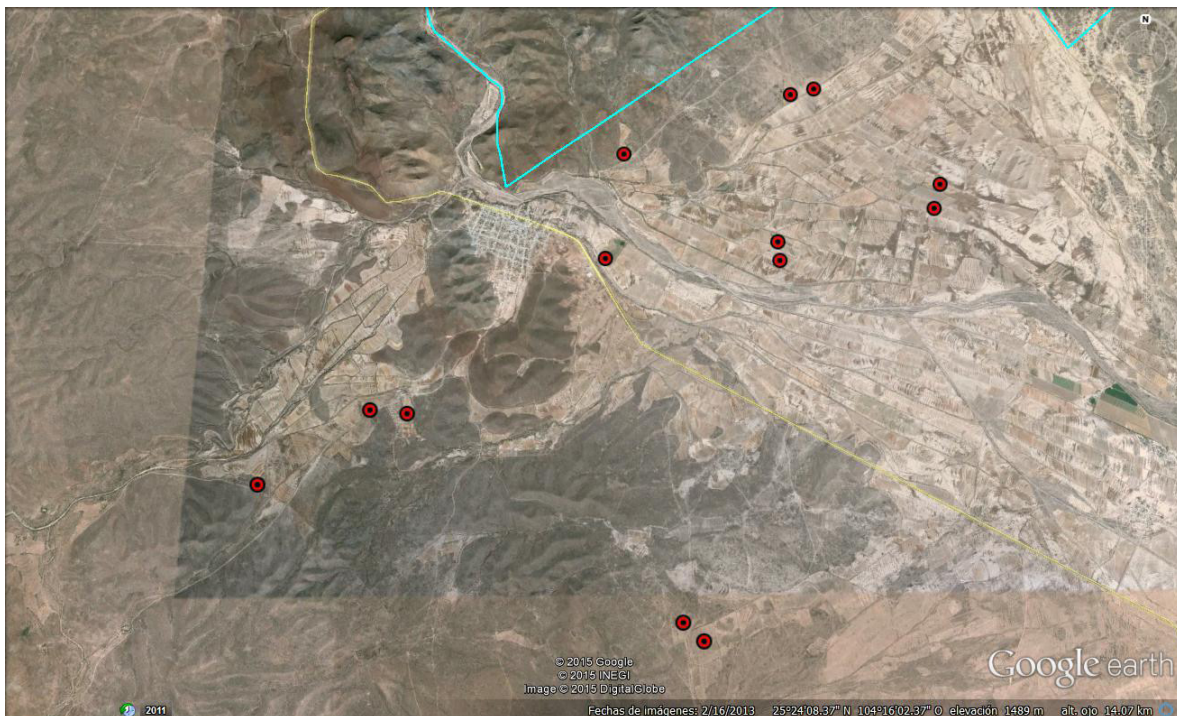


Figure 2. Location of agricultural plots sampled in San Luis del Cordero County, Durango.

Figura 2. Ubicación de las parcelas agrícolas muestreadas en el municipio de San Luis del Cordero, Dgo.

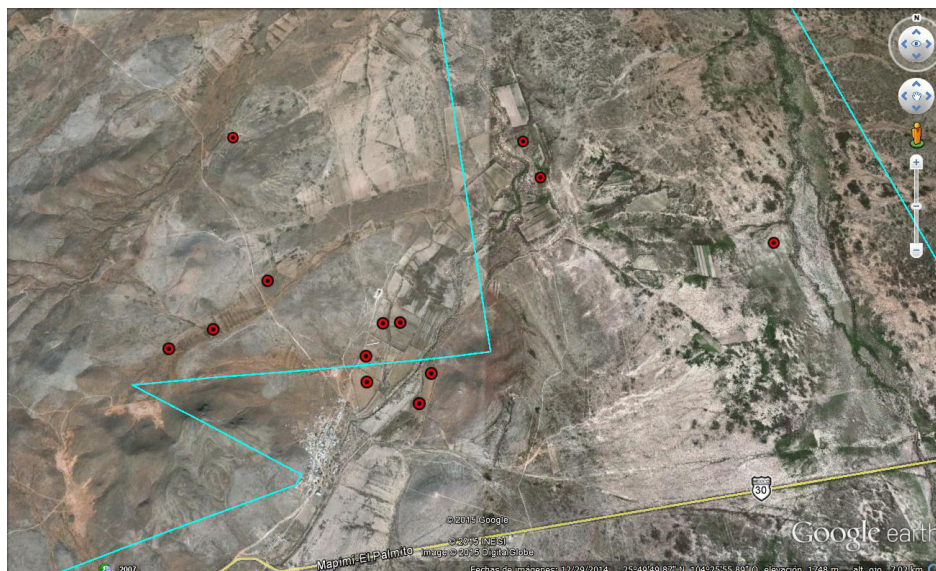


Figure 3. Location of agricultural plots sampled in Ejido de Santo Domingo, Durango.

Figura 3. Ubicación de las parcelas agrícolas muestreadas en el Ejido de Santo Domingo, Dgo.

According to this methodology, the potential CO₂ emission is calculated on the basis of the following equation:

$$\text{CO}_2 = (\text{COT} \cdot 50) \cdot \left(\frac{44}{12} \right)$$

where:

CO₂ is the potential CO₂ emission in Gg; COT is the total organic carbon expressed in Tg; 44/12 is the relationship between the molecular weight of carbon dioxide and the atomic weight of carbon; the constant “- 50” is a conversion factor indicated by the IPCC.

Results and discussion

The textural classification, the TOC content and the estimate of potential CO₂ emission in each of the plots analyzed are shown in Table 1. The total carbonate content is excluded from the presentation of the results, because the concentrations obtained are lower than the detection limit of the method used.

As can be seen, the percentage of TOC in the plots analyzed ranges from 0.31 to 1.77, with an average of 1.19 % TOC, while the potential CO₂ emission calculated ranges from 0.001 to 0.008 Gg·ha⁻¹·yr⁻¹ of CO₂, with 0.006 Gg·ha⁻¹·yr⁻¹ on average; in this regard, Zhang et al. (2007) quantified CO₂ emission by incubation for 114 days in soils from three different rice-producing areas in China, obtaining a TOC content of 1.74, 2.43 and 1.77 %, with emission of 2.88 x 10⁻⁷, 4.27 x 10⁻⁷ and 3.44 x 10⁻⁷ Gg, respectively. Clearly, the period of study influences the final result of both studies.

proceso de secado y molienda, para posteriormente realizar la determinación de textura, contenido de carbonatos totales y carbono orgánico total. El COT del suelo se determinó mediante combustión vía húmeda por Walkley & Black (1934). Con esta técnica se cuantifica el carbono fácilmente oxidable (CFO), el cual fue transformado a COT utilizando el factor de corrección general de 1,298, recomendado por la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Para la cuantificación del potencial de emisión de CO₂, se empleó el programa Greenhouse Gas Inventory Software versión 1.3.1., el cual trabaja sobre la plataforma Microsoft Excel, usando la metodología referida en las Directrices del IPCC en su versión revisada en 1996.

De acuerdo a esta metodología, el potencial de emisión se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_2 = (\text{COT} \cdot 50) \cdot \left(\frac{44}{12} \right)$$

dónde:

CO₂ es el potencial de emisión de CO₂ en Gg; COT es el carbono orgánico total expresado en Tg; 44/12 es la relación entre el peso molecular del bióxido de carbono y peso atómico del carbono; la constante “- 50” es un factor de conversión indicado por el IPCC.

Resultados y discusión

La clasificación textural, el contenido de COT y la estimación del potencial de emisión de CO₂ en cada

In other research, Bueno (2011) estimated that CO₂ emission per land use in Durango state is 63.44 Gg·yr⁻¹, covering the 1993-2010 period, with 95 % uncertainty, using the same software as in this study for the emission calculation. On the basis of this estimate, it is estimated that, according to the total area of the plots, the potential emission calculated for this research would be 1.03 % of the total CO₂ emission for the Durango state.

una de las parcelas analizadas se muestran en el Cuadro 1. El contenido de carbonatos totales se excluye de la presentación de los resultados, debido a que las concentraciones obtenidas son menores al límite de detección del método utilizado.

Como puede observarse, el porcentaje de COT en las parcelas analizadas, varía de 0.31 a 1.77, con un promedio de 1.19 % de COT, mientras que el potencial de emisión

Table 1. Potential CO₂ emission in each of the study plots.

Cuadro 1. Potencial de emisión de CO₂ en cada una de las parcelas de estudio.

Site/ Sitio	Plot/ Parcela	Latitude/ Latitud	Longitude/ Longitud	Area (ha)/ Superficie (ha)	Texture/Textura	Total organic carbon (%)/ Carbono orgánico total (%)	CO ₂ emission (Gg)/ Emisión de CO ₂ (Gg)
Santo Domingo	P-01	25° 49' 33.55"	104° 26' 22.27"	3.731	Sandy clay loam/ Franco arcillo arenosa	1.6616	0.008
	P-02	25° 49' 28.96"	104° 26' 21.40"	2.558	Loamy sand/Areno francosa	0.62304	0.003
	P-03	25° 49' 41.94"	104° 26' 18.97"	2.206	Sandy loam/Franco arenosa	0.98648	0.005
	P-04	25° 49' 42.13"	104° 26' 15.20"	3.777	Sandy loam/Franco arenosa	0.98648	0.005
	P-05	25° 49' 30.80"	104° 26' 6.60"	1.29	Loamy sand/Areno francosa	0.31152	0.001
	P-06	25° 49' 49.68"	104° 26' 9.20"	1.491	Loamy sand/Areno francosa	0.88264	0.004
	P-07	25° 49' 51.27"	104° 26' 51.36"	1.486	Sandy loam/Franco arenosa	1.58356	0.008
	P-08	25° 50' 18.06"	104° 25' 40.04"	1.073	Clay loam/Franco arenosa	1.28502	0.006
	P-09	25° 50' 3.46"	104° 24' 41.33"	10.254	Clay/Arcillosa	0.98648	0.005
	P-10	25° 49' 39.13"	104° 26' 59.98"	0.544	Sandy loam/Franco arenosa	0.88264	0.004
	P-11	25° 49' 35.17"	104° 27' 9.64"	0.559	Sandy loam/Franco arenosa	0.98648	0.005
	P-12	25° 50' 28.34"	104° 27' 1.58"	0.4	Silt/Franca	1.77826	0.008
	P-13	25° 23' 44.76"	104° 17' 22.44"	7.098	Clay loam/Franco arenosa	1.33694	0.006
	P-14	25° 22' 21.20"	104° 15' 12.10"	11.108	Clay loam/Franco arenosa	1.24608	0.006
San Luis del Cordero	P-15	25° 22' 27.00"	104° 15' 19.70"	5.256	Sandy clay loam/ Franco arcillo arenosa	1.4927	0.007
	P-16	25° 26' 7.80"	104° 14' 26.10"	4.367	Sandy clay loam/ Franco arcillo arenosa	0.88264	0.004
	P-17	25° 26' 4.40"	104° 14' 36.17"	4.26	Sandy clay loam/ Franco arcillo arenosa	0.88264	0.004
	P-18	25° 23' 45.60"	104° 17' 39.40"	6.334	Sandy loam/Franco arenosa	1.7523	0.008
	P-19	25° 23' 17.90"	104° 18' 25.70"	7.192	Sandy loam/Franco arenosa	0.62304	0.003
	P-20	25° 25' 15"	104° 14' 32"	6.543	Silty clay loam/ Franco arcillo arenosa	1.63548	0.008
	P-21	25° 24' 54.06"	104° 14' 40.40"	5.311	Silt/Franca	1.25906	0.006
	P-22	25° 25' 52"	104° 13' 7"	7.201	Clay loam/Franco arenosa	1.63548	0.008
	P-23	25° 25' 27.32"	104° 13' 27.30"	5.723	Clay/Arcillosa	1.31098	0.006
	P-24	25° 24' 37"	104° 15' 50"	9.629	Clay loam/Franco arenosa	1.67442	0.008
Total				116.858			0.137

Figure 4 shows the relationship between the TOC of the soil and potential CO₂ emission. It can be seen that TOC content is proportional to potential CO₂ emission ($R^2 = 1$). Due to the lack of information at the regional level, the result cannot be comparable, which limits the ability to compare the results with similar studies.

de CO₂ calculado varía de 0.001 a 0.008 Gg·ha⁻¹·año⁻¹ de CO₂, con un promedio de 0.006 Gg·ha⁻¹·año⁻¹; al respecto, Zhang et al. (2007) cuantificaron la emisión de CO₂ mediante incubación durante 114 días de suelos procedentes de tres zonas distintas productoras de arroz en China, cuyo contenido de COT fue de 1.74,

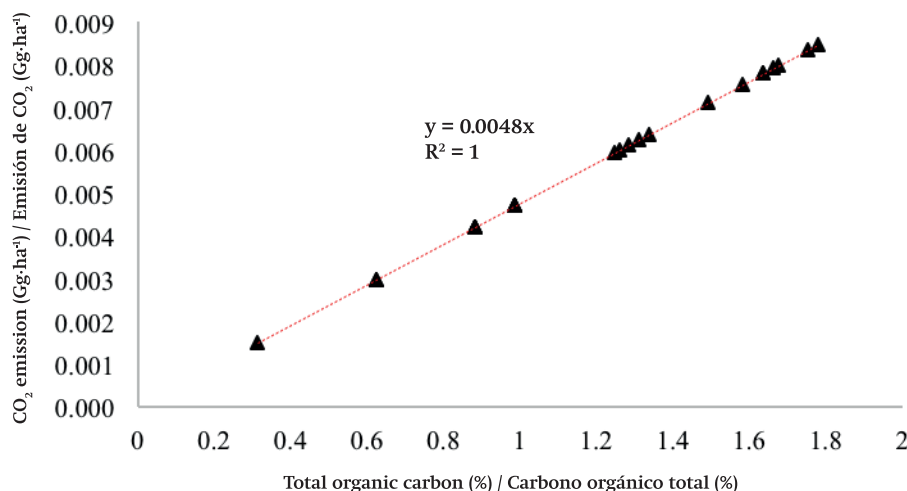


Figure 4. Relationship between total organic carbon in the soil and potential CO₂ emission.

Figura 4. Relación entre carbono orgánico total del suelo y potencial de emisión de CO₂.

Conclusions

- The use of IPCC-based methodologies for the calculation of CO₂ emission benefits the projection of potential CO₂ emission in the soils of Durango state.
- With the quantification of the total organic carbon contained in the soil through chemical determination, it is feasible to determine the concentration of CO₂ emitted into the atmosphere.
- The TOC content of the soil is proportional to the potential CO₂ emission in San Luis del Cordero and Santo Domingo counties.
- The potential CO₂ emission from the study sites accounts for 1.03 % of the total emission from soils in Durango state.
- It is recommended to perform *in situ* measurements and soil incubations wherever actual CO₂ emission flux values are obtained and thus eliminate the uncertainties that the estimate could have.

2.43 y 1.77 %, con emisiones de 2.88×10^{-7} , 4.27×10^{-7} y 3.44×10^{-7} Gg, respectivamente. Claramente, el periodo de estudios influye en el resultado final de ambas investigaciones.

En otro trabajo, Bueno (2011) estimó que la emisión de CO₂ por uso de suelo en el estado de Durango es de 63.44 Gg·año⁻¹, comprendidos en el periodo de 1993 a 2010, con incertidumbre del 95 %, empleando el mismo software para el cálculo de la emisión de este estudio. Tomando como base dicha estimación, se calcula que de acuerdo al área total de las parcelas, el potencial de emisión de la presente investigación correspondería al 1.03 % del total de emisión de CO₂ para el estado de Durango.

En la Figura 4 se observa la relación que existe entre el COT del suelo y el potencial de emisión de CO₂. Puede observarse que el contenido de COT es proporcional al potencial de emisión de CO₂ ($R^2 = 1$). Debido al déficit de información en el tema a nivel regional, el resultado no puede ser comparable, lo que limita la contraposición de resultados con estudios similares.

End of English version

References

- Álvarez, J.; Cantero, C.; López, M. V.; Arrué, J. L. (2010). Fijación de Carbono y reducción de emisiones de CO₂. Agricultura de Conservación: Aspectos agronómicos y medioambientales. Eumedra (eds.). España. pp. 89-96.
- Bueno, P. (2012). Trabajo de tesis de maestría: Cuantificación de la emisión y captura de GEI en el sector USCUSyS mediante la metodología del IPCC en el estado de Durango. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.
- Cole, C. V. (1996). Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. Chapter 23. pp. 745-771.
- Fernández, R. O.; Bojollo, R. C. (2008). Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO₂ en un suelo arcilloso de la Vega de Carmona. Carel: Carmona: Revista de estudios locales, (6), 2339-2354.
- IPCC. (2011). Sobre nosotros. Fecha de acceso: 3/05/2015. Disponible en: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml#1
- IPCC. (1996). Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. Soil Till. Res., 43: 81 – 107.
- Norma Oficial Mexicana (2000). NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Paustian, K.; Collins, H. P.; Paul, E. A. (1997). Management controls on soil carbon. In: Paul, E. A., Paustian, K., Elliot, E. T., Cole, C. V. (Eds) Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America (pp 15-49). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Sandoval, Estrada, M.; Stolpe, Lau, N.; Zagal, Venegas, E.; Mardones, Flores, M.; Junod, Montano, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su

Conclusiones

- La utilización de las metodologías basadas en el IPCC para el cálculo de emisión de CO₂ benefician la proyección del potencial de emisión de CO₂ en los suelos del estado de Durango.
- Con la cuantificación del carbono orgánico total contenido en los suelos mediante determinación química, es factible determinar la concentración de CO₂ emitido a la atmósfera.
- El contenido de COT del suelo es proporcional al potencial de emisión de CO₂ en los municipios de San Luis del Cordero y Santo Domingo.
- El potencial de emisión de CO₂ de los sitios de estudio corresponden a un 1.03 % del total de emisión de suelos del estado de Durango.
- Se recomienda realizar mediciones *in situ* e incubaciones de suelo donde se obtengan los valores de flujos reales de emisión de CO₂ y de esta forma eliminar las incertidumbres que la estimación pudiera tener.

Fin de la versión en español

- importancia con el calentamiento global. The Carbon Sequestration in Agriculture and its Importance in Global Warming. Theoria, . 65-71.
- Walkley, A.; Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Weihermüller, L.; Lamers, M.; Reichstein, M. 2011. Introduction to production, transport, and emission of trace gases from the vadose zone to the atmosphere. Vadose Zone Journal. Vol. 10 pp. 151-155
- Zhang, X.; Li, L.; Pan, G. 2007. Topsoil organic carbon mineralization and CO₂ evolution of three paddy soils from South China and the temperature dependence. Journal of Environmental Sciences. 19:319-326