

SUELO

ARTÍCULO ORIGINAL

Simulación de la dinámica del carbono orgánico del suelo frente al cambio climático en Matanzas

Simulation of soil organic carbon spatial dynamic for climatic change effect in Matanzas province

M.Sc. Maribel González Hidalgo¹; Dr.C. Javier Arcia¹; Ing. Elier Pérez Herrera¹; Dr.C. Teresa López Seijas^{II}

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Boyeros, La Habana, Cuba.

^{II} Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Con el objetivo de representar en el espacio, para la provincia de Matanzas, las variaciones del COS (carbono orgánico del suelo) influidas por el cambio climático pronosticado para la región occidental de Cuba, se tomaron como base dos escenarios simulados con el modelo de dinámica de carbono RothC26.3, parametrizado y validado con experimentos de larga duración plantados en un suelo Ferralsol, con caña de azúcar desde 1981 hasta 2010 en Jovellanos, provincia Matanzas, que se caracteriza por presentar precipitaciones anuales entre 1.400 y 1.600 mm, temperatura media anual de $24,1\pm 2,3^{\circ}\text{C}$, evaporación media anual de $1.381,8\pm 27,8$ mm, con un período poco lluvioso de noviembre a abril y otro lluvioso, que se extiende de mayo a octubre. Las simulaciones de COS del modelo correspondientes al período 1981-2010 en condiciones del clima actual y el cambio climático pronosticado para 2050, combinadas con un SIG, dieron como resultado que la segunda tendrá una repercusión más negativa sobre el COS comparado con el clima actual, verificado en la reducción de las áreas con categorías de carbono *Rico* y *Muy rico* en 80 años, representadas en el espacio mediante el método de *Voronoi*.

Palabras clave: Cuba, caña de azúcar, materia orgánica del suelo, gases de efecto invernadero, modelos de dinámica de carbono.

ABSTRACT. With the aim to representing the variations of SOC (soil organic carbon) spatially, influenced by climate change predicted for the western region of Cuba at 2050 year, were taken two scenarios simulated with carbon dynamics model RothC26.3, parameterized and validated with long-term experiments in a Ferralsol planted with sugarcane crop from 1981 to 2010 in Jovellanos, Matanzas province. The area is characterized by annual rainfall between 1.400 and 1.600 mm, monthly average temperature of $24,1\pm 2,3^{\circ}\text{C}$, average annual evaporation $1381,8\pm 27,8$ mm with a dry season from November to April and a rainy period from May to October. Model simulation of COS for the period 1981-2010 belonging to current climate and climate change predicted for 2050, combined with a GIS, resulted that climatic change will have a more negative impact on the COS compared to the current climate, verified in the reduction of areas *Rico* and *Muy Rico* carbon categories in 80 years, spatially represented by *Voronoi* method.

Keywords: Cuba, sugarcane, soil organic matter, greenhouse gases, carbon dynamic models

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) actúa en la fertilidad de los suelos y de manera decisiva en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, por lo que su pérdida repercute negativamente en la producción agrícola (Lal, 2007). En su constitución está presente de forma estable el carbono (C), razón por la que ambos términos se utilizan indistintamente en la literatura (Martínez *et al.*, 2008).

Tradicionalmente en Cuba, los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, han sido manejados de manera intensiva,

lo que constituye una de las causas fundamentales de pérdidas de carbono orgánico del suelo (COS), como lo constataron en otras regiones, Lal (2007); Cerri *et al.* (2007); Sá *et al.* (2011); Sá *et al.* (2015), las que varían en dependencia del sistema de manejo utilizado y de las condiciones climáticas (Lal, 2009).

En consecuencia, los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, durante el período de replanteo (cada seis o siete años, aproximadamente), pierden parte del C almacenado en todo un ciclo de cosechas, razón por la que se ha observado una

relación positiva entre la labranza del suelo y la mineralización del C (Thorburn *et al.*, 2012).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado dramáticamente en las últimas décadas, influidas en gran medida, por el manejo intensivo del suelo para la producción de alimentos (Lal, 2004), generando señales de alarma por su relación con el cambio climático global (IPCC, 2007).

En Cuba se prevén cambios importantes en los patrones de precipitaciones y temperaturas en los próximos años (INSMET, 2012), que sólo con la utilización de herramientas integradoras de la relación suelo-planta-atmósfera, se podrá pronosticar su repercusión en los cambios de la calidad del suelo y sobre esa base, tomar las medidas pertinentes para mitigar sus efectos.

En la actualidad la caña de azúcar en Cuba, ocupa más de 700 000 ha, por lo que cualquier alteración que se produzca en los patrones climáticos o prácticas de manejo inadecuadas, repercutirá en la calidad de los suelos y por consiguiente, en su sostenibilidad.

La FAO favorece el desarrollo, perfeccionamiento y aplicación de modelos predictivos en los cuales se encuentra, como un punto vital, el secuestro o emisión de carbono (Ponce-Hernández *et al.*, 2004), donde un componente importante es su simulación.

El modelo de dinámica de carbono RothC, en su última versión (26,3) ha sido ampliamente utilizado tanto para la simulación de los efectos de prácticas de manejo como de cambio climático sobre la MOS¹; (Grace *et al.*, 2006; Farina *et al.*, 2013).

El modelo RothC fue originalmente desarrollado y parametrizado para estudiar el recambio del carbono de la capa cultivable del suelo, en experimentos de larga duración de Rothamsted, Inglaterra (Jenkinson y Ranyer, 1977) y a lo largo de su historia, ha sido probado en un rango de suelos y condiciones climáticas diferentes de manera exitosa, incluyendo los tropicales y templados (sub-trópico húmedo, mediterráneo y marítimo) (Coleman *et al.*, 1997; Falloon y Smith, 2002; Skjemstad *et al.*, 2004; Ponce-Hernández *et al.*, 2004; Zimmermann *et al.*, 2007; Guo *et al.*, 2012).

Uno de los valores agregados de los modelos de dinámica de carbono lo constituye la representación espacial de sus salidas. De este modo, se tiene una idea de los cambios experimentados en la variable en un rango de tiempo apreciable.

Sin embargo, en Cuba no abundan los trabajos que abordan la representación espacial de salidas de modelos, como herramienta para la toma de decisiones para un mejor uso de la tierra, siendo el objetivo de este trabajo representar en el espacio las variaciones del COS en un suelo Ferralítico rojo en un período

de 70 años, influido por el cambio climático pronosticado para la región occidental de Cuba, simulado mediante el modelo de dinámica de carbono RothC26.3, como instrumento para la toma de decisiones.

MÉTODOS

El estudio tomó como base: Escenario 1. la salida de carbono orgánico del suelo del modelo RothC26.3 simulada entre 1980 y 2050, obtenidas con el clima observado entre 1980 y 2010 (clima actual), en áreas agrícolas de la Estación Experimental Antonio Mesa de Jovellanos, provincia Matanzas, ubicada entre los 22°45'0" N y 81°30'0" O, en experimentos plantados con caña de azúcar para el monitoreo del contenido de carbono en la capa cultivable del suelo (0-20 cm) durante 30 años, sin fertilizantes químicos ni orgánicos y en condiciones de secano y Escenario 2. La misma salida del modelo entre 1980 y 2050 (ambos inclusive), pero transformando los datos del clima observado, con los pronósticos hechos por INSMET (2012), de acuerdo con información de la Tabla 1.

TABLA 1. Pronóstico de cambios en las precipitaciones y temperaturas medias mensuales en la región occidental de Cuba para el año 2050 (adaptado de INSMET, 2012)

Variable	Pronóstico 2050	
	Época lluviosa	Época menos lluviosa
Precipitaciones (%)	-50,00	-20,00
Temperatura (°C)	+1,40	+2,00

Área se caracteriza por presentar precipitaciones anuales en el rango de 1.400 a 1.600 mm, una evaporación media anual de 1381,8±27,8 mm y una temperatura media anual de 24,1±2,3°C, con un período poco lluvioso de noviembre a abril, donde la evaporación excede las precipitaciones y otro lluvioso con un comportamiento a la inversa, de mayo a octubre.

Descripción de los escenarios

Escenario 1. Simulación del COS desde 1980 hasta 2050 influido por el clima observado (temperatura media del aire mensual-°C y precipitaciones medias mensuales-mm) entre 1981 y 2010 (clima actual) (Tabla 1).

Escenario 2. Simulación del COS desde 1980 hasta 2050 influido donde el clima observado (Tabla 2) se modificó de acuerdo con el clima pronosticado para 2050 por INSMET (2012) para la región occidental de Cuba.

TABLA 2. Valores medios de las variables climáticas observadas en el período 1981-2010

VARIABLE	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Precipitaciones (mm)	40,4	43,1	50,8	72,5	193,0	265,8	206,1	199,2	224,8	152,4	56,7	31,5
Temperatura media del aire (°C)	20,1	21,7	22,8	23,9	25,6	26,3	26,8	26,8	26,2	25,2	22,7	21,8
Evaporación (mm)	4,2	5,2	6,7	7,8	7,3	5,9	6,3	5,9	5,4	4,8	4,2	4,0

¹ CHARRO, E.; MOYANO, A.; CIRIA, P. Simular los efectos sobre el suelo agrícola según su manejo y el cambio climático mediante el modelo Roth-C. VII Congreso SEAE Zaragoza 2006. No. 66. 1-7 p., 2006.

Método utilizado para la representación de escenarios influidos por el clima actual y el cambio climático pronosticado para 2050

La salida del modelo RothC26.3² (correspondiente al COS del período 1981-2010 en condiciones del clima actual y el cambio climático pronosticado para 2050), los datos de COS determinado por el método de Wakley y Black³, correspondientes a 120 perfiles de suelo Ferralítico rojo, dedicados a caña de azúcar en condiciones de producción y localizados en las siete empresas azucareras de la provincia Matanzas, del mapa 1:25000⁴ y un Sistema de Información Geográfica (SIG⁵, fueron combinados para representar el impacto espacio-temporal de los dos escenarios descritos.

La representación espacial se realizó por el método de Voronoi (vecino más cercano o polígonos de Thiessen) (Mapinfo, 2010), utilizando las ecuaciones obtenidas de la simulación del COS hasta 2050 en ambos escenarios, a partir de su bifurcación en la Figura 1.

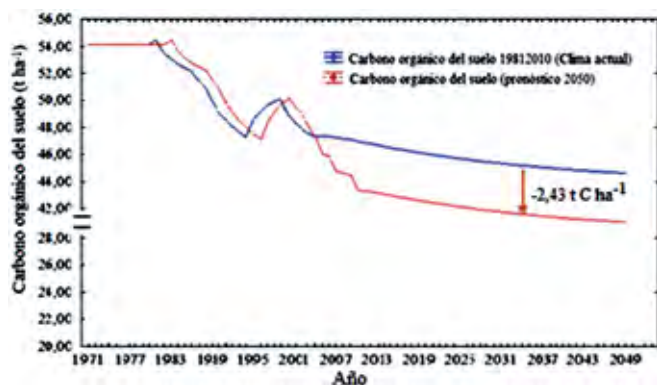


FIGURA 1. Simulación del COS bajo los efectos del clima actual y el cambio climático pronosticado en la región occidental de Cuba para 2050.

Escenario 1 (clima actual): $COS = 47,7376 - 0,108(\text{año}) + 0,0009(\text{año})^2$.

Escenario 2 (pronóstico 2050): $COS = 47,9968 - 4,2946 \cdot \log(\text{año})$.

Para determinar si los datos de COS obtenidos al nivel experimental, eran extrapolables a los del mapa 1:25000, se creó un semivariograma, que se ajustó a un modelo esférico, que perdió la estructura espacial a los 1500 m, calculado mediante el sistema Vertical Mapper⁶.

Los datos climáticos de precipitaciones y temperatura mensual medias, fueron obtenidos de la media de tres estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia Matanzas y las categorías de COS utilizadas (expresadas en $t C ha^{-1}$) fueron las propuestas por Balmaseda y Ponce de León (2002) en la evaluación preliminar de aptitud física de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en Cuba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación espacial del COS en la provincia Matanzas con la influencia del clima actual y la proyección hecha por INSMET (2012) para 2050, respectivamente, tomando como base el COS de la capa cultivable de los perfiles que conformaron el mapa de suelos 1:25 000 en la década del 80, se reflejan en las Figuras 2 y 3.

Si los pronósticos de INSMET (2012) relacionados con las variaciones climáticas, no se cumplieran y el clima continuara como el actual (1981-2010), la situación del COS en la provincia Matanzas en el año 2050, será como se representa en la Figura 1, donde no se reflejan cambios importantes de esta variable en el tiempo (80 años).

Sin embargo, si los patrones climáticos pronosticado para el año 2050 por INSMET (2012) se cumplieran, habrá una pérdida de carbono apreciable en los suelos de la provincia Matanzas, debido a la disminución del COS, posiblemente por la intensificación de los procesos de descomposición, causados por las altas temperaturas pronosticadas (+1,4 y +2,0°C por encima de la media actual), en comparación con el clima actual y que no podrán ser contrarrestadas con la producción de biomasa debido a la reducción prevista en los niveles pluviométricos (Figura 2).

A pesar de que los bajos niveles pluviométricos previstos para 2050, no son los más adecuados para una descomposición de la MOS, todo parece indicar que este proceso se verá muy influido por las altas temperatura y que la falta de humedad tendrá su efecto negativo en la producción de biomasa, con repercusión sobre el contenido de carbono y su balance en el suelo.

Para un clima más cálido, como el que se prevé para 2050 en la región occidental de Cuba, será necesario buscar alternativas que contribuyan a potenciar el proceso fotosintético para contrarrestar las pérdidas del COS por incentivación de la respiración, que de por sí, en condiciones tropicales constituyen un problema⁷, debido a que la fertilidad de los suelos es dependiente del contenido de materia orgánica del suelo en condiciones tropicales (Alves *et al.*, 2006).

Estas observaciones coinciden con las reportadas por Trumbore (1997), quien previó un descenso en los niveles de COS producto del calentamiento global y en consecuencia, una mayor emisión de CO_2 a la atmósfera, derivado del aumento de la velocidad de descomposición de la MOS por los microorganismos. Similar comportamiento fue publicado por Grace *et al.* (2006) en Australia, quienes utilizando un modelo simple de dinámica de C, pronosticaron pérdidas considerables en escenarios de alta emisión de CO_2 , concluyendo que los suelos se comportarán como fuentes emisoras de CO_2 .

² COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S.: ROTH26-3. A model for the Turnover of Carbon in Soil. Model Description and User's Guide. Lawes Agricultural Trust, Harpenden, UK. Coleman K. y Jenkinson D. S. ROTH26-3. A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. November 1999 issue (modified August 2008). Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, 1999.

³ GONZÁLEZ, H. MARIBEL; ARCIA, P. J., MARIO E. DE LEÓN, ANTONIO FERNÁNDEZ, R. JUSTIZ, MACHADO, I. (en proceso). Parametrización del modelo de dinámica de carbono RothC26.3 en un suelo Ferralítico Rojo en las condiciones de Cuba.

⁴ DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES: Mapa de Suelos escala 1:25000. Ministerio de la Agricultura. 1ra. Edición ICGC, 1983.

⁵ MAPINFO PROFESSIONAL. Version 10.0. Release Build 26. Copyright © 2009 Pitney Bowes Software Inc. One Global View, Troy, New York, 2010.

VERTICAL MAPPER. Vertical Mapper, Spatial analysis and display software. Version 3.0. Northwood Technologies Inc. 43 Auriga Drive, Ontario, Canada. 2001.

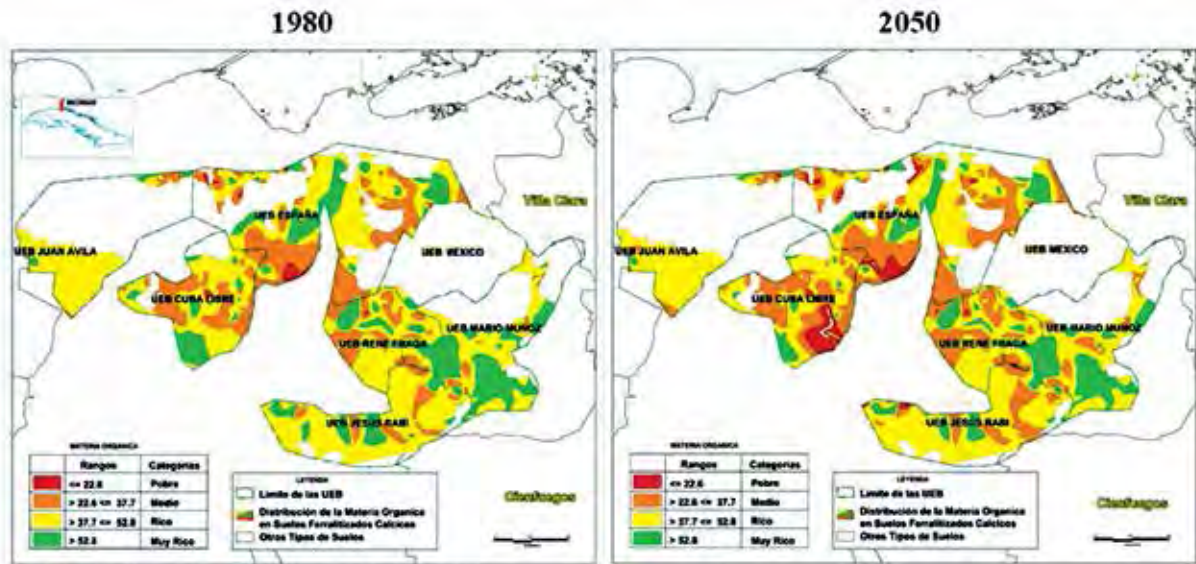
⁶ VERTICAL MAPPER. Vertical Mapper, Spatial analysis and display software. Version 3.0. Northwood Technologies Inc. 43 Auriga Drive, Ontario, Canada. 2001.

⁷ PRIMAVESI, A.: Manejo Ecológico do solo. A agricultura em regiões tropicais, 533pp., Ed. Nobel, São Paulo, Brasil. Segunda Edición, 2002.

Conocer el comportamiento del COS a mediano plazo, permite reflexionar hacia la búsqueda de alternativas para la toma de decisiones relacionadas con la conveniencia de adoptar estrategias de manejo que contribuyan a incrementar o mantener los niveles actuales de C en aquellas zonas donde se pronostican las mayores afectaciones, en aras de mantener la fertilidad del suelo para la producción de alimentos.

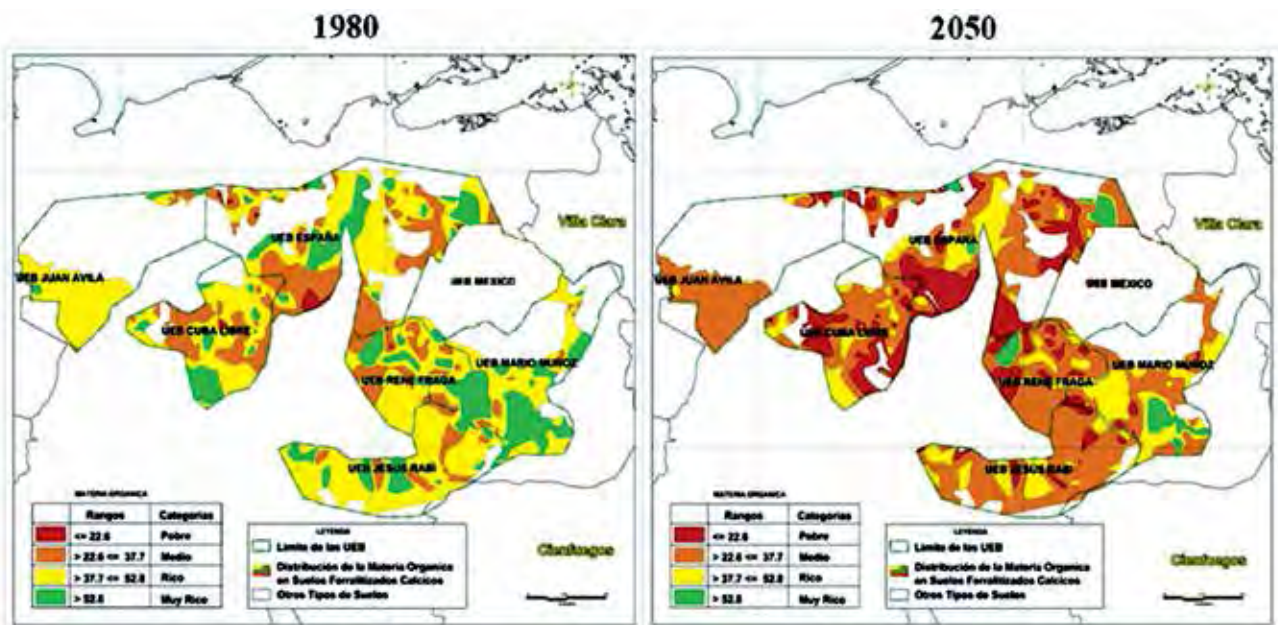
Uno de los basamentos que permitió extrapolar datos de diferentes lugares de la provincia, para obtener la variación del COS en el tiempo, fue el postulado por White (2006), quien expresó que

las tasas de descomposición son moderadas por factores como la humedad y la temperatura y en menor grado por el contenido de arcilla, de modo que cualquier sesgo con relación a este último aspecto, no tendrá trascendencia en los resultados. Sin embargo, sólo se tuvieron en cuenta las áreas con contenidos de arcilla por encima de 50%, valor a partir del cual se estabiliza asintóticamente la relación $CO_2 / (BIO+HUM)$, utilizada por el modelo para calcular las pérdidas en forma de CO_2 y el recambio del carbono proveniente de los residuos en los reservorios BIO y HUM (carbono de la biomasa microbiana y materia orgánica humificada, respectivamente).



Nota: Rangos en $t C ha^{-1}$ (suelos con contenidos de arcilla $\geq 50\%$).

FIGURA 2. Representación espacial de la variación del contenido de carbono orgánico simulado con el modelo RothC26.3, entre 1980 y 2050 tomando como base el clima observado entre 1980 y 2010 en experimentos plantados en un suelo Ferralítico rojo monocultivado con caña de azúcar de la provincia Matanzas.



Nota: Rangos en $t C ha^{-1}$ (suelos con contenidos de arcilla $\geq 50\%$).

FIGURA 3. Representación espacial de la variación del contenido de carbono orgánico simulado con el modelo RothC26.3, entre 1980 y 2050 tomando como base las variaciones pronosticadas por INSMET (2012) para el año 2050, en experimentos plantados en un suelo Ferralítico rojo monocultivado con caña de azúcar de la provincia Matanzas.

Tanto el clima actual como el pronosticado para el año 2050, traerán aparejada una declinación en las reservas de COS, manifiestas en el desbalance de áreas, como se muestra en la Figura 4, donde se observan los cambios que se producirán en el contenido del COS en el tiempo, de acuerdo con las predicciones obtenidas con el modelo RothC26.3 y que se evidencian en el aumento de las áreas con categorías de COS “Pobre” y “Medio” y disminución en las correspondientes a “Rico” y “Muy Rico”, aspecto este que será más acentuado por el clima pronosticado para la región occidental de Cuba, que por la influencia del clima actual.

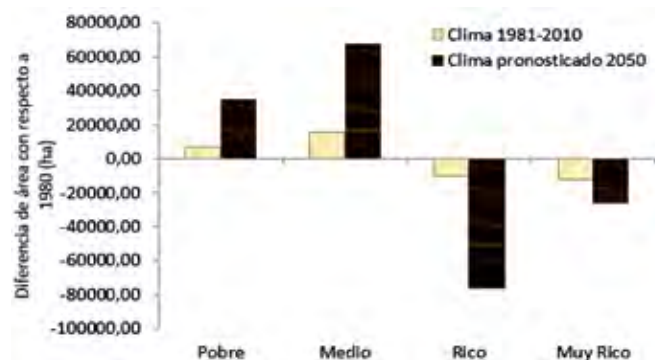


FIGURA 4. Variación del área con diferentes categorías de COS influida por el clima actual y el pronosticado para el 2050, según lo simulado con el modelo RothC26.3, en la capa cultivable (0-20 cm) de un suelo Ferralítico rojo de la provincia Matanzas.

Contar con un pronóstico por adelantado (24 años), representado espacialmente, del efecto del cambio climático previsto en la región occidental de Cuba para 2050, sobre el COS en la provincia Matanzas, brinda la posibilidad de utilizarlo como una

herramienta para interactuar antes de que el problema aparezca, con la finalidad de frenar la pérdida de capacidad del suelo para la sostenibilidad de la producción, a través de la búsqueda de prácticas de manejo en forma puntual en cada unidad de producción, que contribuyan a la captura y sostenimiento del C en el suelo, propiciando así, un balance positivo que prevalezca en el tiempo, condición amigable con el medio ambiente y creación de infraestructuras que coadyuven a su enfrentamiento y mitigación, pero comenzando desde la problemática actual, caracterizada por la ocurrencia de eventos climáticos extremos, para los cuales no están creadas todas las condiciones.

CONCLUSIONES

- El clima pronosticado para la región occidental de Cuba para el año 2050, probablemente traerá aparejado un descenso en los niveles de carbono orgánico en suelos Ferralíticos rojos, con incidencia directa en la calidad del suelo y en la sostenibilidad del agroecosistema caña de azúcar, al decrecer las áreas con categorías de carbono Rico y Muy rico en el tiempo, lo que obliga a adoptar prácticas de manejo que contribuyan a la sostenibilidad del agroecosistema caña de azúcar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo desean expresar su gratitud al Dr. Kevin Coleman, Sustainable Soils and Grassland Systems, Rothamsted, Inglaterra, por su guía y asesoramiento en el desarrollo y aplicación del modelo RothC26.3 en las condiciones de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO: *Manejo de Sistemas Agrícolas. Impacto no Sequestro de Carbono e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa*. Embrapa, Porto Alegre, 215pp., Genesis, FAO (Eds). ISBN 7888587578136, Porto Alegre, Brasil, 2006.
- BALMASEDA, C.; PONCE DE LEÓN, D.: “Procedimientos metodológicos para la evaluación de la Aptitud Física de la Tierra”, *Centro Agrícola*, ISSN: 0253-5785, 29(4): 30-40, 2002.
- CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D. S.; BATJES, N. H.; MILNE, E.; CERRI, C. C.: “Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030”, *Agriculture Ecosystems and Environment*, ISSN: 0167-8809, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.008>, 122(1): 58–72, 2007.
- COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S.; CROCKER, G. J.; GRACE, P. R.; KLIR, J.; KÖRSCHENS, M.; POULTON, P. R. Y RICHTER, D. D.: “Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC26.3”, *Geoderma*, ISSN 0016-7061, 81 (1–2): 29–44, 1997.
- FALLOON, P.; SMITH, P.: “Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and Century model evaluation for a regional scale application”, *Soil Use and Management*, ISSN 0266-0032, 18: 101–111, 2002.
- FARINA, R.; COLEMAN, K.; WITHMORE, A. P.: “Modification of the RothC model for simulations of soil organic C dynamics in dry-land region”, *Geoderma*, ISSN 0016-7061, 200–201:18–30, 2013.
- GRACE, P. R.; POST, W. M.; HENNESSY, K.: “The potential impact of climate change on Australia’s soil organic carbon resources”, *Carbon*, ISSN: 0008-6223, 11: 1-14., 2006.
- GUO, S.; WU, J.; COLEMAN, K.; ZHU, H.; LI, Y.; LIU, W.: “Soil organic carbon dynamics in a dryland cereal cropping system of the Loess Plateau under long-term nitrogen fertilizer applications”, *Plant and Soil*, ISSN-0032-079X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-1034-1>, 353: 321-332, 2012.
- INSMET: *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Informe presentado en el marco de la Segunda Comunicación*

Nacional de Cuba al Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. ISBN 978-959-300-036-2, 2012.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): *Intergovernmental Panel for Climate Change*, 851pp., Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Metz B. Davidson O.R. Bosch P.R. Dave R., Meyer L.A. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- JENKINSON, D. S.; RANYER, J. H.: "The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments", *Soil Science*, ISSN-0038-075X, 123, p. 298–305, 1977.
- LAL, R.: "Agricultural activities and the global carbon cycle", *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, ISSN: 1385-1314, 70: 103–116, 2004.
- LAL, R.: "Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands", *Land Degradation and Development*, ISSN: 1085-3278, 17: 197–209, 2007.
- LAL, R.: "Soils and world food security", *Soil and Tillage Research*, ISSN: 0167-1987, 102: 1-4, 2009.
- MARTÍNEZ, E. H.; FUENTES, E. J. P.; ACEVEDO, H. E.: "Carbono orgánico y propiedades del suelo", *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, ISSN: 0718-9508, 8 (1): 68-96, 2008.
- PONCE-HERNÁNDEZ, R.; KOOHAFKAN, P.; ANTOINE, J.: *Assessing carbon stocks and modeling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes*, 156pp., Food and Agriculture, Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2004.
- SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; VIEIRA, A. M; FIGUEIREDO, A. G.: "Extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho afetados por níveis de palha", *Acta Scientiarum-Agronomy*, ISSN: 1679-9275, 33: 715–722, 2011.
- SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J. B.; DA CRUZ HARTMAN, D.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T.: "Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil", *Land Degradation and Development*, ISSN: 1085-3278, 26: 531–543, 2015.
- SKJEMSTAD, J. O.; SPOUNCER, L. R.; COWIE, B. Y SWIFT, R. S. "Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon compartments", *Australian Journal of Soil Research*, ISSN-0004-9573, 42(1): 79–88, 2004.
- THORBURN, P. J.; MEIER, E. A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F. A.: "Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific", *Soil and Tillage Research*, ISSN: 0167-1987, 120: 99–111, 2012.
- TRUMBORE, S. E.: "Potential responses of soil organic carbon to global environment change", *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, ISSN: 0027-8424, DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.94.16.8284>, 94(16): 8284-8291, 1997.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A.: "An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method", *Soil Science*, ISSN: 0038-075X, 37: 29–37, 1934.
- White, R. E. 2006. Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource, 4ta. ed. Wiley, Oxford. ISBN: 978-0-632-06455-7. 384 pp.
- Zimmermann, M.; Leifeld, J.; Schmidt, M. W. I.; Smith, P. y Fuhrer, J. "Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model", *European Journal of Soil Science*, ISSN- 1450-2267, 58: 658-667, 2007.

Recibido: 13/07/2015

Aprobado: 15/06/2016.

Maribel González Hidalgo, Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CUJAE km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, Correo electrónico: maribel@inica.azcuba.cu

Javier Arcia Porrúa, Correo electrónico: javierarcia54@gmail.com

Elier Pérez Herrera Correo electrónico: elier@inica.azcuba.cu

Teresa López Seijas, Correo electrónico: directoradjunta@iagric.cu