

PÉRDIDAS DE CARBONO EN SUELOS DE LA LLANURA COSTERA DE NAYARIT, MÉXICO.

LOSSES OF CARBON IN SOILS OF THE COASTAL PLAIN OF NAYARIT, MEXICO.

Murray Núñez RM¹, Bojórquez-Serrano JI¹, Hernández Jiménez A², García Paredes JD¹,
Madueño Molina A¹, Bugarín Montoya R¹, Orozco Benítez MG¹.

¹ Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura "Amado Nervo", C.P. 63191, Tepic, Nayarit.

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba, Gaveta Postal No. 1. CP 32700, San José de las Lajas, la Habana Cuba.

Recibido: 10 de Octubre de 2011.
Aceptado: 09 de Diciembre de 2011.

Resumen

Se analizaron las pérdidas de carbono orgánico en suelos a partir de 12 perfiles localizados en el delta del río San Pedro y distribuidos por nivel geomorfológico en la llanura costera del estado de Nayarit, México. El estudio se realizó comparando el contenido de carbono de los suelos con mayor conservación bajo bosque y cultivados. Los niveles considerados para este análisis fueron llanura alta, llanura media y sus depresiones, llanura baja y barras costeras. Las reservas de carbono (RCO) se determinaron teniendo en cuenta la densidad aparente (D_a), el espesor de cada horizonte y el contenido de carbono. Los resultados se ponderaron para las profundidades 0-20, 0-50 y 0-100 cm. Las pérdidas de carbono identificadas fueron del 36 % para suelos Cambisoles de la llanura alta, 40 % para Feozem y Cambisoles de la llanura media, 60 % en suelos Feozem y Solonetz de las depresiones de la llanura media, 67 % para Cambisoles de la llanura baja y 90 % para Arenosoles de las barras costeras. Se demostró que la actividad agrícola intensiva y continuada, ha ocasionado pérdidas en el contenido de carbono; asimismo, la capa agrícola (20 cm) resulta la más afectada por esta actividad antropogénica.

Palabras Claves: Carbono, suelos, Nayarit.

Abstract

Loss of organic carbon in soils was analyzed from 12 profiles located in the San Pedro river delta and distributed by geomorphology level of the coastal plain of Nayarit, Mexico. A comparison was established between carbon content of soils under forest management and soils under continuous farming. The geomorphology levels studied were high plain, medium plain and their depressions, low plains and coastal bars. Carbon stocks were determined considering the bulk density (B_d), the thickness of each horizon and the carbon content. The results were estimated for the depths of 0-20, 0-50 and 0-100 cm. Carbon losses were quantified as follows: 36 % for Cambisols of the high plain; 40 % for Feozems and Cambisols of the medium plain; 60 % for Feozems and Solonetz in the depressions of the medium plain; 67 % for Cambisols of the low plain and 90 % for Arenosols of the coastal bars. Results revealed that continuous and intensive farming has caused losses in the carbon

Autor correspondiente:

Murray Núñez RM. Estudiante de doctorado del posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Domicilio: Carretera Tepic-Compostela Km. 9, C.P. 63780, Xalisco Nayarit, México. Tel., fax: 01 (311) 2110128. Correo Electrónico: ramurray_13@hotmail.com

content; it was also found that the topsoil layer (20 cm) was the most affected by this anthropogenic activity.

Key Words: Carbon, Soils, Nayarit.

Introducción

El problema del contenido y las pérdidas de carbono en los suelos de los ecosistemas ha cobrado importancia en los últimos 20 años, ya sea en relación con la concentración del CO₂ atmosférico y el cambio climático (Lal *et al.*, 2007; Varallay, 1990), como con los problemas de degradación de los suelos (Hernández *et al.*, 2006). Existe evidencia que el uso agrícola y el laboreo continuo del suelo es la causa principal de la disminución de la materia orgánica (MO) en la capa arable, con la consecuente degradación de su fertilidad (Roscoe y Buurman, 2003; García-Silva *et al.*, 2006). Esta disminución lleva a problemas de degradación de la estructura, compactación del suelo, aumento en la densidad de aparente (Da) y disminución de la porosidad. Por lo anterior, quizá uno de los grandes problemas que enfrentan los agricultores al laborear el suelo es la pérdida paulatina de MO del suelo (Crovetto, 1996; Martínez-Trinidad *et al.*, 2008).

Como resultado de esta situación, aumenta el factor de dispersión del suelo, aumen-

ta la Da y la compactación, disminuye la porosidad, disminuye la superficie activa del suelo para la acción de las raíces en la toma de agua y nutrientes, disminuye la actividad biológica y como consecuencia los rendimientos son cada vez más bajos (Murray *et al.*, 2010). Esta situación da lugar a que incremente la cantidad de labores de preparación de suelos, aumente el uso de fertilizantes y otros insumos. De esta forma, el modelo actual se va haciendo insostenible año tras año. Esto ocasiona disminución de las reservas orgánicas del suelo y trae como consecuencia, a corto plazo, una reducción del rendimiento potencial de los cultivos (Manna *et al.*, 2003).

Las pérdidas de carbono como parte de la MO del suelo no solamente tiene relación con la degradación que ocurre en las propiedades del suelo por la mineralización de la MO, sobre todo en los suelos tropicales, sino también con el problema del cambio climático (Hernández *et al.*, 2006).

Los suelos de la llanura costera norte de Nayarit (Figura 1), han sido estudiados desde el punto de vista de su distribución, características y clasificación (Bojórquez y López, 1997; Bojórquez *et al.*, 2006; Bojórquez *et al.*, 2007; Bojórquez *et al.*, 2008) y se conoce que han estado bajo cultivo intensivo durante muchos años con siembras de sorgo, frijol y maíz principalmente.

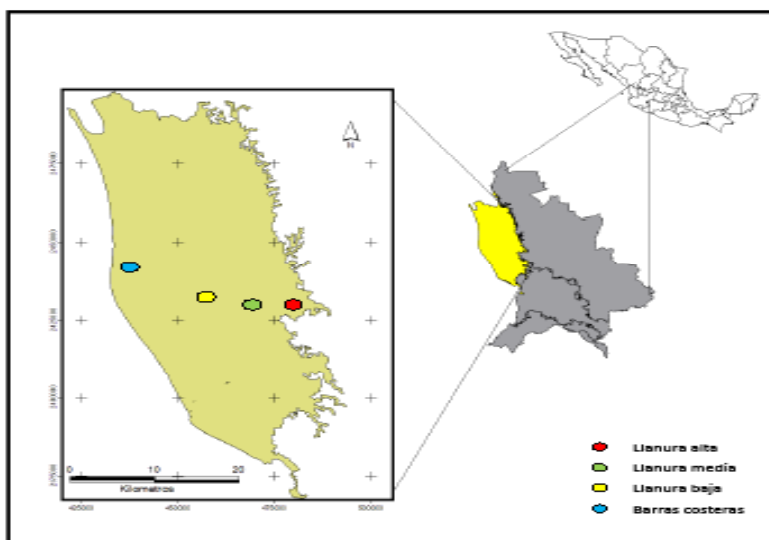


Figura 1. Área de estudio del presente trabajo. La llanura costera se localiza en la zona Pacífico Norte del estado de Nayarit.

Hasta el momento no se reportan datos sobre el cambio en el contenido de MO y de carbono en estos suelos, a pesar que se conoce que están bajo un proceso de pérdida de su fertilidad natural por la influencia del hombre (Tonkonogov y Guerasimova, 2005; Hernández *et al.*, 2009).

Debido a la agricultura intensiva a que han estado sometidos los suelos de esta región, se realiza la caracterización del contenido del carbono en algunos de los principales suelos, tanto en área cultivada y suelos con el mayor grado de conservación. De esta manera, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia agrícola en el contenido de carbono de los suelos en la llanura costera norte de Nayarit, mediante el estudio de los perfiles de suelo pareados ubicados en condiciones similares geomorfológicas pero con diferente uso de suelo (perfil con uso de suelo considerado como conservado contra perfil con uso de suelo agrícola). Lo que a su vez servirá como fundamento para futuros trabajos encaminados a la captura y conservación de este elemento.

Material y Métodos

La distribución y características de los suelos de esta región están en dependencia de las condiciones geomorfológicas de la llanura (Bojórquez *et al.*, 2006). La llanura deltaica presenta la mayor influencia antropogénica a base de actividades agropecuarias; en la parte alta de la llanura costera dominan los Cambiso-

les sin sales, en la llanura media los Cambisoles, Feozems, Solonetz y Fluvisoles, algunos con calificativo salico; en la llanura baja predominan los Fluvisoles, Cambisoles y Stagnosoles la mayoría con sales. En las marismas los Solonchaks y en el sistema de barras costeras los Arenosoles.

Los suelos se encuentran bajo la influencia de un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, bajo un régimen de humedad ústico. La recarga de agua en ellos ocurre por la lluvia (1,000 mm a 1,200 mm anual) y por el régimen de inundación (sedimentos, nutrimentos y carbono), de los diferentes niveles geomorfológicos que forman los deltas por los ríos Acaponeta, Santiago y San Pedro; en este último, es donde se hizo el estudio de pérdida de reservas de carbono.

Se describieron 12 perfiles de suelos sobre el delta del río San Pedro, distribuidos por nivel geomorfológico de la llanura costera (Bojórquez *et al.*, 2006; González *et al.*, 2009) y en forma de pares, buscando tener la condición de mayor conservación y cultivados. Los niveles considerados para este análisis fueron llanura alta, llanura media y sus depresiones, llanura baja y barras costeras. Cada perfil de suelo fue caracterizado en sus propiedades físicas y químicas y se clasificaron según Unión Internacional de Ciencia del Suelo (IUSS), Base referencial mundial del recurso suelo Working Group, (WRB) (2008), los cuales se presentan en el Cuadro 1.

En laboratorio se prepararon las muestras mediante secado en sombra y tamizado en

Cuadro 1.
Características de los perfiles de suelos estudiados en la llanura costera de Nayarit, México.

Elementos del paisaje	Perfil	Localización (x, y)	Clasificación	Uso del suelo
Llanura alta	RMOR-2	477182, 2428633	Cambisol	Pastizal inducido
	RMOR-1	476824, 2428760	Cambisol	Agricultura (sorgo)
Llanura media	Tux-40	470755, 2423488	Feozem	Bosque tropical ("palapar")
	Tux-39	471785, 2425392	Cambisol	Agricultura de riego (sorgo)
	Tux-37	468547, 2422119	Feozem	Bosque tropical ("palapar")
	Tux-38	468547, 2422119	Solonetz	Pastizal inducido
Llanura baja	Tux-48	457370, 2432833	Cambisol	Agricultura (maíz y sorgo)
	Tux-49	457381, 2432810	Cambisol	Agricultura (mango)
Barras costeras	Ixc-41	434609, 2445274	Arenosol	Bosque tropical ("palapar")
	Ixc-42	435066, 2444017	Arenosol	Agricultura (coco)
	Ixc-43	436134, 2437610	Arenosol	Agricultura (tomatillo)
	Ixc-45	433918, 2431349	Arenosol	Duna costera

mallá de 2 mm. Se hicieron determinaciones siguiendo la NOM 021 RECNAT (2000), la humedad del suelo mediante el método gravimétrico (Baver *et al.*, 1980) (AS-05); la composición mecánica por el método del hidrómetro de Bouyoucos, la densidad aparente por el método de los cilindros (Herre, 2000); y la materia orgánica por el método de Walkley y Black (AS-07). El carbono orgánico se estimó a partir de los valores de materia orgánica (M.O/1.724).

Las reservas de carbono (RC) se determinaron teniendo en cuenta la densidad aparente (Da), el espesor de cada horizonte y el contenido de carbono. Los resultados por cada horizonte del perfil, se ponderaron para las profundidades 0-20, 0-50 y 0-100 cm.

$$\text{RC en Mg ha}^{-1} = (\text{Espesor en cm}) (\text{Densidad aparente en g cm}^{-3}) (\% \text{ de Carbono}).$$

Las pérdidas de RC al comparar el valor del contenido de carbono en el suelo de los perfiles con el mayor grado de conservación contra los perfiles alterados por el cultivo, lo anterior, por cada nivel geomorfológico.

Resultados y Discusión

En la llanura alta, se estudiaron dos perfiles (RMOR-2 y RMOR-1), ambos

clasificados como Cambisoles, uno con uso de pastizal, y el segundo, en un terreno bajo cultivo intensivo de granos (sorgo y frijol). Las diferencias en COS para ambos suelos también se pueden atribuir a diferencias en el desarrollo del suelo, se observa que con la profundidad se mantienen los valores más altos para el suelo RMOR-2, El abatimiento de la MO podría explicarse por el manejo de los suelos en la capa arable, 0-20 cm pero su influencia disminuye con la profundidad.

Una diferencia aproximada en contenido de carbono, de 15 Mg ha⁻¹, al compararlo con el cultivado (Cuadro 2). Estos datos evidencian pérdidas de 36 %, 26 % y 24 % de carbono para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente, lo cual coincidió con los resultados obtenidos por Roscoe y Buurman (2003) y Martínez-Trinidad *et al.*, (2008).

En la llanura media se tomaron cuatro perfiles de suelos, dos en condiciones típicas de la llanura media (TUX-40 y TUX-39), y otros dos en superficies de depresión dentro de la misma llanura (TUX-37 y TUX-38). TUX-40 corresponde a un suelo Feozem desarrollado bajo bosque tropical subcaducifolio “palapar” y TUX-39 es un suelo Cambisol bajo cultivo intensivo con sorgo de riego; mientras que en las depresiones se describen TUX-37 clasificado como Feozem en un “palapar” y TUX-38, un suelo Solonetz con pastizal inducido.

Cuadro 2.
Contenido en reservas de carbono en los suelos Cambisoles de la llanura alta.

No. Perfil	Prof., cm.	MO %	C %	Da g cm ⁻³	Reserva de	Reserva de COS		
					C Mg ha ⁻¹	0-20	0- 50	0 -100
RMOR-1 (Cultivado)	0 – 20	1.68	0.98	1.33	26.1	26.1	65.7	121.9
	20 -45	1.63	0.94	1.39	32.7			
	45 – 55	1.57	0.91	1.51	13.7			
	55 – 85	1.40	0.81	1.39	33.8			
	85 - 110	1.39	0.80	1.30	26.0			
RMOR-2 (Conservado)	0 – 5	3.32	1.93	1.21	11.7	40.7	89.1	167.3
	5 – 25	2.69	1.56	1.24	38.7			
	25 – 70	1.96	1.13	1.37	69.7			
	70–100	2.54	1.47	1.07	47.2			

Prof=profundidad, MO=materia orgánica, C=carbono, Da=densidad aparente, COS=carbono orgánico del suelo.

Cuadro 3.
Reservas de carbono en los suelos de la llanura media y sus depresiones.

No. Perfil	Prof., cm.	MO %	C %	Da g cm ⁻³	Reserva de C Mg ha ⁻¹	Reserva de COS Mg ha ⁻¹		
						0 - 20	0 - 50	0 - 100
TUX-40	0 - 12	5.55	3.22	0.90	34.8	53.5	117.9	195.6
(Conservado en palapar)	12 - 30	4.30	2.49	0.94	42.1			
	30 - 45	3.23	1.87	1.19	33.3			
	45 - 92	2.19	1.27	1.22	72.8			
	92-110	1.98	1.15	1.37	28.4			
TUX-39	0 - 27	2.23	1.33	1.21	43.5	32.2	81.5	147.4
(Cultivado)	27 - 50	2.06	1.19	1.39	38.0			
	50 - 72	1.82	1.05	1.19	27.5			
	72 - 105	1.86	1.08	1.27	45.3			
TUX-37	0 - 17	5.62	3.25	0.94	51.9	67.1	107.7	170.9
(Conservado en palapar)	17 - 40	3.11	1.80	0.97	40.2			
	40 - 63	2.26	1.31	1.19	35.9			
	63 - 81	2.20	1.28	1.27	29.3			
	81-110	0.95	0.55	1.30	20.7			
TUX-38	0 - 5	5.27	3.06	1.02	15.6	27.8	48.3	85.5
(Cultivado con pastizal)	5 - 20	1.29	0.75	1.08	12.2			
	20 - 30	1.77	0.62	1.25	7.8			
	30 - 45	0.78	0.45	1.34	9.0			
	45 - 95	1.11	0.64	1.17	37.4			
	95 - 120	1.09	0.63	1.10	17.3			

Prof=profundidad, MO=materia orgánica, C=carbono, Da=densidad aparente COS=carbono orgánico del suelo

En el Cuadro 3 se presentan los datos de reservas de carbono de estos suelos, se tiene que el suelo bajo bosque de "palapar" tiene un contenido de carbono mayor que el suelo cultivado; el valor de las pérdidas en carbono es de 40 %, 30 % y 25 % para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente, entre estos dos perfiles de suelos, Lo cual coincide con lo señalado por Roscoe y Buurman (2003) quienes mencionan pérdidas entre 30 % y 50 % del carbono orgánico edáfico (COS) en la capa arable, en un periodo de más de 40 años de cultivo. En las depresiones, al comparar los valores de las reservas de carbono del suelo bajo bosque de "palapar" con el cultivado, se

obtuvieron pérdidas de 60 %, 55 % y 50 % para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente, con resultados muy similares con los encontrados por Bayer *et al.*, (2002). En ambos casos se evidencia mayores pérdidas en la capa de 0-20 cm debido a que la influencia antropogénica es mayor en la capa arable de los suelos.

En la llanura baja, se estudiaron 2 perfiles que resultaron ser Cambisoles (TUX-48 y TUX-49), el primero bajo una huerta de mango y el segundo con cultivos anuales (sorgo y maíz). En el Cuadro 4 se presentan los datos de las reservas de carbono en estos suelos. Al comparar el

Cuadro 4.
Reservas de carbono en los suelos de la llanura baja

No. Perfil	Prof., cm	MO %	C %	Da g cm ⁻³	Reserva de C Mg ha ⁻¹	Reserva de COS Mg ha ⁻¹		
						0-20	0-50	0-100
TUX-48	0-10	0.89	0.51	1.09	5.6	10.9	24.1	38.3
(Cultivado)	10-24	0.74	0.42	1.26	7.4			
	24-32	0.74	0.42	1.34	4.5			
	32-43	0.56	0.24	1.24	3.3			
	43-53	0.53	0.24	1.35	3.2			
	53-65	0.53	0.24	1.04	3.1			
	65-85	0.47	0.27	1.10	5.9			
	85-100	0.56	0.32	1.10	5.3			
TUX-49	0-15	2.62	1.52	1.31	29.9	33.2	48.6	56.9
(Conservado)	15-30	1.04	0.60	1.11	10.0			
	30-42	0.89	0.51	0.99	6.1			
	42-50	0.59	0.34	0.94	2.6			
	50-60	0.14	0.08	0.95	0.8			
	60-81	0.14	0.08	0.81	1.4			
	81-100	0.59	0.34	0.95	6.1			

Prof=profundidad, MO=materia orgánica, C=carbono, Da=densidad aparente, COS=carbono orgánico del suelo

perfil con mayor conservación con el degradado, se observa una disminución del contenido en carbono que es diferenciado para las distintas capas. En el perfil degradado hay una disminución del contenido en carbono de 67 %, 50 % y 33 % para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente. Por una parte se evidencia que la capa agrícola superior resulta la más afectada como resultado del cultivo continuado con agroquímicos y uso de maquinaria durante más de 40 años, sin aplicar mejoramiento orgánico alguno al suelo, y por otra, resulta que en las capas inferiores esta afectación disminuye, sobre todo en la capa de 50-100 cm del suelo.

Las pérdidas de carbono en los Cambisoles de la llanura baja están en concordancia con los criterios de Lal *et al.*, (2007), que plantean que las pérdidas en los suelos de los diferentes ecosistemas fluctúan entre 30 % y 75 %. También se pueden comparar estos resultados por los obtenidos por Hernández *et al.*, (2009), quienes encontraron en suelos Nitisoles ferrálicos (éutricos, ródicos) cultivados, pérdidas de carbono de 59 %, 36 % y 33 % (para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente) contra suelos bajo arboledas de muchos años que presentan reservas de carbono de 67, 97 y 133 Mg ha⁻¹, para esas mismas capas.

Para el caso de las barras costeras, se presenta una mesocombinación de suelos Arenosoles y Solonchaks (Bojórquez *et al.*, 2008), acorde con la altitud de las barras y sus depresiones. Se estudiaron cuatro perfiles de suelos Arenosoles con diferentes condiciones de conservación; IXC-41, bajo un “palapar”; IXC-42, cultivado con cocotero; IXC-43, con cultivos anuales (tomatillo) y IXC-44, en dunas costeras próximo a la barra de playa.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de las reservas de carbono para estos suelos. Se aprecia que los Arenosoles tienen contenidos muy bajos de materia orgánica y por tanto de carbono, incluso en el perfil tomado bajo “palapar”, debido a la textura del suelo, el clima tropical y vegetación dominada por palmas, el aporte de materia orgánica al ciclo biológico es reducido y en el suelo con textura arenosa, pobre en bases y en actividad biológica, el proceso de humificación es escaso, además, en este clima tropical con precipitaciones anuales de 1,000-1,200 mm, el lavado de las sustancias húmicas es intenso, resultando un contenido bajo en materia orgánica del suelo, lo cual disminuye rápidamente por mineralización, cuando este suelo Arenosol se maneja bajo cultivo. Ladd *et al.*, (1993); Amato y Ladd,

Cuadro 5.
Reservas de carbono en suelos Arenosoles de las barras costeras.

No. Perfil	Prof., cm	MO %	C %	Da g cm ⁻³	Reserva de	Reserva de COS		
					C Mg ha ⁻¹	0-20	0-50	0-100
IXC-45 Duna costera	0-15	0.22	0.12	1.63	2.93	3.89	9.09	12.30
	15-45	0.22	0.12	1.60	5.76			
	45-100	0.07	0.04	1.64	3.61			
IXC-42 Cultivado (coco)	0-5	0.05	0.03	1.43	0.21	0.82	2.00	3.82
	5-35	0.05	0.03	1.36	1.22			
	35-60	0.05	0.03	1.26	0.95			
	60-85	0.05	0.03	1.46	1.00			
IXC-43 Cultivado	85-100	0.03	0.02	1.45	0.44	0.96	2.38	4.80
	0-23	0.05	0.03	1.60	1.10			
	23-45	0.05	0.03	1.56	1.03			
	45-68	0.05	0.03	1.62	1.12			
IXC-41 Palapar	68-100	0.05	0.03	1.57	1.51	10.8	20.3	2.52
	0-25	0.78	0.45	1.20	13.5			
	25-43	0.55	0.32	1.13	6.51			
	43-64	0.05	0.03	1.21	0.76			
	64-100	0.05	0.03	1.62	1.75			

Prof=profundidad, MO=materia orgánica, C=carbono, Da=densidad aparente, COS=carbono orgánico del suelo

(1992) y Skjemstad *et al.*, (1993), señalaron que los suelos arenosos presentan una rápida mineralización de la materia orgánica en comparación a suelos arcillosos.

Por lo anterior, se observa que en el suelo, bajo palapar el contenido de materia orgánica es solamente de 1.20 %, y en los suelos cultivados mucho más bajo (Cuadro 5). En cuanto a las pérdidas de carbono entre el suelo con palapar y el cultivado se observan pérdidas del perfil de la playa de 64 %, 55 % y 45 % para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente, mientras que para los perfiles de suelos cultivados oscila entre 92 %, 8 % y 80 % para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente.

Conclusiones

Las pérdidas de carbono en la llanura deltaica del norte de Nayarit, por nivel geomorfológico muestra lo siguiente: En la llanura alta las pérdidas son del 36 %, para la llanura media es de 40 %, en las depresiones de la llanura media 60 %, para la llanura baja 67 % y para las barras costeras alrededor de 90 %.

Cuando el contenido de MO del suelo es muy bajo, cualquier diferencia origina cambios en porcentajes muy altos.

Los resultados obtenidos demuestran que la capa agrícola resulta la más afectada

como resultado del cultivo continuo y el uso de agroquímicos, así como de maquinaria pesada.

También se demuestra que la actividad agrícola intensiva y continuada, ha ocasionado pérdidas en el contenido de carbono. Además, por nivel geomorfológico, las pérdidas resultan mayores en la llanura baja, lo que puede estar relacionado con una mayor influencia agropecuaria y un régimen de inundación más alto que la llanura media y alta.

Los impactos observados en campo sobre las propiedades de los suelos son significativos en la estructura, el factor de dispersión, la compactación, la porosidad total y la actividad biológica. Se pudo apreciar que en estos suelos se forma, por el cultivo continuado, una estructura para los primeros 20 cm de bloques que llegan a ser de tamaño considerable (20 cm o más) y por esto en la preparación del terreno es necesario el uso de la maquinaria pesada, quedando ya en muchos casos bloques en superficie. En estos bloques se rellenan los poros con las partículas limosas y arcillosas que quedan libres por la destrucción de los agregados de la estructura original, haciéndose cada vez de mayor tamaño y empeorando por tanto las propiedades del suelo. Lo anterior, orienta a realizar trabajos futuros que modifiquen los modelos tecnológicos de producción, que incluyan el uso de enmiendas, mejoradores orgánicos de los suelos y biofertilizantes.

Literatura Citada

- Amato M, Ladd JN. Decomposition of ¹⁴C-labelled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C, *Soil Biology and Biochemistry* 1992; 24: 455-464.
- Bayer CJ, Mielniczuk L, Neto M, Pillon C, Sangoi L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical No-Till cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 2002; 65: 1473-1478.
- Bojórquez I, López J. Levantamiento de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit, México, investigaciones geográficas. *Boletín* núm. 35. México: Instituto de Geografía, UNAM, 1997. 85-120.
- Bojórquez I, Nájera O, García D, Hernández A, Madueño A, Bugarín R. Particularidades de formación y principales suelos de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 2006; 27: 4. 19-26.

- Bojórquez I, Hernández A, García D, Nájera O, Flores F, Madueño A, Bugarín R. Características de los suelos Cambisoles y Fluvisoles de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 2007; 28: 19-24.
- Bojórquez I, Hernández A, García D, Nájera O, Flores F, Madueño A, Bugarín R. Características de los suelos de llanura de inundación mareal, de las barras paralelas, playas y dunas costeras de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 2008; 29: 37-42.
- Crovetto C. Stubble over the soil. The vital role of the plant residue in soil management to improve soil quality. Special Publication 19. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 1996.
- García-Silva R, Espinosa-Victoria D, Figueroa-Sandoval B, García-Calderón NE, Gallardo-Lancho JF. Reservas de carbono orgánico y de fracciones húmicas en un Vertisol sometido a siembra directa, *Terra Latinoamericana* 2006; 24: 241-251.
- González A, Bojórquez I, Nájera O, García D, Madueño A, Flores F. Regionalización ecológica de la llanura costera norte de Nayarit, México, *Investigaciones Geográficas. Boletín núm. 69.* México: Instituto de Geografía, UNAM, 2009. 21-32.
- Hernández A, Ascanio M, Morales M, Morell F, Borges Y. Cambios globales en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisol ferrálicos, éutricos, ródicos) de la llanura roja de La Habana”, *Cultivos Tropicales* 2006; 24: 41-55.
- Hernández A, Morales M, Morell F, Borges Y, Vargas D, Funes F, et al. La formación agrogénica en los suelos ferralíticos rojos lixiviados (Nitisoles ferrálicos, éutricos, ródicos) de provincia Habana. Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Cuba 2009.
- IIUSS, Working Group, WRB Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 103. The Food and Agriculture Organization, Rome 2008; 117.
- Ladd JN, Foster RC, Skjemstad JO. Soil structure: Carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma* 1993; 56: 401-434.
- Lal R, Follet R, Stewart BA, Kimble JM. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science* 2007; 172: 943-956.
- Manna MC, Ghosh PK, Acharya CL. Sustainable crop production through management of soil organic carbon in semiarid and tropical India. *Journal of Sustainable Agriculture* 2003; 21: 87-116.
- Martínez-Trinidad S, Cotler H, Etchevers-Barra JD, Ordaz-Chaparro VM, de León-González F. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana* 2008; 26: 299-307.
- Murray-Núñez RM, Bojórquez Serrano JI, Hernández Jiménez A, Orozco Benítez MG, García Paredes JD, Ontiveros Guerra H, et al. Influencia de especies agroforestales sobre las propiedades físicas de un suelo Fluvisol Haplico de la llanura costera norte de Nayarit 2010; 22-23.
- Roscoe R, Buurman P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol, *Soil and Tillage Research* 2003; 70: 107-119.

Skjemstad JO, Janik LJ, Head MJ, McLure SG. "High energy ultraviolet photo-oxidation: a novel technique for studying physically protected organic matter in clay and silt-sized aggregates", *Journal of Soil Science* 1993; 44: 485-499.

Tonkonogov V, Guerasimova M. Agrogenic pedogenesis and soil evolution. En: Abstract International Conference "Global Soil Change, Mexico City. March 2005; 10-18, 79-80.

Varallay G. Types of soil processes and changes. In *Global Soil Change*, Institute for Applied Systems Analysis, Laxemburg, Austria, 1990; 41-62.