

Cambios en carbono orgánico en suelos cambisoles, solonetz y arenosoles

Losses of organic carbon in the soils cambisols, solonetz and arenosols

Rafael Martin Murray-Núñez

Universidad Autónoma de Nayarit

ramurray_13@hotmail.com

Oyolsi Nájera González

Universidad Autónoma de Nayarit

oyolsi92@gmail.com

María Guadalupe Orozco Benítez

Universidad Autónoma de Nayarit

mgorozco63@gmail.com

J. Irán Bojórquez Serrano

Universidad Autónoma de Nayarit

iranbojorquez@hotmail.com

Resumen

La llanura costera en el norte del estado de Nayarit tiene una extensión aproximada de 250 000 ha y en ella se encuentran áreas cultivadas con sorgo, maíz y frijol, que se han manejado durante años bajo esquemas de agricultura intensiva. Los suelos presentan síntomas de degradación, sobre todo en el contenido de materia orgánica, y alteraciones en las características morfológicas, por ello es importante determinar las pérdidas de carbono orgánico por la influencia de esta agricultura de altos insumos, en comparación con suelos de áreas conservadas de la llanura. Dicho trabajo fue realizado sobre paisajes geomorfológicos (llanura alta, media y baja) y en tres de los principales suelos presentes en el área de estudio (Cambisoles, Solonetz y Arenosoles). En Cambisoles las pérdidas de carbono orgánico en la llanura alta y media fueron de 36-40, 26-30 y 24-25 %, para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm; mientras que en la llanura baja fueron mayores. En los Solonetz se registraron pérdidas de

60, 55 y 50 % para estas mismas capas; mientras que en los Arenosoles las pérdidas fueron mayores, 92, 89 y 80 % para las capas estudiadas.

Palabras clave: suelos, degradación, Nayarit.

Abstract

The ecosystem of the northern coastal plain of Nayarit has an extension of approximately 250 000 ha in which great areas land have been cultivated, with a high input agricultural system with crops like sorghum, corn and beans for many years. The soils show symptoms of degradation, especially in fertility levels and morphological characteristics. Therefore is important to determine the soil carbon loss by the influence of a high input agriculture, as compared soils of preserved areas within the coastal plain. This work was conducted in three geomorphology landscapes of the coastal plain (high, medium and low) and three of the main soils of the plain (Cambisols, Solonetz and Arenosols). In Cambisols the carbon loss in the high and medium plains were of 36-40, 26-30 and 24-25 %, for the 0-20, 0-50 and 0-100 cm layers; while in the low plain were higher. Solonetz registered losses of about 60, 55, and 50 % for the same layers; while in Arenosols the losses were even higher, 92, 89 and 80 % for the layers studied

Key words: soils, degradation, Nayarit.

Fecha recepción: Mayo 2015

Fecha aceptación: Julio 2015

Introducción

La pérdida de carbono orgánico en los suelos de los ecosistemas es un problema que 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; Varallayay, 1990), como con los problemas de degradación de los suelos (Hernández et al., 2006). Existe evidencia de 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 & Buurman, 2003; García-Silva et al., 2006). Esta disminución conlleva problemas de degradación en la estructura y compactación del suelo, aumento en la densidad aparente (Da) y disminución de la porosidad (Hernández et al., 2010 y 2013).

Por lo anterior, quizá uno de los grandes problemas que enfrentan los agricultores al laborear el suelo es la pérdida paulatina de materia orgánica del suelo (MOS) (Crovetto, 1996; Martínez-Trinidad et al., 2008). Como resultado de esta situación, aumenta el factor de dispersión del suelo, la densidad aparente (Da) y la compactación, disminuye la porosidad y la superficie activa del suelo afectando la acción de las raíces en la toma de agua y nutrientes, así como la actividad biológica, todo esto trae como consecuencia rendimientos cada vez más bajos.

En suelos Nitisoles ferrálicos ródicos de Cuba, se ha observado el impacto que produce la agricultura continuada durante más de 50 años en las propiedades físicas, hidrofísicas y biológicas (Morell & Hernández, 2008; Hernández et al., 2010; 2013). Dicha degradación del suelo aumenta la cantidad de labores de preparación del suelo, el uso de fertilizantes y otros insumos. De esta forma, el modelo de producción actual se va haciendo insostenible año tras año, ocasionando disminución de las reservas orgánicas del suelo y, por ende, reducción del rendimiento potencial de los cultivos en el corto plazo (Manna et al., 2003).

Las pérdidas de carbono orgánico, como parte de la MOS, no solamente guarda relación con la degradación que ocurre en las propiedades del suelo por la mineralización de la MO en los suelos tropicales, sino también participa en el problema del cambio climático (Hernández et al., 2006). En los últimos 30 años, los suelos Nitisoles ferrálicos ródicos han aumentado su pH en regiones de bajo cultivo, situación que se atribuye a la acción combinada de la degradación del suelo con el aumento de temperatura ($0,9^0$ C) que ha tenido lugar en esa región en los últimos 60 años (Morales et al., 2008).

Dicho proceso de degradación de suelos provocado por la influencia del cultivo continuado durante muchos años, se conoce también como evolución agrogénica (Tonkonogov & Guerasimova, 2005; Dobrinova, 2009; Hernández et al., 2013). Debido a este, en las clasificaciones de suelos con tendencia mundial se separan en la actualidad suelos afectados por esta influencia antropogénica, como en el caso de la Taxonomía Norteamericana de Suelos (Soil Survey Staff, 2010) y en la clasificación de suelos del WRB (IUSS, Working Group, WRB, 2008).

Diversos autores han reportado cambios en el carbono orgánico del suelo (COS) (Murray et al., 2011, 2014); en el caso de Cambisoles se reportan diferencias en COS atribuibles a diferencias en el desarrollo del suelo. 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. En Arenosoles se aprecian contenidos bajos de materia orgánica y por tanto de carbono, debido a la textura del suelo, el clima tropical y vegetación dominante; el aporte de materia orgánica al ciclo biológico es reducido y en suelo con textura arenosa (pobre en bases y en actividad biológica), y el proceso de humificación es escaso. Además, en este clima tropical con precipitaciones anuales de 1000-1200 mm, el lavado de las sustancias húmicas es intenso, resultando un contenido bajo en materia orgánica del suelo, el cual disminuye rápidamente por mineralización cuando se maneja bajo cultivo (Murray et al., 2014).

Los suelos de la llanura costera norte de Nayarit han sido estudiados desde el punto de vista de su distribución, características y clasificación como lo muestran los trabajos de Bojórquez y colaboradores (2006 y 2007). A partir de estos trabajos se conoce que los suelos de esta región han estado sujetos a cultivo intensivo durante muchos años con siembras de sorgo, frijol y maíz principalmente. Estos mismos autores establecen que la distribución y características de los suelos Cambisoles, Solonetz y Arenosoles están en dependencia de las condiciones geomorfológicas de la llanura (Bojórquez et al., 2006).

Hasta el momento no se tienen identificados reportes o datos sobre el cambio en el contenido de MO y de carbono orgánico en estos suelos, a pesar que se conoce que están bajo un proceso de pérdida de su fertilidad natural por la influencia del hombre, debido a la agricultura intensiva a la que han estado sometidos. Por ello, en este trabajo se planteó realizar la caracterización del contenido del carbono orgánico en Cambisoles, Solonetz y Arenosoles, tanto en áreas bajo manejo agrícola, como en áreas de conservación (relictos de selva mediana que sirven como patrón), con la finalidad de generar información sobre los impactos de la influencia agrícola en el contenido de carbono de los suelos de esta región y con ello aportar elementos base para futuros trabajos encaminados a la captura y conservación de este elemento.

MATERIALES Y MÉTODO

Área en estudio

La Llanura Costera del Pacífico se localiza al noroeste del estado de Nayarit, comprende 445 069 ha y representa la zona en estudio (figura 1.). Su origen se relaciona con transgresiones

marinas ocurridas durante el Cuaternario y que iniciaron a partir del Pleistoceno tardío y durante el Holoceno y es a partir de este momento que tiene lugar un comportamiento regresivo del mar, fenómeno que perdura hasta nuestros días (González et al., 2009). Lo anterior ha dado como resultado una diversidad de paisajes que incluyen deltas (llanuras aluviales), humedales (manglares, lagunas costeras y esteros); barras costeras colindantes a la costa, que están en constante cambio por procesos geomorfológicos y por la presión de actividades agropecuarias, pesca, acuacultura, asentamientos humanos, además de, recientemente, turismo.

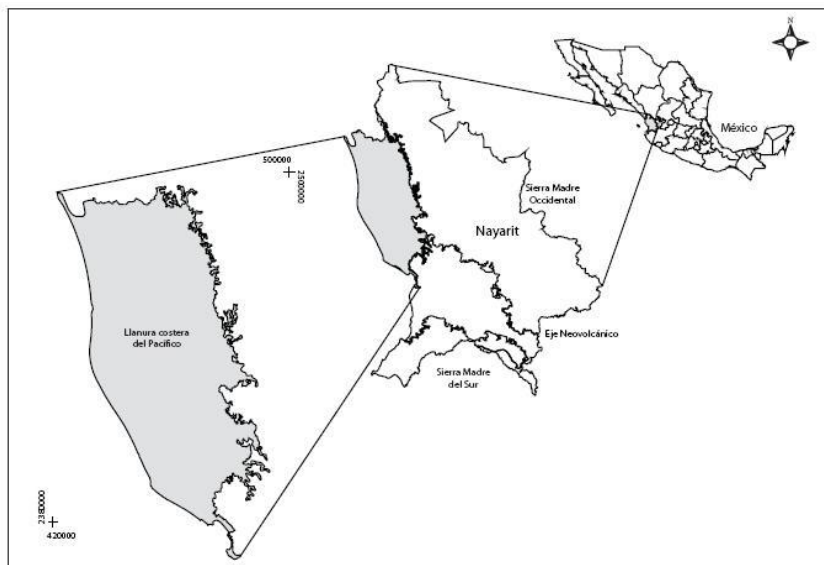


Figura 1. Localización del área en estudio

Los suelos de esta región se encuentran bajo la influencia de un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con régimen de humedad ústico. La recarga de agua en ellos ocurre por la lluvia (1000 a 1200 mm anual) y por el régimen de inundación (sedimentos, nutrimentos y carbono) de los diferentes niveles geomorfológicos que forma el delta del río San Pedro.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este trabajo se tomaron 12 perfiles de suelos (año 2009) representativos de la llanura costera norte, en forma de pares (cultivado y conservado) con una repetición (año 2011) en diferentes paisajes geomorfológicos de la llanura (cuadro 1, figura 2.) separados por Bojórquez (et al., 2006) y González (et al., 2009), identificados como:

- Llanura alta donde predominan Cambisoles sin sales.

- Llanura media con presencia de Cambisoles, Feozems, Solonetz y Fluvisoles, algunos con calificativo salico.
- Llanura baja donde están representados Fluvisoles, Cambisoles y Stagnosoles la mayoría con sales.
- Las marismas donde predominan Solonchaks.
- El sistema de barras costeras, dominada por Arenosoles.

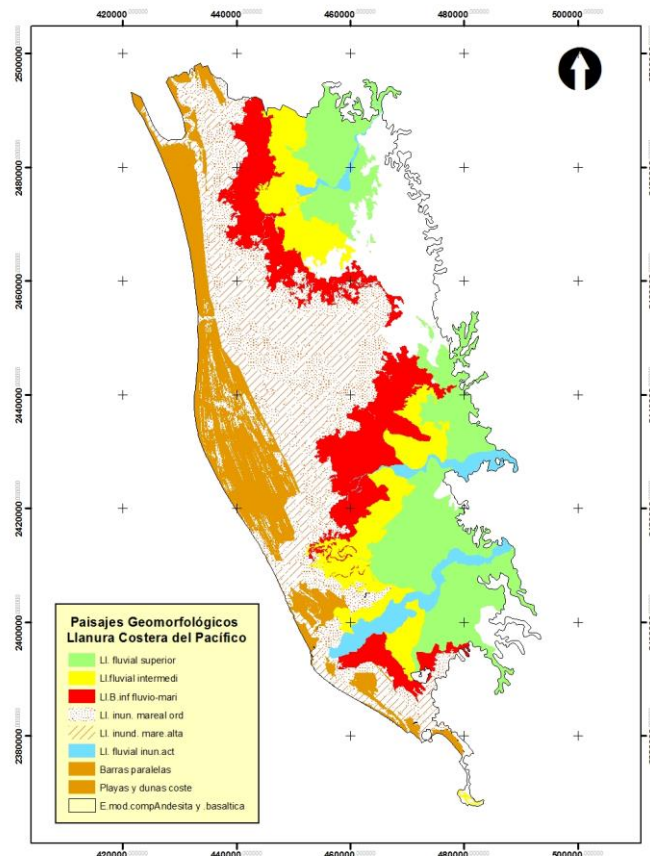


Figura 2. Paisajes geomorfológicos de la Llanura Costera del Pacífico

Cada perfil de suelo fue caracterizado con sus propiedades físicas y químicas a partir de una muestra por horizonte de diagnóstico, que se clasificaron con base en los criterios de la World Reference Base (IUSS, Working Group, WRB, 2008). El análisis de las muestras consistió en determinar el contenido de materia orgánica (MO); pH (medido en agua); capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura por el método de Bouyoucos; densidad aparente (Da) por el método del cilindro; densidad real (Dr), por picnómetro; porosidad total (Pt) mediante la fórmula: $Pt = (1 - (Da/Dr) \times 100)$; capacidad de campo (CC) (Page et al., 1982); porosidad aireación (Pa) por cálculo a partir de la porosidad total (Pt) menos la capacidad de campo (CC). El carbono orgánico se estimó a partir de los valores de materia orgánica (MO/1.724).

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio y ubicación geográfica de los perfiles estudiados en la Llanura costera de Nayarit.

| Paisaje | | Localización | | |
|----------------|---------|----------------------------|-------------------------|---------------------|
| geomorfológico | Perfil | (Coordenadas métricas X-Y) | Clasificación del suelo | Uso del suelo |
| Llanura Alta | RM2 | X 477182 - Y 2428633 | Cambisol | Pastizal |
| | RM1 | X 476824 -Y 2428760 | Cambisol | Agrícola |
| Llanura Media | Tux-40 | X 470755 - Y 2423488 | Cambisol | Bosque de Palapar |
| | Tux-39 | X 471785 - Y 2425392 | Solonetz | Agrícola de riego |
| | Tux-37 | X 468547 -Y 2422119 | Cambisol | Bosque de Palapar |
| | Tux-38 | X 465847 - Y 2425109 | Solonetz | Pastizal |
| Llanura Baja | Tux-48 | X 457370 - Y 2432833 | Cambisol | Agrícola |
| | Tux-49 | X 457381 -Y 2432810 | Cambisol | Agrícola |
| | Ixc- 42 | X 435066 - Y 2444017 | Arenosol | Cultivo de coco |
| | Ixc-41 | X 434609 - Y 2445274 | Feozem | Palapar |
| | Ixc 45 | X 433918 - Y 2431349 | Arenosol | Vegetación herbácea |
| | Ixc-43 | X 436134 - Y 2437610 | Arenosol | Agrícola |

La determinación de las reservas de carbono se realizó aplicando la fórmula propuesta por Murray (et al., 2014):

$$RC = (Eh) (Da) (\% \text{ de C})$$

Donde:

RC = Contenido de carbono expresado en Mg ha⁻¹

Eh = Espesor del horizonte (profundidad) expresado en cm.

Da = Densidad aparente en gcm⁻³

% de C = Porcentaje de Carbono del horizonte

En cada caso, la Da se expresa en g cm^{-3} para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm, para que sirva de comparación sistemática en cada repetición a una profundidad de 0-20 cm por cada muestra compuesta experimental; coincide con el espesor del horizonte A del suelo lo que a su vez coincide con trabajos realizados por Murray y colaboradores (2011 y 2014).

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con dos repeticiones y los datos fueron analizados mediante procedimiento estándar ANOVA para un diseño estadístico con dos repeticiones, siendo las variables MO y Da. Se hizo una correlación y la comparación de medias a $p < 0.05$. En el análisis de varianza se utilizó el paquete SAS y para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó la prueba de medias de Tukey.

Resultados y discusión

Llanura alta

Los Cambisoles presentes en este paisaje presentan diferencias en las reservas de carbono, debido al uso a que han estado sometidos. El perfil conservado con pastizal tiene, para la capa de 0-20 cm, una diferencia de 15 Mg ha^{-1} , al compararlo con el cultivado (cuadro 2). Estos datos evidencian pérdidas cercanas a 36, 26 y 24 % de carbono, para las capas de 0-20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente, relacionando el suelo cultivado con el conservado en condiciones de clima tropical subhúmedo, lo cual coincidió con los resultados obtenidos por Roscoe y Buurman (2003) y Martínez-Trinidad (*et al.*, 2008).

Llanura media

Este paisaje presenta dos subpaisajes: llanura media y superficies de depresión por lo cual se tomaron cuatro perfiles de suelos, dos para cada subpaisaje y para cada condición de uso (suelos Cambisoles; perfiles TUX-40 en palapar y TUX-39 en áreas de cultivo de sorgo con riego) y otros dos en superficies de depresión dentro de la misma (suelos Solonetz; perfiles TUX-37 en palapar y TUX-38 cultivado y ahora con pastizales).

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

| No. Perfil | Eh | C | Da | RC | C* | Da* | RC* |
|--------------|----------|------|--------------------|---------------------|------|--------------------|---------------------|
| | Prof. cm | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ |
| RM-1 | 0 – 20 | 0.98 | 1.33 | 26.1 | 1.02 | 1.36 | 26.5 |
| (Cultivado) | 20 -45 | 0.94 | 1.39 | 32.7 | 0.99 | 1.35 | 33.4 |
| | 45 – 55 | 0.91 | 1.51 | 13.7 | 0.90 | 1.50 | 13.5 |
| | 55 – 85 | 0.81 | 1.39 | 33.8 | 0.84 | 1.40 | 35.2 |
| | 85 - 110 | 0.80 | 1.30 | 26.0 | 0.81 | 1.38 | 26.5 |
| RM-2 | 0 – 5 | 1.93 | 1.21 | 11.7 | 1.98 | 1.19 | 11.8 |
| (Conservado) | 5 – 25 | 1.56 | 1.24 | 38.7 | 1.55 | 1.24 | 38.5 |
| | 25 – 70 | 1.13 | 1.37 | 69.7 | 1.16 | 1.37 | 71.5 |
| | 70–100 | 1.47 | 1.07 | 47.2 | 1.50 | 1.07 | 48.1 |

Eh=profundidad, C=carbono, Da=densidad aparente, RC= reserva de carbono, repetición. *

En el cuadro 3 se presentan los datos de algunas propiedades de estos suelos y sus reservas de carbono orgánico. Para el caso de los suelos Cambisoles, se tiene que el suelo bajo palapar tiene un contenido de carbono orgánico mayor que el suelo cultivado. El aumento en COS acumulado entre 2009 y 2011 es atribuido a dos factores: un mayor porcentaje de C y un menor valor de la densidad aparente. Basaran *et al.* (2008) encontraron, con diferentes usos de suelo que la Da disminuyó en sitios donde el COS fue alto. 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, 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.

Cuadro 3. Contenido de carbono orgánico en Cambisoles de la llanura media.

| No. Perfil | Eh | C | Da | RC | C* | Dv* | RC* |
|--------------------------------------|----------|------|--------------------|---------------------|------|--------------------|---------------------|
| | Prof. cm | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ |
| TUX-40 | 0 – 12 | 3.22 | 0.90 | 34.8 | 3.23 | 0.90 | 34.9 |
| (Conservado en palapar) | 12 – 30 | 2.49 | 0.94 | 42.1 | 2.65 | 0.92 | 43.8 |
| | 30 – 45 | 1.87 | 1.19 | 33.3 | 1.98 | 1.12 | 33.3 |
| | 45 – 92 | 1.27 | 1.22 | 72.8 | 1.28 | 1.25 | 74.4 |
| | 92-110 | 1.15 | 1.37 | 28.4 | 1.17 | 1.30 | 27.4 |
| TUX-39 | 0 – 27 | 1.33 | 1.21 | 43.5 | 1.22 | 1.20 | 39.5 |
| (Cultivado) | 27 – 50 | 1.19 | 1.39 | 38.0 | 1.14 | 1.48 | 36.7 |
| | 50 – 72 | 1.05 | 1.19 | 27.5 | 1.05 | 1.22 | 28.1 |
| | 72 - 105 | 1.08 | 1.27 | 45.3 | 1.06 | 1.30 | 45.4 |
| TUX-37 | 0 – 17 | 3.25 | 0.94 | 51.9 | 3.25 | 0.95 | 52.4 |
| (Conservado en palapar) | 17 – 40 | 1.80 | 0.97 | 40.2 | 1.80 | 0.97 | 40.2 |
| | 40 – 63 | 1.31 | 1.19 | 35.9 | 1.33 | 1.18 | 36.0 |
| | 63 – 81 | 1.28 | 1.27 | 29.3 | 1.28 | 1.25 | 28.8 |
| | 81-110 | 0.55 | 1.30 | 20.7 | 0.58 | 1.27 | 21.3 |
| TUX-38 | 0 – 5 | 3.06 | 1.02 | 15.6 | 2.92 | 1.10 | 16.0 |
| (Cultivado antes, ahora en pastizal) | 5 – 20 | 0.75 | 1.08 | 12.2 | 0.76 | 1.22 | 13.4 |
| | 20 – 30 | 0.62 | 1.25 | 7.8 | 0,98 | 1,30 | 12.8 |
| | 30 – 45 | 0.45 | 1.34 | 9.0 | 0,46 | 1,32 | 9,18 |
| | 45 – 95 | 0.64 | 1.17 | 37.4 | 0,64 | 1,20 | 38.4 |
| | 95 - 120 | 0.63 | 1.10 | 17.3 | 0,63 | 1,20 | 18.0 |

Eh=profundidad, C=carbono, Da=densidad aparente, RC= reserva de carbono, repetición. *

En las depresiones, dentro de esta parte de la llanura con presencia de suelos Solonetz, al comparar los valores de las reservas de carbono del suelo bajo palapar (perfil TUX-37) con el cultivado (perfil TUX-38), se observan pérdidas de 60 %, 55 % y 50 % para las capas de 0-

20, 0-50 y 0-100 cm respectivamente, estos resultados son similares con los encontrados por Bayer *et al.*, (2002). En ambos casos se evidencian mayores pérdidas en la capa de 0-20 cm debido a que la influencia antropogénica es mayor en la capa arable de los suelos.

Llanura baja

En este paisaje se estudiaron dos perfiles en la región denominada La Horqueta (perfiles TUX-48 y TUX-49), y estos suelos resultaron ser Cambisoles. En el cuadro 4 se presentan los datos de sus reservas de carbono.

Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico en Cambisoles de la llanura baja

| No. Perfil | Eh | C | Dv | RC | C* | Dv* | RC* |
|--------------|----------|------|--------------------|---------------------|------|--------------------|---------------------|
| | Prof. cm | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ |
| TUX-48 | 0-10 | 0.51 | 1.09 | 5.6 | 0.50 | 1.32 | 5.6 |
| (Cultivado) | 10-24 | 0.42 | 1.26 | 7.4 | 0.41 | 1.34 | 7.4 |
| | 24-32 | 0.42 | 1.34 | 4.5 | 0.39 | 1.35 | 4.5 |
| | 32-43 | 0.24 | 1.24 | 3.3 | 0.25 | 1.24 | 3.3 |
| | 43-53 | 0.24 | 1.35 | 3.2 | 0.23 | 1.35 | 3.2 |
| | 53-65 | 0.24 | 1.04 | 3.1 | 0.23 | 1.04 | 3.1 |
| | 65-85 | 0.27 | 1.10 | 5.9 | 0.26 | 1.10 | 5.9 |
| | 85-100 | 0.32 | 1.10 | 5.3 | 0.31 | 1.10 | 5.3 |
| TUX-49 | 0-15 | 1,52 | 1.31 | 29.9 | 1.57 | 1.10 | 26.6 |
| (Conservado) | 15-30 | 1.46 | 1.11 | 10,0 | 1.44 | 1.12 | 24.3 |
| | 30-42 | 0.51 | 0.99 | 6.1 | 0.71 | 0.98 | 8.2 |
| | 42-50 | 0.34 | 0.94 | 2.6 | 0.34 | 1.00 | 2.7 |
| | 50-60 | 0.08 | 0.95 | 0.8 | 0.48 | 0.92 | 4.4 |
| | 60-81 | 0.08 | 0.81 | 1.4 | 0.48 | 0.81 | 8.1 |
| | 81-100 | 0.34 | 0.95 | 6.1 | 0.41 | 0.95 | 7.4 |

Eh=profundidad, C=carbono, Da=densidad aparente, RC= reserva de carbono, repetición. *

Al comparar el perfil conservado con el cultivado, se observa una disminución del contenido en carbono que es diferenciado para las distintas capas. En el perfil cultivado 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 ser la más afectada como resultado del cultivo continuado con agroquímicos y uso intensivo de maquinaria, 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. Sobre esto último se puede asumir que es necesario mejorar principalmente los primeros 20 cm de la parte superior del suelo.

Las pérdidas de carbono en los Cambisoles de este paisaje están en concordancia con los criterios de Lalet *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 g cm⁻³, para esas mismas capas. En contraparte, Ojeda *et al.*, (2009) encontraron un incremento de carbono (2970 kg · ha⁻¹) en una sabana cultivada con pastos, durante cuatro años, en comparación con la sabana natural.

Para el caso de los *cordones litorales*, donde se forman las barras paralelas con una mesocombinación de suelos Arenosoles y Solonchaks (Bojórquez *et al.*, 2007), se estudiaron varios perfiles de Arenosoles en diferentes subpaisajes. En las barras medias con inundación estacional en época de lluvias, se tomó el perfil IXC-41, bajo un palapar, mientras que en barras altas no inundables, se estudiaron 3 perfiles (IXC- 45, en la barra de playa; IXC-42 cultivado con cocotero y IXC-43 cultivado).

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 vegetación de palapar, debido a la textura del suelo, el clima tropical y el tipo de palapar con escasa vegetación entre las palmas. Es decir, el aporte de la vegetación 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 1000-1200 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.

Cuadro 5. Contenido de carbono orgánico en Arenosoles de la llanura baja

| No. Perfil | Eh | C | Dv | RC | C* | Dv* | RC* |
|----------------------------------|----------|------|--------------------|---------------------|------|--------------------|---------------------|
| | Prof. cm | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ | % | g cm ⁻³ | Kg ha ⁻¹ |
| IXC-45 | 0-15 | 0.12 | 1.63 | 2.93 | 0.12 | 1.63 | 2.93 |
| Playa, con escasa vegetación | 15-45 | 0.12 | 1.60 | 5,76 | 0.12 | 1.61 | 5.79 |
| | 45-100 | 0.04 | 1.64 | 3.61 | 0.04 | 1.64 | 4.18 |
| IXC-42 | 0-5 | 0.03 | 1.43 | 0.21 | 0.04 | 1.44 | 0.28 |
| Cultivado con árboles de coco | 5-35 | 0.03 | 1.36 | 1.22 | 0.03 | 1.35 | 1.21 |
| | 35-60 | 0.03 | 1.26 | 0.95 | 0.03 | 1.30 | 0.97 |
| | 60-85 | 0.03 | 1.46 | 1.00 | 0.03 | 1.47 | 1.10 |
| | 85-100 | 0.02 | 1.45 | 0.44 | 0.02 | 1.45 | 0.43 |
| IXC-43 | 0-23 | 0.03 | 1.60 | 1.10 | 0.03 | 1.61 | 1.11 |
| Cultivado | 23-45 | 0.03 | 1.56 | 1.03 | 0.03 | 1.56 | 1.03 |
| | 45-68 | 0.03 | 1.62 | 1.12 | 0.03 | 1.61 | 1.11 |
| | 68-100 | 0.03 | 1.57 | 1.51 | 0.03 | 1.56 | 1.49 |
| IXC-41 Palapar | 0-25 | 0,45 | 1.20 | 13.5 | 0,46 | 1.18 | 13.6 |
| | 25-43 | 0,32 | 1.13 | 6.51 | 0,34 | 1.11 | 6.79 |
| | 43-64 | 0.03 | 1.21 | 0.76 | 0.05 | 1.32 | 1.05 |
| | 64-100 | 0.03 | 1.62 | 1.75 | 0.04 | 1.59 | 2.28 |

Eh=profundidad, C=carbono, Da=densidad aparente, RC= reserva de carbono, repetición.*

Para Ladd *et al.*, (1985); Amato y Ladd (1992) y Skjemstad *et al.*, (1993), los suelos arenosos presentan una rápida mineralización de la materia orgánica en comparación con suelos arcillosos. Por lo anterior, se observa que en el suelo patrón (conservado) 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 patrón (conservado) 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. Por otra parte, las pérdidas de carbono en los diferentes paisajes de la llanura deltaica guardan el siguiente comportamiento: en la llanura alta las pérdidas son del 36 %; para la llanura media es de 40 %; para las superficies de depresión en la llanura media 60 %, para la llanura baja 67 % y para las barras alrededor de 90 %. Esto demuestra que la actividad agrícola intensiva y continuada ha ocasionado pérdidas en el contenido de carbono. De manera general, al comparar la condición en los diferentes paisajes, 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 (cuadro 6).

Estos impactos 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, 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.

Cuadro 6. Contenido de carbono orgánico en paisajes geomorfológicos de la llanura costera (Kg ha⁻¹).

| Paisaje Geomorfológico | No. Perfil | Espesor del horizonte o Profundidad (cm) | | |
|------------------------|--------------------------------------|--|--------|--------|
| | | 0-20 | 0-50 | 0 -100 |
| Llanura Alta | RM-1 | 26.1 | 65.7 | 121.9 |
| | (Cultivado) | 26.5* | 66.6* | 124.6* |
| | RM-2 | 40.7 | 89.1 | 167.3 |
| | (Conservado) | 40.6* | 90.2* | 169.9* |
| Llanura Media | TUX-40 | 53.5 | 117.9 | 195.6 |
| | (Conservado en palapar) | 53.5* | 119.0* | 197.7* |
| | TUX-39 | 32.2 | 81.5 | 147.4 |
| | (Cultivado) | 29.3* | 76.2* | 142.9* |
| | TUX-37 | 67.1 | 107.7 | 170.9 |
| | (Conservado en palapar) | 67.6* | 107.9* | 171.0* |
| Llanura Baja | TUX-38 | 27.8 | 53.3 | 90.4 |
| | (Cultivado antes, ahora en pastizal) | 29.9* | 55.7* | 93.9* |
| | TUX-48 | 10.9 | 24.1 | 38.3 |
| | (Cultivado) | 12.0* | 24.0* | 39.1* |
| | TUX-49 | 34.7 | 61.6 | 81.5 |
| | (Conservado) | 33.4* | 60.5* | 80.6* |
| Llanura Baja | IXC-45 | 3.89 | 9.09 | 12.30 |
| | Playa, con escasa vegetación | 3.89* | 9.10* | 12.9* |
| | IXC-42 | 0.82 | 2.00 | 3.82 |
| | Cultivado con árboles de coco | 0.86* | 2.07* | 3.99* |
| | IXC-43 | 0.96 | 2.38 | 4.80 |
| | Cultivado | 0.96* | 2.38* | 4.74* |
| | IXC-41 Palapar | 10.8 | 20.3 | 22.5 |
| | | 10.8* | 20.7* | 23.7* |

COS=carbono orgánico del suelo, repetición. *

Lo anterior hace necesario reorientar y modificar los modelos tecnológicos de producción, donde se incluyan el uso de enmiendas, mejoradores orgánicos de suelos, biofertilizantes y, sobre todo, micorrizas, para ayudar a aumentar la superficie de acción de las plantas con el suelo, a través de la red de hifas que desarrollan estos hongos en el suelo, y con ello una mayor asimilación de nutrientes y humedad para las plantas. Al final, esto mejora la fertilidad del suelo, con mayor desarrollo foliar por las plantas y, por tanto, aumento en la retención de carbono. Se debe destacar que además de atender el problema agroproductivo que se ha producido, el mejoramiento del contenido de carbono en los suelos contribuye a la reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera y por tanto amortigua los efectos del cambio climático que se está produciendo hoy día.

Conclusiones

Los valores obtenidos al comparar suelos bajo diferentes sistemas de manejo (cultivados y conservados), muestran una pérdida de materia orgánica y, por lo tanto, de carbono orgánico, que en la llanura alta fueron de aproximadamente 36 %; en la llanura media de 40 % y en la llanura baja de 67 %.

En las barras paralelas hubo pérdidas de 90 %, lo que representa un aumento en la densidad aparente, confirmando que existe una correlación materia orgánica-densidad aparente que se traduce en pérdida o disminución en la estructura del suelo en los primeros 20 cm, así como cambios estructurales de granular a bloques, situación que, aunada a las condiciones climáticas de la región, favorece el lavado de las sustancias húmicas, resultando un contenido bajo en materia orgánica en los suelos, situación que en Arenosoles bajo cultivo, puede disminuir rápidamente por mineralización. Por lo tanto, no es recomendable cultivarlos, pues presentan una rápida mineralización de la materia orgánica en comparación con suelos arcillosos.

Bibliografía

- Ojeda, D.A., M. Stein & D. López-Hernández (2009). Secuestro de carbono orgánico y cambios de fertilidad en un Ultisol de sabanas en la Amazonía Venezolana. *Bioagro* 21(3): pp. 195-202.
- Amato, M., & J.N. Ladd (1992). Decomposition of ¹⁴C-labelled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 24: pp. 455-464.
- Basaras, M., G. Erpul, A. E. Tercan & M.R. Canga (2008). The effects of land use changes on some soil properties in Indagi Mountain Pass_Cankiri, Turkey *Environ. Monitoring and assessment* 136: pp. 101-119.
- Bayer, C., M. Neto, L. Mielniczuk, C. Pillon & L. Sangoi (2001). Changes in Soil Organic Matter Fractions under subtropical No-Till Cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:pp. 1473-1478.
- Bojórquez, I., A. Hernández, D. García, O. Nájera, F. Flores, A. Madueño & R. Bugarín (2007). Características de los suelos Cambisoles y Fluvisoles de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 28(1):pp. 19-24.
- Bojórquez, I., O. Nájera, D. García, A. Hernández, A. Madueño, R. Bugarín (2006). Formación de suelos y principales suelos de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 26(4): pp. 34-45.
- Crovetto, C. (1996). Stubble over the soil. The vital role of the plant residue in soil management to improve soil quality. Special Publication 19. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- Dubrovina, I. (1999). An experience of a large scale soil mapping with the use of a new Russian Soil Classification system. Abstracts International conference «Soil Geography: New Horizons». Huatulco, Oaxaca, México.
- García-Silva, R., D. Espinosa-Victoria, B. Figueroa-Sandoval, N.E. García-Calderón & J.F. Gallardo-Lancho (2006). Reservas de carbono orgánico y de fracciones húmicas en un Vertisol sometido a siembra directa. *Terra Latinoamericana* 24: pp. 241-251.

- González, A., I. Bojórquez, O. Nájera, D. García, A. Madueño & F. Flores (2009). Regionalización ecológica de la llanura costera norte de Nayarit, México. Vol. 69: pp. 21-32.
- Hernández, A., M. Ascanio, M. Morales, F. Morell & Y. Borges (2006). Cambios globales en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisol ferrálicos, éutricos, ródicos) de la llanura roja de La Habana. *Cultivos Tropicales* 24(2): pp. 41-55.
- Hernández, A., M. Morales, F. Morell y Borges, D. Vargas, F. Funes, F. Monzote, F. Marentes & H. Ríos (2009). La formación agrogénica en los suelos ferralíticos rojos lixiviados (Nitisoles ferrálicos, éutricos, ródicos) de provincia La Habana. Universidad Agraria de la Habana (UNAH), Cuba.
- Hernández, A., J.I. Bojórquez Serrano, F. Morell Planes, A. Cabrera Rodríguez, Miguel O. Ascanio García, Juan Diego García Paredes, A. Madueño Molina & O. Nájera González (2010). Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. Publicado en formato digital por la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ISBN: 978-607-7668-27-9. 80 p.
- Hernández Jiménez, Alberto, Marisol Morales Díaz, Adriano Cabrera Rodríguez, Miguel O Ascanio García, Yenia Borges Benítez, Dania Vargas Blandino & Andy Bernal Fundora (2013). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*, Vol. 34, No. 3, pp. 45-51.
- IIUSS, Working Group, WRB, 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 103. FAO, ISRIC, 117 pp.
- Ladd, J.N., R.C. Foster & J.O. Skjemstad (1985). Soil structure: Carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma* 56: pp. 401-434.
- Lal, R., R. Follet, B.A. Stewart & J.M. Kimble (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*, Vol. 172, No. 12, pp. 943-956.
- Manna, M.C., P.K. Ghoshy C.L. Acharya (2003). Sustainable crop production through management of soil organic carbon in semiarid and tropical India. *J. Sustainable Agric.* 21: pp. 87-116.
- Martínez-Trinidad, S., H. Cotler, J.D. Etchevers-Barra, V.M. Ordaz-Chaparro y F. de León-González (2008). Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical

seco. *Terra Latinoamericana* 26: pp. 299-307.

Morales, M., A. Hernández, F. Marentes, F. Funez-Monzote y Borges, F. Morell, D. Vargas & H. Ríos (2008). Nuevos aportes sobre el efecto de la disminución de materia orgánica en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *RevistaAgrotecnia de Cuba*, vol. 32, pp. 57-64.

Morell, P. F. & H.A. Jiménez (2008). Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. *Agron. Trop.* 58:pp. 335-343.

Murray-Núñez, R. M., J. Bojórquez, A. J. Hernández, M.G. Orozco, J.D. García, H.G. Ontiveros & J. Aguirre (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias*, vol. 1, no. 3, año 2, pp. 27- 35. ISSN 2007-3380.

Murray, R. M., M. G.Orozco, A. Hernández, C. Lemus, O Nájera (2014). El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo 1 *Avances en Investigación Agropecuaria*. 8(1): 23-31. Issn 0188789-0

Roscoe, R.,y P.Buurman (2003). Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Tillage Res.* 70: pp. 107-119.

Skjemstad, J.O., L.J. Janik, M.J. Head, S.G. McLure (1993). High energy ultraviolet photo-oxidation: a novel technique for studying physically protected organic matter in clay and silt-sized aggregates. *J. of Soil Sci.* 44:pp. 485-499.

Soil Survey Staff, 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA, undécima edición, 365 pp.

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

Varallayay, G. (1990). Types of soil processes and changes. In *Global Soil Change Int. Inst. for Applied System Analysis, Laxemburg, Austria*, pp. 41-62.