

SUELO

ARTÍCULO ORIGINAL



CU-ID: <https://cu-id.com/2284/v12n2e05>

# Cambios en las reservas de carbono orgánico en suelos monocultivados con caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

## *Changes of Carbon Organic Stocks in Soils Planted with Sugarcane (*Saccharum spp.*)*

Dr.C. Maribel González-Hidalgo<sup>I</sup>, MSc. Ledislana Vazquez-Lopez<sup>II</sup> Dr.C. Pablo Pablos-Reyes<sup>II</sup>,  
MSc. George Martín-Gutiérrez<sup>III</sup>, Dr.C. Emma Pineda-Ruiz<sup>IV</sup>

<sup>I</sup> Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente Sur, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>III</sup> Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín Guaro, Holguín. Cuba.

<sup>IV</sup> Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, ETICA Centro Villa Clara. Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.

**RESUMEN.** Las reservas de carbono orgánico del suelo son el resultado del balance que se establece entre sus entradas y salidas, gobernadas, además de por factores ambientales, por la cantidad y calidad de los residuos de cosecha. La investigación se llevó a efecto en cuatro áreas donde se cultiva caña de azúcar experimentalmente en diferentes condiciones edafoclimáticas, con el objetivo de determinar el balance del carbono, la cantidad mínima de residuos de cosecha a dejar en el campo sin que la sostenibilidad para producir se afecte; así como la tasa de conversión de carbono, influidos por el manejo, fundamentalmente, utilizando el modelo unicompartimental de Henin y Dupuis. Las mayores ganancias de carbono se detectaron en el suelo Ferralítico rojo de Matanzas ( $0,11 \pm 0,003$  t/ha/año) y las menores en el Oscuro plástico gleyzoso Negro de Holguín ( $0,05 \pm 0,001$  t/ha/año), mientras que las mayores pérdidas correspondieron al suelo Pardo con carbonatos plastogénico de Santiago de Cuba ( $0,90 \pm 0,016$  t/ha/año) y las menores al Oscuro plástico gleyzoso Negro de Holguín ( $0,53 \pm 0,006$  t/ha/año). La presencia de residuos contribuyó a mayores entradas de carbono al suelo, comparada con la quema de estos en Holguín. Con relación a la cantidad mínima de residuos a dejar en los campos, los mayores valores se detectaron en los suelos Ferralítico rojo de Matanzas ( $9,31 \pm 0,01$  t/ha/año), seguido de los suelos Pardo con carbonato de Villa Clara; mientras que los menores se observaron en los suelos Oscuro plástico gleyzoso Negro de Holguín y Pardo con carbonatos Plastogénico de Santiago de Cuba. Se recomiendan estrategias de manejo que ayuden a neutralizar la pérdida de carbono del suelo.

**Palabras clave:** Cuba, manejo del suelo, quema, residuos de cosecha.

**ABSTRACT.** Soil organic carbon reserves are the result of the balance established between its inputs and outputs, governed, in addition to environmental factors, by the quantity and quality of crop residues. The research was carried out in four areas where sugarcane is grown experimentally under different edaphoclimatic conditions, aimed at determining the carbon balance, the minimum amount of crop residues to leave in the field without sustainability to produce being affected; as well as the carbon conversion rate, influenced by management, fundamentally, using the Henin and Dupuis unicompartimental model. The highest carbon gains were detected in Ferralítico Rojo soil of Matanzas ( $0,11 \pm 0,003$  t/ha/year) and the lowest in the Oscuro Plástico Gleyzoso Negro of Holguín ( $0,05 \pm 0,001$  t/ha/year), while the highest losses corresponded to the Pardo con Carbonatos Plastogénico from Santiago de Cuba ( $0,90 \pm 0,016$  t/ha/year) and the lowest to Oscuro Plástico Gleyzoso Negro from Holguín ( $0,53 \pm 0,006$  t/ha/year). The presence of residues contributed to higher carbon inputs to the soil, compared to the burning of these in Holguín. Regarding the minimum amount of residues to leave in the fields, the highest values were detected in Ferralítico Rojo soils of Matanzas ( $9,31 \pm 0,01$  t/ha/year), followed by the Pardo con Carbonatos of Villa Clara; while the minors one were observed in the Oscuro Plástico Geysozo Negro soils from Holguín and Pardo con Carbonatos Plastogénico from Santiago de Cuba. Management strategies that help neutralize the soil carbon losses are recommended.

**Keywords:** Cuba, Soil Management, Burn, Harvest Trash

<sup>I</sup> Autora para correspondencia: Maribel González-Hidalgo, e-mail: [maribel.gonzalez@inica.azcuba.cu](mailto:maribel.gonzalez@inica.azcuba.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5054-6106>

**Recibido:** 13/09/2021.

**Aprobado:** 14/03/2022.

## INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente esencial en todas las funciones básicas del suelo, motivo por el cual su estudio reviste gran importancia, pues la tendencia mundial de éste es hacia su disminución en la medida en que los suelos son explotados, causa de preocupación tanto nacional como internacional, debido a que su presencia es sinónimo de calidad del suelo para producir (Rumpel *et al.*, 2020).

El mal manejo del suelo es una de las causas esenciales en los cambios del COS, con influencia directa en la disminución de sus reservas (Lal, 2021). De acuerdo con este autor, los principios del secuestro COS, un determinante crítico de la calidad/funcionalidad del suelo y los servicios ecosistémicos, se refieren a un recurso renovable a escala decenal. Por tanto, dos estrategias básicas para mejorar el recurso COS de renovación lenta son: i) crear un ecosistema positivo y un balance de carbono (C) del suelo para que su entrada a partir de la biomasa supere las pérdidas por descomposición, erosión y lixiviación; y ii) aumentar el tiempo medio de residencia del COS para que no se reemita a la atmósfera (Lal, 2018).

En este contexto, según Lal (2021), son principios básicos del secuestro de COS. las seis "R" de su custodia (R1: Reducir las pérdidas de suelo y proteger el COS existente; R2: Reciclar el C de la biomasa; R3: Restaurar suelos agotados y degradados; R4: Realignar las entradas de C de la biomasa con las salidas; R5: Redefinir la funcionalidad del suelo en función de los límites críticos específicos de COS en la zona de raíces; y R6: Revisar y actualizar las entradas de fertilizantes como CNPK en lugar de NPK).

La mejor utilización de los suelos es aquella en la que los parámetros de fertilidad permanecen invariables en el tiempo y para conocerlos, el indicador por excelencia propuesto al nivel mundial lo constituye el COS Larson and Pierce, (1994), siendo importante su evaluación al adoptar cualquier estrategia de manejo (Hernández *et al.*, 2019).

Una parte importante del C del suelo proviene de los residuos de cosecha (J. L. N. Carvalho *et al.*, 2013), lo que implica la necesidad de dejar en los campos gran parte de ellos después de la cosecha, con la finalidad de tomar parte de estos para la obtención de energía limpia Carvalho *et al.*, 2017).

Las reservas de C en el suelo son el resultado del balance que se establece entre las entradas (fundamentalmente por vía fotosintética) y las salidas (debidas a la respiración). Existe una forma de conocer este comportamiento con la utilización de la modelación. El modelo unicompartmental de Henin and Dupuis (1945) ha sido propuesto para su determinación y para calcular la cantidad mínima de residuos (CMR) de cosechas a dejar en el campo sin que el COS se afecte, por lo que es objetivo de este trabajo determinar el balance del C orgánico y la CMR en diferentes condiciones edafoclimáticas y de manejo, al nivel experimental, utilizando este modelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron áreas dedicadas experimentalmente al cultivo de la caña de azúcar, con diferentes manejos, que incluyen ausencia y presencia de fertilización orgánica y mineral, así como manejo de residuos de cosecha (verdes y quemados). En la Tabla 1 aparece reflejada la información asociada a cada área experimental.

**TABLA 1. Ubicación y condiciones específicas de las áreas experimentales por provincia**

Provincia	Matanzas	Villa Clara	Holguín	Santiago de Cuba
Localidad	Jovellanos	Ranchuelo	Bloque Exptal. <i>Cristino Naranjo</i>	Palma Soriano
Ubicación	330.000 N y 485.500 E	285.000 N y 580.700 E	547.842 N y 233.330 E	583.010 N y 179.914 E
Tipo de suelo Hernández <i>et al.</i> (1975)	Ferralítico rojo Típico	Pardo con carbonatos Típico	Oscuro plástico gleyzoso Negro	Pardo con carbonatos Plastogénico
Profundidad (cm)	0-20	0-20	0-20	0-20
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,23	1,09	1,17	1,03
Temperatura media anual (°C)	24,2	24,1	24,8	24,5
Precipitación media anual (mm)	1400	1187	1128	1156
Período analizado	1981-2010	1988-2006	1990-1999	1998-2018
Tratamientos	Ciclo caña planta, sin fertilización mineral ni orgánica	Tratamientos: Con residuos y Sin residuos, contemplaban los sub-tratamientos: Testigo (sin N ni cachaza 80 t/ha cachaza fresca; 100kg/ha nitrógeno (urea): 40 t cachaza fresca+100 kg de nitrógeno (urea)	Tratamientos: Residuos quemados y Residuos verdes, contemplan los sub-tratamientos: Testigo (sin N ni cachaza fresca) 100 kg/ha nitrógeno (urea) 50 t cachaza fresca+100 kg de nitrógeno (urea) 80 t/ha de cachaza fresca	N-P-K (0-0-0; 0-25-50: 50; 100; 150; 200; 50-0-50; 50-50-50; 50-75-50; 50-100-50; 50-25-0; 50-25-100; 50-25-150; 50-25-200; 50-25-300) (este último tratamiento aplicado en planta para todo el ciclo).

El rendimiento agrícola de cada experimento, obtenido por pesaje directo de biomasa producida en cada parcela en el campo, utilizando un dinamómetro de 500 kg, acoplado a la alzadora, se tomó como base para el cálculo del aporte de C de los residuos

al C del suelo. El valor resultante es directamente proporcional al rendimiento y por tanto, a las entradas de C al suelo, razón por la que la dinámica de esta variable no se muestra.

Se conformaron bases de datos con la información generada en cada área experimental, que fueron procesadas y analizadas con el uso del programa de Statsoft, Statistica v.8.1, previa comprobación de su normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilks.

Para la determinación del balance del C en el suelo y de la CMR a dejar en los campos sin que su fertilidad se afecte, se utilizó el modelo unicompartmental propuesto por Henin and Dupuis (1945), basado en el equilibrio dinámico que se establece entre las entradas y las salidas de C al y desde el suelo, respectivamente, de acuerdo con la ecuación (1).

$$\frac{dC}{dt} = -k_2C + k_1A \quad (1)$$

donde:

$dC/dt$  es el valor de la tasa de variación anual de COS en t/ha; A es la cantidad de C añadida anualmente al suelo a partir de los residuos de cosecha en t/ha;

$k_1$  es el coeficiente de humificación, que representa el porcentaje de C que se integra al C del suelo (0,20), obtenido por González (2017).

Para determinar la tasa de conversión de C orgánico al C del suelo (CCOR) se utilizó la ecuación (2), basado en la variación en el tiempo del comportamiento de los residuos que quedan en el campo y se expresó en porcentaje.

$$CCOR = \frac{(CR + Cad - C Rem)}{C secuestrado} \quad (2)$$

donde: CR = 5 es el factor empleado para la transformación

de C humificado en C integrado al COS ( $1/0,20 = 5,00$ ), C ad es la entrada de C, C Rem es el C en los residuos de cosecha antes del muestreo (Inicial - final) y C secuestrado es el valor de la variación anual de COS ( $dC/dt$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Jovellanos, provincial Matanzas

Las pérdidas de COS disminuyeron en la medida en que el suelo se explotó con el monocultivo caña de azúcar (Figura 1). La caña de azúcar se planta en Cuba en ciclos de siete años, con cinco cortes. Todo el C que se acumula en cada uno de ellos, es perdido casi totalmente durante la preparación del suelo para el ciclo siguiente, lo que se manifiesta en las pérdidas de C, que, en este caso, son cada vez menores, con valores que oscilaron desde  $1,06 \pm 0,01$  en 1981 hasta  $0,59 \pm 0,014$  t/ha/año en 2010, debido al nuevo equilibrio que se alcanza en el C después de haber sido perturbado el suelo, que de acuerdo con lo planteado por (Lefèvre et al., 2017; Zamora et al., 2018) se interrumpe por las alteraciones del suelo.

La propensión a la disminución en las pérdidas de C está en correspondencia con el decremento del C en el suelo, pues éstas están acordes con la reserva de C existente en el mismo, comportamiento que es común para la mayoría de los casos estudiados, con excepción del estudio llevado a efecto en Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba.

Con relación a las ganancias de C, este suelo presentó valores de  $0,13 \pm 0,002$  en 1982 a  $0,06 \pm 0,0035$  t/ha/año en 2010, es decir, las entradas fueron cada vez menores debido, fundamentalmente a la disminución progresiva de los aportes de residuos, que son la fuente principal de suministro de C al suelo según Vera et al. (2019) y una de las causas que pudieran conllevar a la pérdida de su capacidad para producir.

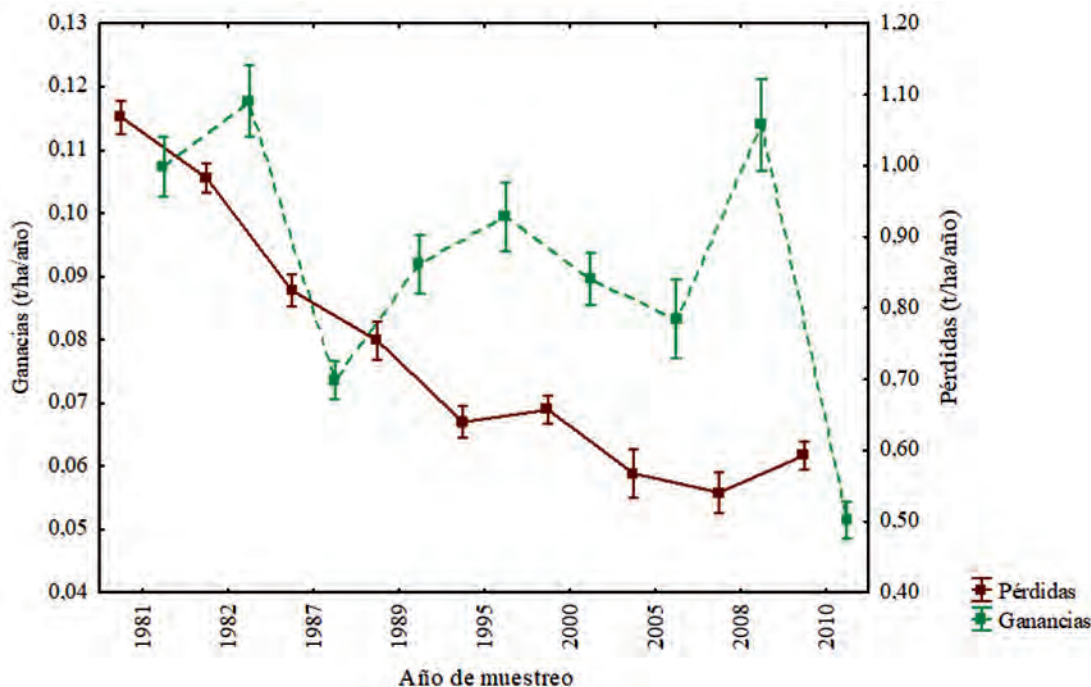


FIGURA 1. Dinámica de ganancias y pérdidas de C en suelo Ferralítico rojo de la provincia Matanzas. Los valores representan las medias  $\pm$  intervalo de confianza a una probabilidad de error de 5%.

### Ranchuelo, provincia Villa Clara

Las reservas de COS también en este caso, disminuyeron con el paso del tiempo hasta el año 1992, para luego en 1993 mostrar un valor máximo y luego disminuir, manteniendo cifras más o menos estables hasta el final del estudio y en correspondencia, las pérdidas se comportaron de igual

manera, alcanzando magnitudes desde  $0,92 \pm 0,008$  hasta  $0,60 \pm 0,05$  t/ha/año de C (Figura 2). Este comportamiento pudiera obedecer a factores tanto edáficos como ambientales, que influyen de manera decisiva en la heterogeneidad de sus reservas en el suelo según Lefèvre *et al.* (2017), lo que, en ocasiones, hace difícil comprender y explicar esta conducta.

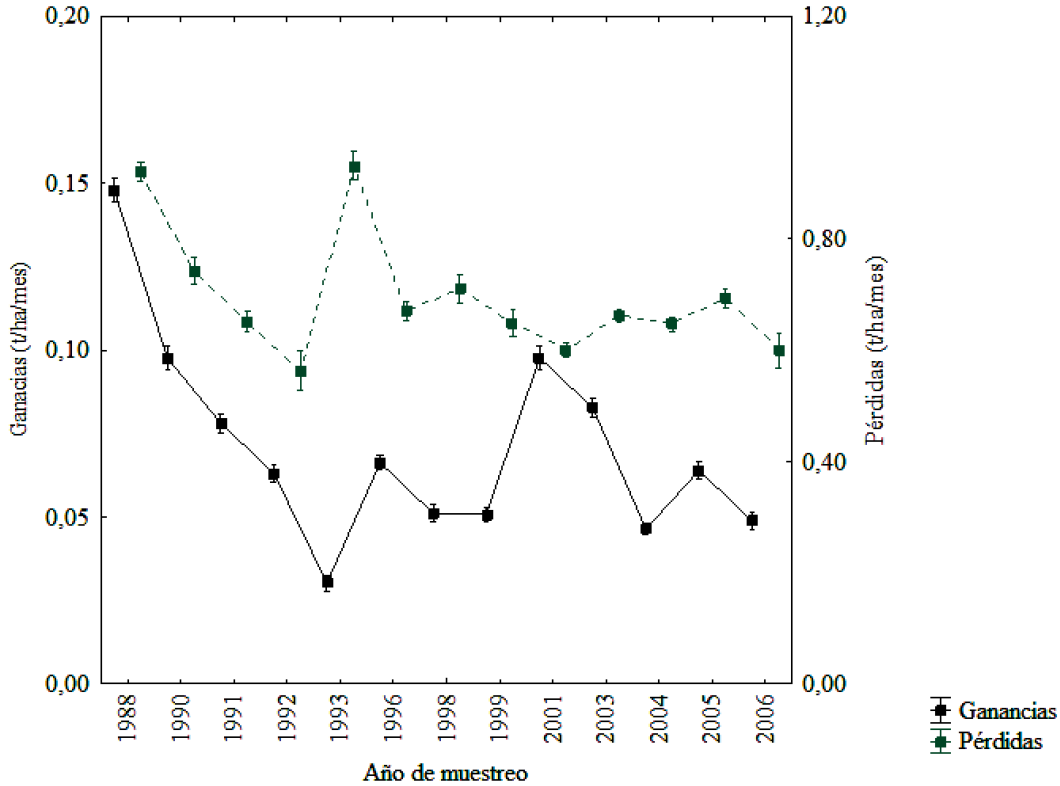


FIGURA 2. Dinámica de ganancias y pérdidas de C en suelo Pardo con carbonatos de la provincia Villa Clara. Los valores representan las medias  $\pm$  intervalo de confianza a una probabilidad de error de 5%.

Con relación a las ganancias de C, los valores oscilaron entre  $0,15 \pm 0,002$  en 1988 y  $0,05 \pm 0,001$  t/ha/año en 2006, lo que está en correspondencia con trabajos realizados por (Robertson & Thorburn, 2007) en Australia, quienes mediante métodos sofisticados de laboratorio, determinaron que solamente 13% del C de los residuos se incorpora al COS y el resto se pierde en forma de  $\text{CO}_2$ , con la consiguiente contribución al calentamiento de la tierra. Las entradas de C al suelo al ser, fundamentalmente, una función de la cantidad de residuos que queda en el campo, muestran las mismas variaciones que los rendimientos alcanzados por el cultivo en cada uno de los años estudiados. De esta manera, en el año 1993, los bajos rendimientos agrícolas alcanzados, contribuyeron en la misma medida al aporte de C al suelo y en consecuencia, mayores pérdidas.

Al estudiar la relación entre tratamiento (con residuos y sin residuos) y sub-tratamiento (fertilización orgánica y mineral), se observó un comportamiento similar entre ellos (Figura 3), por lo que habrá que profundizar en el estudio de otras variables del suelo capaces de detectar fehacientemente la influencia del manejo de los residuos sobre la calidad del suelo, así como la ausencia y presencia de las diferentes fuentes de nutrientes adicionadas al suelo.

El resultado es que ambas variables manifiestan el mismo comportamiento independientemente del tratamiento que recibieron. Sin embargo, en el tratamiento *Con residuos*, las ganancias, de manera general, estuvieron por encima de aquellas pertenecientes a las parcelas *Sin residuos*. Este comportamiento es comprensible, teniendo presente que, de acuerdo con (J. L. N. Carvalho *et al.*, 2013), las tres cuartas partes del C del suelo, proviene de los residuos.

Por tales motivos, la literatura internacional abunda sobre la necesidad de estudiar el C lábil, fracción esta que ha sido sugerida por su sensibilidad a las prácticas de manejo de (Sarkar *et al.*, 2021), en lugar del C total, porque este último, en ocasiones muestra un comportamiento dependiente del tratamiento que reciba el suelo o del grado de perturbación.

Otra variable que pudiera dar una luz en la influencia de estos factores externos al cultivo de la caña de azúcar, es el estudio de la biología del suelo, la cual está fuertemente influida por los aportes de C de los residuos de cosecha y de manera general, por el manejo que reciba el suelo, que tanta influencia tiene en la estructura del suelo según (Lefèvre *et al.*, 2017; Zamora *et al.*, 2018), y que habrá que tenerlo en cuenta para futuros estudios.

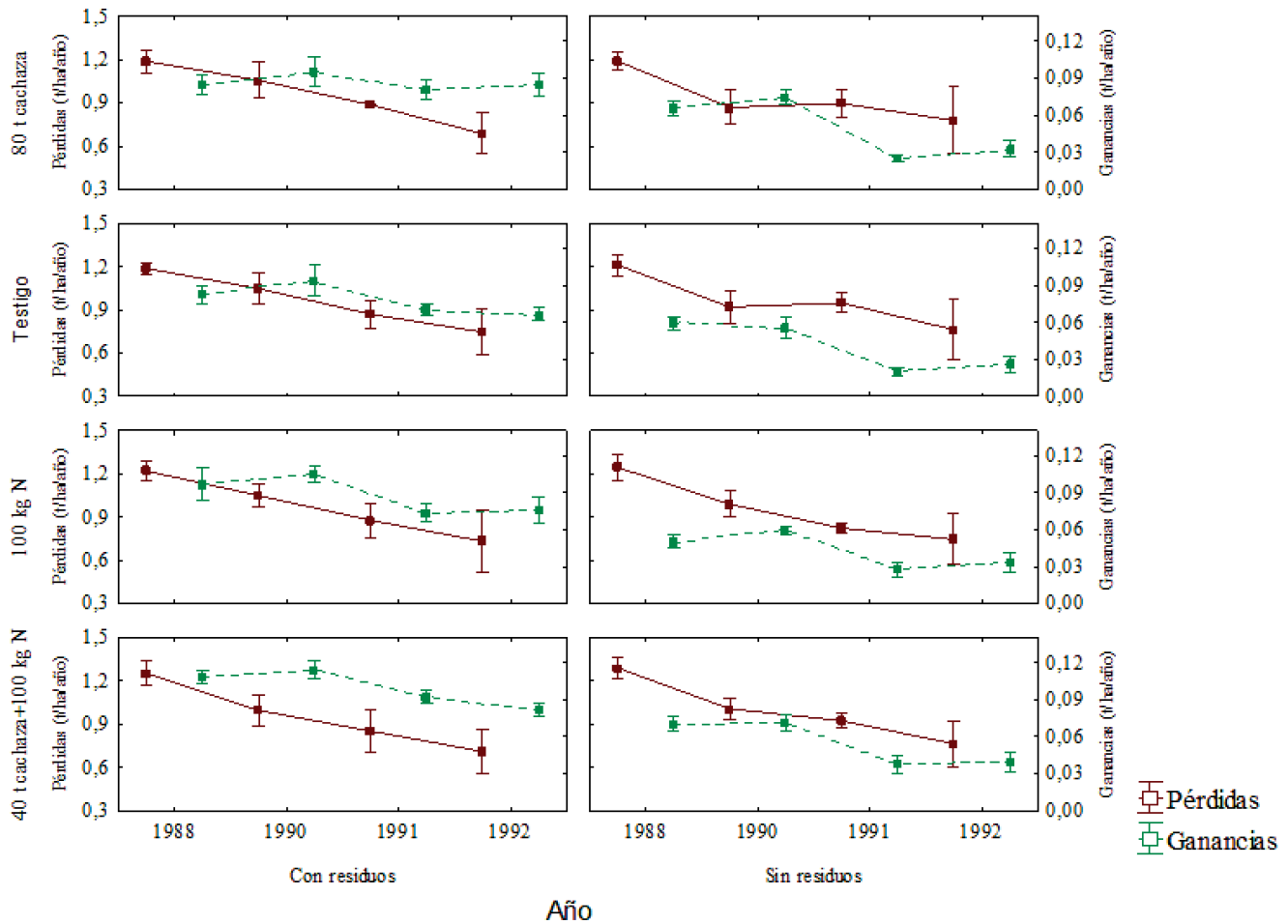


FIGURA 3. Dinámica de ganancias y pérdidas de C en suelo Pardo con carbonatos de Ranchuelo, provincia Villa Clara. Los valores representan las medias  $\pm$  intervalo de confianza a una probabilidad de error de 5%.

No obstante, los tratamientos *Con residuos*, mostraron aportes de C superiores a aquellos *Sin residuos*, lo que alerta sobre la necesidad de mantenerlos en el campo, al ser una situación crucial para contrarrestar las pérdidas anuales de C (Johansen et al., 2012).

### Guaro, provincia Holguín

A esta provincia correspondieron las menores entradas y las menores salidas de C, comparada con el resto, lo que obedece a la menor adición de residuos de cosecha al suelo debido a los bajos rendimientos agrícolas del cultivo, comparado con las demás provincias (Figura 4, Tabla 2).

A diferencia del suelo Pardo con carbonatos de Villa Clara, donde solo se retiraron los residuos, en el Oscuro plástico gleyzoso Negro de la provincia Holguín donde se quemaron, se observó una afectación negativa del balance del C comparado con aquellas parcelas donde no se quemaron, lo que da la medida de lo perjudicial que resulta esta práctica, capaz de afectar negativamente todas las funciones básicas del suelo, a las que está vinculado el COS (Figura 5). Al respecto (Vera et al., 2017), observaron la disminución de la relación C/N del suelo, que conllevó a una mayor velocidad de descomposición del C y mayores emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

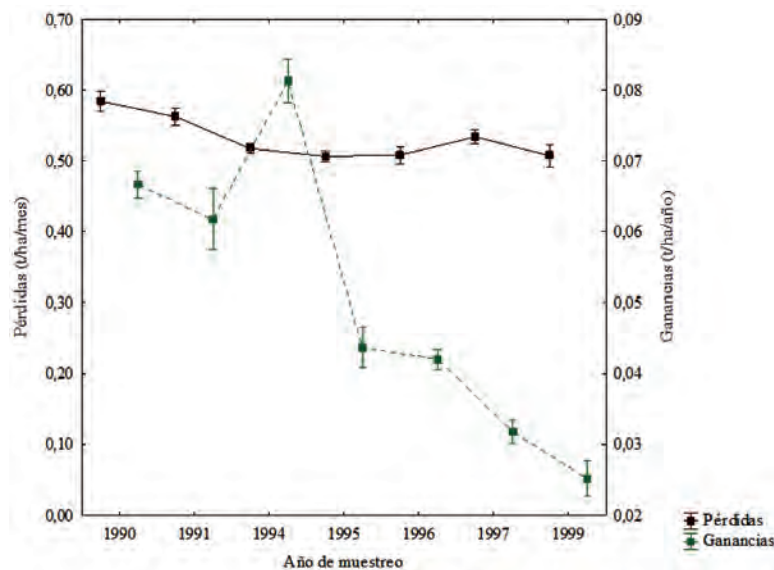


FIGURA 4. Dinámica de ganancias y pérdidas de C en un Vertisol de la provincia Holguín. Los valores representan las medias  $\pm$  intervalo de confianza a una probabilidad de error de 5%.

Los valores representan las medias  $\pm$  intervalo de confianza a una probabilidad de error de 5%.

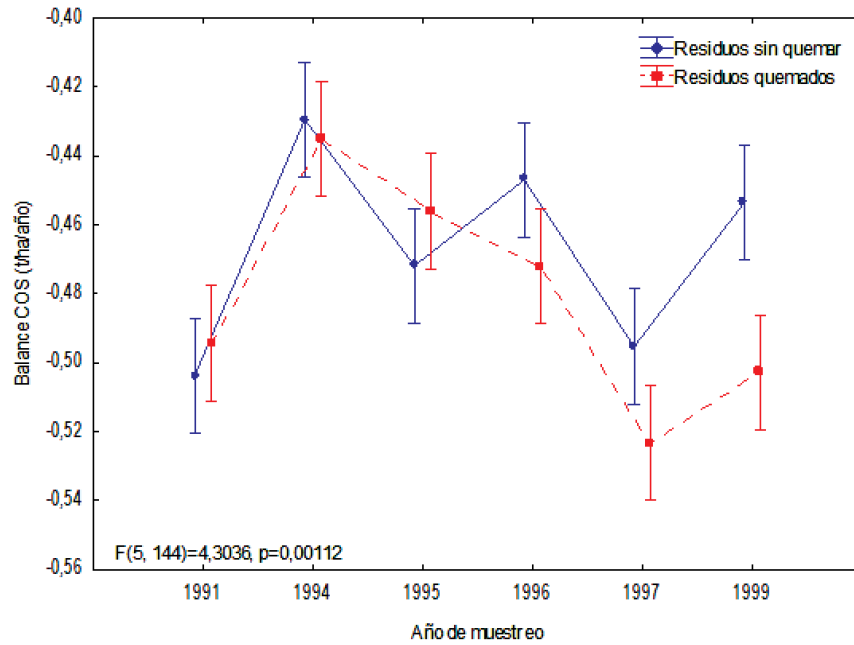


FIGURA 5. Comparación del balance del COS entre los tratamientos *Residuos quemados* y *Residuos sin quemar* en un suelo Oscuro plástico gleyzoso Negro de la provincia Holguín.

En las parcelas donde los residuos no se quemaron, el balance mostró valores cada vez más cercanos a cero, en señal de alcanzar, en el transcurso del tiempo, un equilibrio más rápido en las reservas de COS que en las parcelas donde se quemaron los residuos. Resultados similares fueron encontrados por (Vera *et al.*, 2019) en Argentina, donde la quema de los residuos de caña de azúcar condujo a un balance más negativo que en parcelas donde no se quemaron.

Pardo con carbonatos Plastogénico de Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba.

Mientras que, en el resto de las provincias estudiadas, las pérdidas de COS disminuyeron en la medida en que avanzó el tiempo, en Santiago de Cuba, éstas permanecieron relativamente constantes (Figura 6), presentando altibajos, cuyas causas habría que estudiar en profundidad, sobre todo en el periodo comprendido entre 2014 y 2018, donde se observaron las mayores pérdidas de C.

El comportamiento de las ganancias de C es comprensible, teniendo en cuenta las oscilaciones de los rendimientos, de los cuales depende, en gran parte.

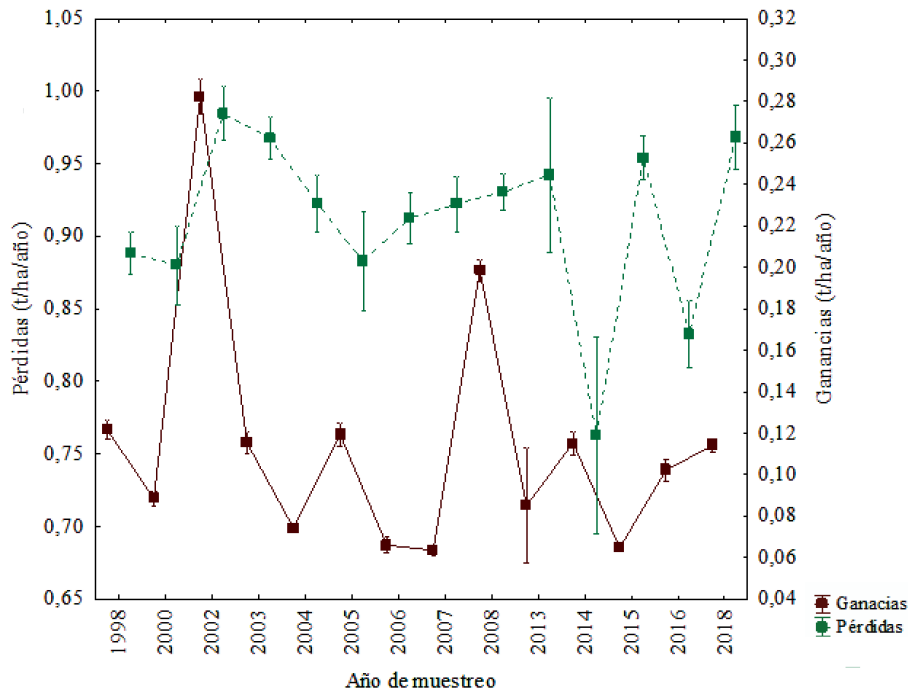


FIGURA 6. Ganancias y pérdidas de C en un suelo Pardo con carbonatos Plastogénico de Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba. Los valores representan las medias  $\pm$  intervalo de confianza a una probabilidad de error de 5%.

En la Tabla 2 se exponen los valores promedios del periodo estudiado por provincia de las ganancias, las pérdidas, la CMR y la tasa de conversión de C.

**TABLA 2. Valores promedios del rendimiento, la CMR y las entradas y salidas de C durante el periodo estudiado por tipo de suelo**

Provincia	Suelo	Ganancia		Pérdida		CMR <sub>BS</sub> (t/ha/año)	Rendimiento (t/ha)	Tasa de conversión de C (%)
		C (t/ha/año)						
Matanzas	FRT	0,11	±0,003	0,74	±0,01	9,31±0,01	95,01	4,97
Villa Clara	PCT	0,07	±0,003	0,70	±0,02	7,73±0,11	100,40	4,52
Holguín	OPGN	0,05	±0,001	0,53	±0,006	5,17±0,07	66,53	4,94
Santiago de Cuba	PCP	0,11	±0,003	0,90	±0,016	6,38±0,11	105,62	5,37

CMR<sub>BS</sub> Cantidad mínima de residuos en base seca; FRT es Ferralítico rojo Típico; PCT es Pardo con carbonatos Típico; OPGN es Oscuro plástico gleyzoso Negro; PCP es Pardo con carbonatos Plastogénico.

El suelo que más C pierde anualmente es el Pardo con carbonatos plastogénico de la provincia Santiago de Cuba, seguido del Ferralítico Rojo Típico de Matanzas y el Pardo con carbonatos Típico de Villa Clara. El menor valor se observó en el suelo OPGN de la provincia Holguín, lo que pudiera estar relacionado con el menor rendimiento obtenido en este experimento, pues las ganancias también estuvieron por debajo de los demás suelos.

El comportamiento diferente mostrado por las cuatro provincias estudiadas, pudiera deberse a factores edafoclimáticos vinculados a cada una de ellas, como el tipo de suelo y las precipitaciones.

En cambio, la tasa de conversión de C de cada una de las provincias fue bastante similar, correspondiendo el valor absoluto mayor a la provincia Santiago de Cuba, lo que puede ser una de las razones por las que el C no varía en el tiempo en este experimento, comparado con el resto de los lugares estudiados.

De manera general, correspondió una tasa mayor de conversión de C a aquellos suelos donde deben dejarse mayores cantidades de residuos para mantener su equilibrio dinámico.

### Cantidad mínima de residuos (CMR)

Con relación a la CMR a dejar en los campos para mantener el COS estable, todos los suelos mostraron magnitudes diferentes (Tabla 2).

Los suelos Oscuro plástico gleyzoso Negro y Pardo con Carbonatos de Holguín y Santiago de Cuba, mostraron menores valores de CMR que los Ferralítico rojo y Pardo con carbonatos de Matanzas y Villa Clara, respectivamente, lo cual obedece a la menor tasa de descomposición presentada en aquellos suelos donde el intercambio gaseoso se dificulta, por la prevalencia de arcillas dilatables que ralentizan el proceso de descomposición. (De Oliveira et al., 2012) encontraron un comportamiento similar al comparar suelos de textura media y pesada en Brasil, donde el suelo arcilloso necesita una menor CMR que el medianamente arcilloso.

### CONCLUSIONES

- Las mayores ganancias de carbono se detectan en el suelo Ferralítico rojo de Matanzas y las menores en el Oscuro plástico gleyzoso Negro de Holguín.

- Las mayores pérdidas corresponden al suelo Pardo con carbonatos plastogénico de Santiago de Cuba y las menores al Oscuro plástico gleyzoso Negro de Holguín.
- La presencia de residuos contribuye a entradas superiores de carbono al suelo comparada con la quema de los mismos.
- La mayor cantidad mínima de residuos de cosecha corresponde a los suelos Ferralítico rojo de Matanzas y Pardo con carbonatos de Villa Clara y la menor a los suelos Vertisuelos de Santiago de Cuba y Holguín.
- La tasa de conversión de carbono resulta similar en los cuatro suelos estudiados, considerando sus valores bajos, razón por la que queda sin descomponer una gran cantidad de residuos de cosecha en la superficie del suelo y de manera general, a tasas mayores correspondieron cantidades superiores de residuos para mantener el equilibrio dinámico del suelo.

### RECOMENDACIONES

Profundizar en el estudio del carbono orgánico del suelo, vinculado a las variaciones edafoclimáticas de cada lugar.

Estudiar otras fracciones de carbono orgánico más sensibles al manejo que reciba el suelo.

Adoptar un método que incentive la descomposición de los residuos de cosecha con la finalidad de integrar la mayor cantidad de su carbono a la matriz del suelo y así evitar que las pérdidas superen a las ganancias, como estrategia para enfrentar el cambio climático.

### CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: Maribel González-Hidalgo, Curación de datos: Maribel González-Hidalgo. Análisis formal: Maribel González; Mario E. de León Ortiz; Ledislina Vazquez; Emma B. Pineda-Ruiz; Pablo Pablos-Reyes, George Martín-Gutiérrez. Investigación: Maribel González; Mario E. de León Ortiz; Ledislina Vazquez; Emma B. Pineda-Ruiz; Pablo Pablos-Reyes, George Martín-Gutiérrez. Metodología Maribel González-Hidalgo. Supervisión: Maribel González-Hidalgo, Mario E. de León-Ortiz. Papeles/ Redacción, proyecto original: Maribel González-Hidalgo. Redacción, revisión y edición: Maribel González-Hidalgo, Mario E. de León-Ortiz, Emma B. Pineda-Ruiz.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho, J. L., Hudiburg, T. W., Franco, H. C., & DeLucia, E. (2017). Contribution of above-and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. *Gcb Bioenergy*, 9(8), 1333-1343. ISSN: 1757-1693
- Carvalho, J. L. N., Otto, R., Franco, H. C. J., & Trivelin, P. C. O. (2013). Contributions of sugarcane crop residues and root systems to soil carbon. *International Society of Sugar Cane Technologists*, 28, 1-7.
- De Oliveira, F. A., Sá, J. C. de M., Harms, M. G., Miara, S., Briedis, C., Quadros, N. C., Dos, J. B., & Canalli, L. B. (2012). Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(5), 1583-1590. <https://doi.org/10.1073/pnas.1002592107> [15-4-2014]
- González, H. M. (2017). *Análisis del comportamiento del carbono orgánico de un suelo Ferralítico Rojo sometido a diferentes manejos con caña de azúcar (Saccharum spp) utilizando la modelación* [Tesis presentada en opción al grado de Doctora en Ciencias Agrícolas]. Universidad Agraria de La Habana.
- Henin, S., & Dupuis, M. (1945). Essai de bilan de la matière organique des sols. *Ann. Agron.*, 15, 161-172.
- Hernández, A., Pérez, J., & Bosch, O. (1975). Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba. Serie Suelos*, 23, 1-25.
- Hernández, J. A., Pérez-Jiménez, J. J. M., Bosch, I. D., & Castro, S. N. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1). ISSN: 0258-5936
- Johansen, C., Haque, M., Bell, R., Thierfelder, C., & Esdaile, R. (2012). Conservation agriculture for small holder rainfed farming: Opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. *Field Crops Research*, ISSN: 0378-4290, 132, 18-32. ISSN: 0378-4290
- Lal, R. (2018). Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global change biology*, 24(8), 3285-3301, ISSN: 1354-1013,.
- Lal, R. (2021). Soil management for carbon sequestration. *South African Journal of Plant and Soil*, ISSN: 0257-1862, 38(3), 231-237. <https://doi.org/10.1080/02571862.2021.1891474>
- Larson, W., & Pierce, F. (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. En *Defining soil quality for a sustainable environment* (Doran, J.W. col., Vol. 35, pp. 37-51). Madison: ASA/SSSA.
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). *Carbono orgánico del suelo: El potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO).
- Robertson, F. A., & Thorburn, P. (2007). Management of sugarcane harvest residues: Consequences for soil carbon and nitrogen. *Soil Research*, 45(1), 13-23. ISSN: 1838-6768
- Rumpel, C., Amiraslani, F., Chenu, C., Garcia, C. C., Martin K, Koutika, L., Ladha, J., Madari, B., Shirato, Y., & Smith, P. (2020). The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio*, 49(1), 350-360. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01165-2>. 2019
- Sarkar, D., Sinha, A. K., Danish, S., Bhattacharya, P. M., Mukhopadhyay, P., Salmen, S. H., Ansari, M., & Datta, R. (2021). Soil organic carbon and labile and recalcitrant carbon fractions attributed by contrasting tillage and cropping systems in old and recent alluvial soils of subtropical eastern India. *PloS one*, 16(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259645>
- Vera, J. C., Erazzú, L., & Acreche, M. (2019). *Effects of sugarcane trash burning and nitrogen fertilization on soil-carbon balances in Argentina*. 30, 1172-1178.
- Vera, J. C., Valeiro, A., Posse, G., & Acreche, M. M. (2017). To burn or not to burn: The question of straw burning and nitrogen fertilization effect on nitrous oxide emissions in sugarcane. *Science of The Total Environment*, 587, 399-406.
- Zamora, M. B. P., Mendoza, C. M., Sangerman, J. D. M., Quevedo, N. A., & Navarro, A. B. (2018). Soil management in organic carbon conservation. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1787-1799. ISSN: 2007-0934

---

Maribel González-Hidalgo, Inv., Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CUJAE km 1½, Boyeros, La Habana, CP 19390. Teléf. 72624438. e-mail: [maribel.gonzalez@inica.azcuba.cu](mailto:maribel.gonzalez@inica.azcuba.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5054-6106>

Ledisliana Vazquez-Lopez, Inv. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente Sur. Los Coquito km 2 ½, Palma Soriano, Santiago de Cuba. Teléf. 22502254 ext. 115. e-mail: [ledisliana.vazquez@inicas.azcuba.cu](mailto:ledisliana.vazquez@inicas.azcuba.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2832-2469>

Pablo Pablos Reyes Inv. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente Sur. Los Coquito km 2 ½, Palma Soriano, Santiago de Cuba. Teléf. 22502254 ext. 115. e-mail: [pablo.reyes@inicas.azcuba.cu](mailto:pablo.reyes@inicas.azcuba.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1820-0142>

George Martín-Gutiérrez, Inv. Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín Guaro, s/n. Mayarí. Holguín. Cuba. Teléf. 24596406. e-mail: [george.martin@inica.azcuba.cu](mailto:george.martin@inica.azcuba.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4631-3013>

Emma Pineda-Ruiz, Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. ETICA Centro Villa Clara. INICA. Autopista Nacional km 246. AP 20. Ranchuelo. Villa Clara. Cuba. Teléf. 42451520. e-mail: [emma.pineda@inica.azcuba.cu](mailto:emma.pineda@inica.azcuba.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9880-3060>

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.