

EVALUACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE LA COMPACTACION EN VERTISUELOS

EVALUATION OF DIFFERENT TECHNOLOGIES FOR THE COMPACTION MANAGEMENT IN VERTISOIL

Marylen Santa María Rodríguez, Rigoberto Martínez Ramírez, Inoel García Ruiz, Evelio Concepción Cruz, Odonnell Hernández Hernández y Eloy Pérez Correa

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera a CUJAE, km. 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, C.P. 19390.

E mail: marylen.santamaria@inica.azcuba.cu

Resumen

En el cultivo de la caña de azúcar la compactación de los suelos es un problema difícil de corregir por su elevado costo. Esta ocurre por el tráfico de los equipos de cosecha cuando se prioriza el rendimiento operacional de las máquinas e implementos y se deja al suelo como última opción lo cual incide en la caída de los rendimientos. El trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de tres tecnologías para el manejo de la compactación sobre el rendimiento agrícola en caña de azúcar. Se analizaron seis cosechas de tres experimentos realizados en suelos del agrupamiento agroproductivo Vertisuelos, en seco y ciclo de segundo y tercer retoño cosechados en dos categorías de humedad del suelo al momento de la cosecha. Se evaluaron el rendimiento agrícola y el impacto económico. Los datos se procesaron estadísticamente mediante análisis de varianza al 0,05 de probabilidad de error con el empleo del paquete estadístico Statgraphics v. 6.0 y prueba de Duncan a igual nivel de significación para la separación de las medias cuando se presentaron diferencias significativas. Se concluyó que la cobertura de residuos agrícolas de cosecha y la descompactación, como tecnologías para el manejo de la compactación en los Vertisuelos, aplicadas según la metodología empleada en el estudio, incrementan el rendimiento agrícola y las ganancias.

Palabras clave: caña de azúcar, cultivo, rendimiento agrícola, residuos agrícolas de cosecha, retoños.

Abstract

In sugarcane crop, soil compaction is a difficult problem to correct due to its high cost. This occurs due to the traffic of harvesting equipment, which prioritizes the operational efficiency of machines and implements, leaving soil as a last resort, resulting in decreased yields. The study aimed to evaluate the effect of three compaction management technologies on sugarcane agricultural yield. Six harvests from three experiments were analyzed on soils in the Vertisuelos agricultural cluster, under dryland conditions and during the second and third-shoot cycles harvested in two categories of soil moisture at harvest time. Agricultural yield and economic impact were assessed. Data were statistically processed using analysis of variance at a 0.05 error probability level using the Statgraphics v. 6.0 statistical package and the Duncan test at an equal level of significance to separate the means when significant differences were present. It was concluded that coverage of agricultural crop residues and decompaction, as technologies for managing compaction in Vertisols, applied according to the methodology employed in the study, increase agricultural yield and profits.

Keywords: Sugarcane, tillage, agricultural yield, coverage of agricultural crop residues, shoots.

Introducción

La caña de azúcar en Cuba se encuentra plantada en una diversidad de suelos que abarcan los 10 Agrupamientos Agroproductivos en uso para el cultivo. Entre estos agrupamientos se encuentran los Vertisuelos que ocupan aproximadamente el 23.1% del área total plantada de caña en el país. Son suelos arcillosos, pesados, con un alto nivel de fertilidad, severamente afectados desde el punto de vista físico debido a la relativa abundancia en el complejo adsorbente del ión Mg^{+2} , a veces de Na^{+1} , y el predominio de la montmorillonita (Viñas *et al.*, 2018).

Se reconoce que la compactación de los suelos es una de las principales causas de la disminución del rendimiento de los cultivos en muchos países (Keller *et al.*, 2019). En Cuba varias investigaciones afirman que cuando el grado de mecanización en la cosecha es elevado, sobre todo cuando esta se realiza en condiciones de alta humedad, se crea un grave problema de compactación en los suelos que conduce a la declinación del rendimiento agrícola en los retoños con pérdidas de hasta tres toneladas de azúcar por ha; por lo que se recomienda la ejecución de la descompactación del suelo (García y Toledo, 1984, Cuellar *et al.*, 2002 y Rodríguez *et al.*, 2013).

No obstante, los Vertisuelos naturalmente no presentan problemas de compactación, debido a su alto contenido de arcilla y a la presencia de la montmorillonita en su composición mineralógica que los hace capaces de, dentro de ciertos límites, descompactarse por sí mismos y volver a sus estados iniciales ante la ocurrencia de ciclos de humedecimiento-secado. Este fenómeno de auto descompactación natural es una manifestación de la capacidad de resiliencia de estos suelos ante la acción antropógena (García *et al.*, 2010, Martínez y Morales, 2016).

Para los Vertisuelos, Zuaznábar *et al.* (2014) señalan que no es recomendable el mantenimiento de una cobertura inalterada de residuos agrícolas de cosecha (RAC) por su mal drenaje interno y externo, dado por su textura y composición mineralógica así como por su posición relativamente baja y escasa pendiente. Sin embargo, Martínez (1999) y Martínez *et al.* (2021), señalan que, cuando estos suelos están situados en una posición relativamente más alta y son cosechados a inicios de zafra, precedidos de un período seco, el RAC tiene efectos positivos sobre el rendimiento agrícola en las áreas de secano, lo que atribuyen a la conservación de las reservas de humedad las que en estas condiciones son generalmente insuficientes para satisfacer las necesidades hídricas del cañaveral.

Durante el decursar de los últimos 60 años, en el país se han sucedido varias tendencias en el manejo de los retoños. En ocasiones se ha insistido en la necesidad del cultivo profundo y en otras en el mantenimiento de la cobertura inalterada de RAC, sin un criterio técnico fundamentado y sin considerar las particularidades de los suelos y su estado de humedad al momento de la cosecha.

El criterio técnico fundamentado para la ejecución de la descompactación o el mantenimiento de la cobertura inalterada de RAC es la metodología basada en impactos críticos de campo elaborada por García *et al.* (2018), la cual permite determinar si un suelo está compactado o no, mediante la evaluación de la resistencia del suelo a la penetración con el penetrómetro de impacto, y seleccionar la mejor tecnología de manejo para la mitigación de la compactación.

Esta metodología compara el número de impactos obtenidos en el campo con el penetrómetro con valores de impactos críticos; calculados por tipo de suelo para diferentes rangos de humedad y profundidad, a partir del efecto de la cantidad de agua en el suelo sobre la resistencia a la penetración y el valor de resistencia considerado como límite crítico para las plantas monocotiledóneas (García *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta lo antes planteado, se realizó el presente trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de tres tecnologías para el manejo de la compactación en suelos Vertisuelos sobre el rendimiento agrícola en caña de azúcar.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en Vertisuelos según la clasificación agroproductiva de los suelos de Cuba (Viñas *et al.*, 2018) y abarcó seis cosechas de tres experimentos ubicados en campos de las unidades básicas de producción cooperativa (UBPC) “El Majá”, “Cienfuegos” y “Santa Inés” de las provincias Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Holguín por ese orden, en condiciones de secano, en ciclo de segundo y tercer retoño.

Posterior a la cosecha y antes de la ejecución de los tratamientos, en el campo seleccionado en cada UBPC para el montaje de los ensayos, se empleó la metodología propuesta por García *et al.* (2018) para la selección de la mejor tecnología de manejo para los Vertisuelos (Tabla 1).

Tabla 1. Metodología propuesta por García *et al.* (2018).

Prof.	ICC	PI vs ICC	TEC	ICC	PI vs ICC	TEC	ICC	PI vs CC	TEC
Humedad baja (30 - 33 %)			Humedad media (33-51 %)			Humedad alta (51 – 65 %)			
0-20	23	PI < ICC	CIP	13	PI < ICC	CIP	6	PI < ICC	CT
20-30	7	PI < ICC		5	PI < ICC		3	PI < ICC	
0-20	23	PI < ICC	CP	13	PI < ICC	CP	6	PI < ICC	CP
20-30	7	PI ≥ ICC		5	PI ≥ ICC		3	PI ≥ ICC	
0-20	23	PI ≥ ICC	CT	13	PI ≥ ICC	CT	6	PI ≥ ICC	CT
20-30	7	PI < ICC		5	PI < ICC		3	PI < ICC	
0-20	23	PI ≥ ICC	CP	13	PI ≥ ICC	CP	6	PI ≥ ICC	CP
20-30	7	PI ≥ ICC		5	PI ≥ ICC		3	PI ≥ ICC	

Prof: Profundidad (cm), ICC: Impacto crítico de campo, PI: Promedio de impactos del campo evaluado, TEC: Tecnología recomendada, CIP: Cobertura inalterada de paja, CT: Cultivo tradicional hasta 20 cm de profundidad, CP: Cultivo profundo hasta 30 cm de profundidad.

Se evaluaron tres tratamientos: cobertura inalterada de residuos de cosecha (CIP), cultivo de descompactación hasta 20 cm (CT) y hasta 30 cm (CP), los dos últimos realizados a los 15 días después del corte, al centro del espacio entre hileras, con el empleo de subsolador S-240 acoplado a tractor de baja potencia (MTZ-80, FOTON 904) y subsolador con tractor de mediana potencia (T150K, Belarus 1523), respectivamente.

Los tratamientos se dispusieron en franjas conformadas por 15 surcos espaciados a 1,60 m, con una longitud de 435 m y tres réplicas. Cada franja se replicó tres veces, y en cada una se establecieron, cinco estaciones de muestreo equidistantes entre sí, conformadas por cuatro surcos de 10 m de longitud, cuyas coordenadas fueron georreferenciadas con GPS.

Las labores culturales (fertilización, control de malezas y mantenimiento de guardarrayas), se realizaron según el Instructivo Técnico para el Cultivo de la Caña de Azúcar (Santana *et al.*, 2014).

Se determinó el rendimiento agrícola según el procedimiento propuesto por Gallego *et al.*, (2017) en el momento de la cosecha, la que se realizó en verde, a los 12 meses, de forma mecanizada, en condiciones de humedad del suelo clasificadas en las categorías de Baja (30-33% bss) y Media (33-51% bss) según García *et al.* (2018).

El análisis económico se realizó por condiciones de humedad del suelo al momento de la cosecha. Se calculó la ganancia mediante la diferencia entre los ingresos (Valor de la producción) y los egresos (Gastos en cultivo y cosecha). Se consideró el nuevo precio máximo de acopio por tonelada métrica de caña de azúcar (2 087,00 CUP) establecido por medio del acuerdo 9802 del 10 de Enero de 2024 del Consejo de Ministros (Granma, 2024).

Los datos se agruparon por ciclo y categoría de humedad del suelo al momento de la cosecha y se procesaron estadísticamente mediante análisis de varianza al 0,05% de probabilidad de error, utilizando el paquete estadístico Statgraphics v. 6.0. Se empleó la prueba de Duncan a igual nivel de significación para la separación de las medias cuando se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados y Discusión

En condiciones de humedad baja el rendimiento agrícola en la variante con cobertura de residuos de cosecha, en ambos ciclos de cosecha, fue superior a CP y CT. En el ciclo de segundo retoño mostró incrementos significativos de 5,5 t. ha⁻¹ respecto a CT y de 7,4 con relación a CP, mientras que en tercer retoño los aumentos fueron de 3,0 y 5,5 t. ha⁻¹ por ese orden sin diferencias significativas (Figura 1).

Estos resultados coinciden con lo expresado por Fonseca *et al.* (1982) y Cuéllar *et al.* (2002), que plantean que el suelo seco no se compacta fácilmente y que en este estado las condiciones para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo se mantienen en un estado satisfactorio; por lo que las labores encaminadas a la descompactación no son necesarias.

En las áreas de secano el efecto positivo del RAC en el rendimiento agrícola está dado por la conservación de las reservas de humedad del suelo generalmente insuficientes en esas condiciones para satisfacer los requerimientos del cultivo. Estos resultados coinciden con los informados en Cuba por Martínez *et al.* (2021), Sosa *et al.* (2019) y Santa María (2023) en suelos Ferralíticos y Rodríguez *et al.* (2024) quienes encontraron beneficios con el uso de CIP.

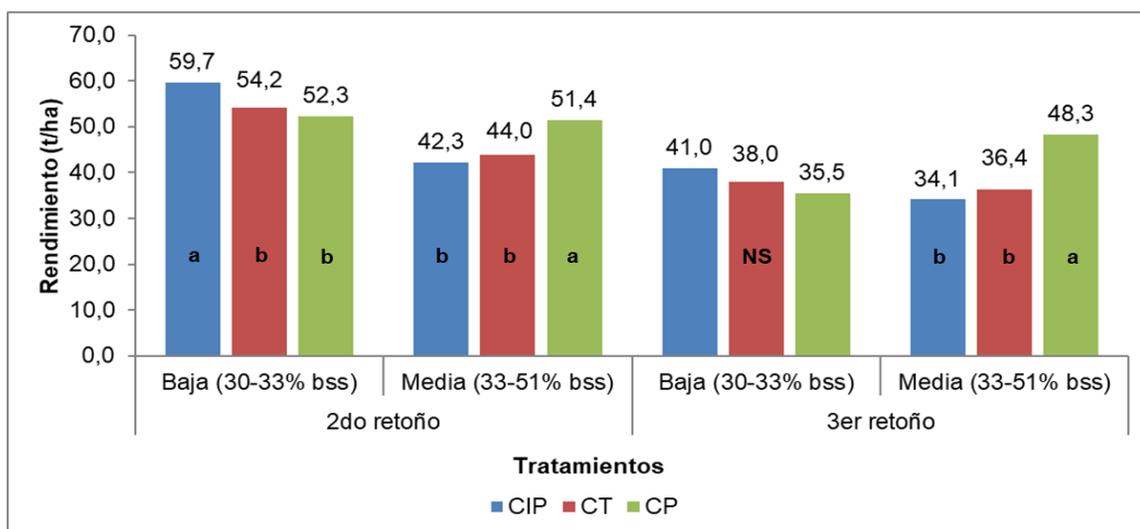


Figura 1. Comportamiento del rendimiento agrícola en las variantes evaluadas
 CIP: Cobertura inalterada de paja, CT: Cultivo tradicional hasta 20 cm de profundidad,
 CP: Cultivo profundo hasta 30 cm de profundidad.

En condiciones de humedad media, en los dos ciclos de corte, el tratamiento CP fue significativamente superior a CT y CIP, con incrementos en segundo retoño de 7,4 y 9,1 t. ha⁻¹, respectivamente, y en tercer retoño de 11,9 y 14,2 t. ha⁻¹ en el mismo orden. Entre las variantes CT y CIP no se encontraron diferencias significativas (Figura 1). Estos resultados obedecen al efecto positivo que resulta de eliminar las capas compactadas que se forman por el paso de los equipos de cosecha y transporte con el suelo en condiciones de humedad en la que es más susceptible a la deformación y a la compactación (García *et al.*, 2018, Martínez *et al.*, 2021, Santa María, 2023).

Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de realizar el mantenimiento de la cobertura de residuos de cosecha y la descompactación como elementos del manejo agrícola de las cepas de retoño de caña de azúcar, dado los beneficios que ambos aportan al suelo y a la planta (Martínez *et al.*, 2021, Santa María, 2023).

El análisis económico en la categoría de humedad Baja mostró que en todas las variantes se obtuvieron ganancias; no obstante, CIP alcanzó el mayor valor con 104 976.10 CUP ha⁻¹ como consecuencia de un mayor ingreso, por mayor rendimiento, y un menor gasto respecto al resto de las tecnologías de manejo (Tabla 2). El análisis mostró además que en estas condiciones de humedad del suelo la ejecución de labores de descompactación constituyen gastos innecesarios que se traducen en pérdidas económicas ascendentes a 27 435.03 CUP ha⁻¹ para CT y a 35 642.93 CUP ha⁻¹ para CP.

Tabla 2. Resultados económicos obtenidos en la condición de humedad Baja (30-33% bss)

Conceptos	CIP	CT	CP
Producción por ha (t)	50.3	46.1	43.9
Valor de la producción (CUP)	104976.10	96210.70	91619.30
Gastos aplicación de la tecnología (CUP)	0.00	18669.63	22286.13
Ganancia (CUP)	104976.10	77541.07	69333.17
Diferencia respecto a CIP (CUP)	-	-27435.03	-35642.93

CIP: Cobertura inalterada de paja, CT: Cultivo tradicional hasta 20 cm de profundidad,

CP: Cultivo profundo hasta 30 cm de profundidad.

En la categoría de humedad Media el análisis económico, al igual que en el anterior, reflejó ganancias para todas las tecnologías de manejo de la compactación (Tabla 3) con el mayor valor para CP con 81 646.47 CUP ha⁻¹. En esta condición el tratamiento CIP mostró gastos por concepto de la ejecución de labores de limpia manual de malezas como consecuencia del más bajo rendimiento. En los campos de bajo rendimiento el número de labores para el control de malezas es mayor y fundamentalmente mecánico, lo que deriva en mayores gastos de combustibles y de mano de obra con deterioro de la gestión económica (Olivet y Cobas, 2022; Rodríguez *et al.*, 2020 y 2024). La variante CIP produjo pérdidas económicas respecto a CP ascendentes a 4 761.97 CUP ha⁻¹.

Tabla 3. Resultados económicos obtenidos en la condición de humedad Media (33-51% bss)

Conceptos	CIP	CT	CP
Producción por ha (t)	38.2	40.2	49.8
Valor de la producción (CUP)	79723.40	83897.40	103932.60
Gastos aplicación de la tecnología (CUP)	0.00	18669.63	22286.13
Ganancia (CUP)	76884.50	65227.77	81646.47
Diferencia respecto a CP (CUP)	-4761.97	-16418.70	-

CIP: Cobertura inalterada de paja CT: Cultivo tradicional hasta 20 cm de profundidad

CP: Cultivo profundo hasta 30 cm de profundidad.

Conclusiones

La cobertura de residuos agrícolas de cosecha y la descompactación, como tecnologías para el manejo de la compactación en los Vertisuelos, aplicadas según la metodología empleada en el estudio, incrementan el rendimiento agrícola y las ganancias.

Referencias bibliográficas

- Cuéllar, I., Villegas, R., de León, M. E., Pérez, H. (2002). Manual de fertilización de la caña de azúcar. La Habana, Cuba. Editorial Publinica.127 p.
- Fonseca, M., Domínguez, M., Abdukaderov, A., Ramírez, R. (1982). Compactación ocasionada por la cosechadora y el tractor con remolque. ATAC, 41,5, 27-33.
- Gallego, D. R., Zuaznábar, Z. R., De León, O. M. E., Martínez, R. R. (2017). Respuesta de la caña de azúcar ante la aplicación de una mezcla de fitoestimulantes. ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 51,3, 3-7.
- García, I., Sánchez, M. y Otero, Y. (2018). Determinación de la compactación por impactos críticos del penetrómetro en caña de azúcar. Cuba y Caña, 51,1, 45-55.
- Granma. (2024). Hay un nuevo precio máximo de acopio para la caña de azúcar. Granma. Recuperado de: <https://www.granma.cu/cuba/2024-02-02/hay-un-nuevo-precio-maximo-de-acopio-para-la-cana-de-azucar-02-02-2024-19-02-39#:~:text=Un%20nuevo%20precio%20m%C3%A1ximo%20de%20acopio%20de%202%20087%20pesos,2024%2C%20del%20Consejo%20de%20Ministros.>
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil and Tillage Research, 10,4, 188-194.

- Martínez, R., García, I., Hernández, Y., Santa María, M., Pérez, E., Hernández, O., Concepción, E., Rossi, I., Labrada, R. (2021). Efectos de tecnologías de descompactación del suelo sobre el rendimiento agrícola de caña de azúcar. *Ingeniería Agrícola*, 11,3, 45-50.
- Olivet, Y. y Cobas, D. (2022). Evaluación energética de la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Centro Agrícola*, 49 ,1, 20-26.
- Rodríguez, D., Barbosa, R. Nivardo, A., Urquiza, A. (2020). Plantación en surcos de base ancha, alternativa tecnológica para reducir el porcentaje de arvenses en caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 47(1), 61-68. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000100061&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, D., Barbosa, R. y Puchades, Y. (2024). Cobertura inalterada de residuos, alternativa agroecológica sustentable para reducir el porcentaje de arvenses en caña de azúcar. *Ingeniería Agrícola*, 14,1. Recuperado de: <https://cu-id.com/2284/v14n1e05>.
- Sosa, J., M., Zuaznábar, R., García, A., Farías, E., Rodríguez, L., Martínez, R., R., Rodríguez, J., Mayor, J., Rodríguez, A. (2019). Manejo sostenible y conservacionista de malezas con la tecnología cosecho-aplico en el polo científico del Grupo Empresarial Azcuba y la Universidad Agraria de La Habana. [CD-ROM] Memorias Congreso Internacional sobre azúcar y derivados). La Habana, Cuba.
- Santa María, M. (2023). Tecnologías para el manejo de la compactación del suelo y su efecto sobre el rendimiento agrícola en caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Tesis en opción al Título de Máster en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana. Mayabeque.
- Viñas, Y., Benítez, L., Machado, I., Bouzo, L., Arcia, J., Marín, R., González, M., Barreto, B. (2018). Actualización del agrupamiento agroproductivo de suelos plantados con caña de azúcar, región occidental de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 8,2, 48-54.

DATOS DE LOS AUTORES

1. Marylen Santa María Rodríguez: M. Sc., Especialista, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: marylen.santamaria@inica.azcuba.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1048-2456>.
2. Rigoberto Martínez Ramírez: M. Sc., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: rigoberto.martinez@inica.azcuba.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7752-8693>.
3. Inoel García Ruiz: M. Sc., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA Villa Clara). Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: inoel.garcia@inicavc.azcuba.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7752-8693>.
4. Evelio Concepción Cruz: M. Sc., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA Sancti Spíritus). Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: evelio.concepcion@inicas.azcuba.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8929-5305>.
5. Odonell Hernández Hernández: Ing. Especialista SERCIM Ciego de Ávila, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA Ciego de Ávila). Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: oddonell.hernandez@inicavc.azcuba.cu ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8748-3030>.
6. Eloy Pérez Correa: Ing. Especialista Extensión Agraria Holguín, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA Holguín). Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: eloy.perez@inica hl.azcuba.cu ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0610-1227>.