

Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar

Effect of the compaction on the physical properties of the soil and the growth of the sugarcane

Inoel García Ruiz¹, Maritza Sánchez Ortiz², Manuel L. Vidal Díaz², Yoel Betancourt Rodríguez³ y José Rosa Llano²

RESUMEN. La compactación del suelo en parcelas experimentales de caña de azúcar incrementó la densidad aparente de 1,3 a 1,4 g·cm⁻³, la resistencia de 2665,2 a 4515,2 kPa y disminuyó la porosidad de 51,9 a 48,2%. Once meses después el tratamiento compactado no cultivado (CNC) redujo la densidad aparente en 5,7%, la resistencia en 31,4% y aumentó la porosidad total en 2,3%, atribuible a la capacidad resiliente del suelo. El tratamiento compactado-cultivado (CC) disminuyó la densidad aparente en 7,9%, la resistencia en 47,6% y aumentó la porosidad total en 3,5%. El intervalo de agua óptimo (IAO) se redujo en CNC respecto a CC, con densidad aparente crítica de 1,28 g·cm⁻³ y 1,36 g·cm⁻³, respectivamente.

Palabras clave: resistencia del suelo, densidad aparente, porosidad, intervalo de agua óptimo.

ABSTRACT. Soil compaction in experimental sugar cane increased the bulk density from 1,3 to 1,4 g·cm⁻³, the resistance of 2665,2 to 4515,2 kPa and it diminished the porosity from 51,9 to 48,2%. At 11 months the compacted non-cultivated soil treatment (CNC) reduced bulk density by 5,7%, the resistance by 31,4% and the total porosity increased by 2,3%, attributable to the capacity resilient of the soil. The treatment compacted-cultivated (CC) diminished the bulk density by 7,9%, the resistance by 47,6% and the total porosity increased by 3,5%. The amplitude of the optimum water interval (OWI) was reduced at CNC compared with CC treatment, with a critical bulk density of 1,28 g·cm⁻³ y 1,36 g·cm⁻³, respectively.

Keywords: soil resistance, bulk density, porosity, optimum water interval.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de manejo de la producción de caña de azúcar han evolucionado en lo referente a máquinas, implementos y capacidad de carga de los transportes (Laia *et al.* 2006), lo que provoca compactación del suelo. La mecanización de la cosecha afecta la producción, duración del cultivo y propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Souza *et al.*, 2005). Letey (1985) señaló que el crecimiento de las raíces lo determinan cuatro factores fundamentales: resistencia mecánica, disponibilidad de agua, oxígeno y energía, precisando que las propiedades asociadas son la resistencia a la penetración, el potencial de agua, la aireación y la temperatura, respectivamente. Martino (2003) señaló que la disponibilidad de agua

es el factor que rige el desarrollo de los cultivos, porque afecta marcadamente la tasa de difusión de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica de los suelos.

El agua disponible para las plantas, según el concepto clásico, tiene como límite inferior el punto de marchites y como límite superior la capacidad de campo. En la actualidad este concepto es aceptado para condiciones de suelo sin degradación física, pero es cuestionado para condiciones de suelos degradados, donde la densidad aparente y resistencia aumentan, la porosidad se reduce y la distribución y tamaño de los poros se altera (Richard *et al.*, 2001). Por tales razones, la compactación es un serio problema debido a la interacción entre las propiedades físicas y el crecimiento y productividad de las plantas, lo cual conlleva a la necesidad de disponer de un

Recibido 04/07/09, aprobado 21/06/10, trabajo 25/10, investigación.

¹ MSc. Inv. Auxiliar. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Villa Clara-Cienfuegos. Autopista Nacional km 246. Apartado 20. Rancho, Villa Clara. Cuba. E-✉: uascte@epica.vc.minaz.cu

² Ing. Inv., Estación Territorial de Investigaciones de las Caña de Azúcar Villa Clara- Cienfuegos, Cuba.

³ Ing. Inv. Auxiliar, Estación Territorial de Investigaciones de las Caña de Azúcar Villa Clara- Cienfuegos, Cuba.

parámetro que integre las interacciones suelo-planta. En este sentido, Silva *et al.*, (1994) propusieron el rango de agua menos limitativo (LLWR) o intervalo de agua óptimo (IAO) en función de la densidad aparente, aireación y resistencia a la penetración, como un indicador de la calidad física y estructural del suelo, el cual determina una franja de contenido de agua donde las limitaciones asociadas a la aireación, resistencia mecánica y disponibilidad de agua son mínimas. Según Tairone *et al.*, (2005) el IAO es un indicador de la calidad física de los suelos que corrige el concepto de agua disponible y es más integrador que el concepto convencional porque, además de la capacidad de campo y el punto de marchites, introduce las limitaciones concernientes a la estructura de los suelos.

Los suelos con estructura preservada apenas tienen restricciones por déficit hídrico (Costa *et al.*, 2008) y por el contrario, cuando la compactación aumenta a niveles excesivos la aireación puede afectarse si la humedad es alta y por otra parte, en condiciones de suelo seco, la resistencia del suelo puede restringir el crecimiento de las plantas (Lapen *et al.*, 2004). En este contexto se plantea que el IAO significa un avance en el estudio físico del suelo porque integra, en un solo parámetro, la densidad aparente,

la resistencia y la aireación y por tanto, correlaciona mejor con el crecimiento de las plantas (Tormena *et al.*, 2007).

El objetivo del trabajo fue estudiar algunas propiedades físicas del suelo compactado y compactado-cultivado en parcelas experimentales de caña de azúcar, bajo la hipótesis de que la fragmentación mecánica del suelo después de la compactación provoca cambios en la densidad aparente y la resistencia del suelo que disminuyen las restricciones físicas del suelo para el desarrollo de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara, Cuba y en condiciones un suelo Pardo Sialítico Tipo Pardo subtipo Mullido (Hernández, *et al.*, 1999), se crearon niveles de compactación en una cepa de primer retoño. Las parcelas tenían 20 m de largo y 6,4 m de ancho y distancia entre surco de 1,60 m. La distribución de las parcelas fue en franjas con 4 réplicas. En la Tabla 1 aparecen valores de propiedades físicas y químicas de un perfil representativo del suelo en estudio.

TABLA 1. Propiedades físico-químicas de un perfil representativo del área de estudio

Perfil (cm)	Composición mecánica (%)			pH (H ₂ O)	CC (%)	PM (%)	Da (g·cm ⁻³)	MO (%)	CIC (cmol·kg ⁻¹)
	Arena	Limo	Arcilla						
0-35	13	23	64	7,9	48	33	1,0	3,5	55

CC: Capacidad de campo PM: Punto de marchites Da: Densidad aparente MO: Materia orgánica
CIC: Capacidad de intercambio catiónico

Inmediato a la cosecha manual se compactó el suelo en todas las parcelas con 3 pases por camellón de un cargador frontal de 7 t, después se realizó una labor de cultivo para crear dos tratamientos de niveles de compactación: Compacto-no cultivado (CNC) y compacto-cultivado (CC). Las malezas se controlaron de forma manual y con aplicaciones de herbicidas foliares con mochila para evitar compactación adicional del suelo.

La evaluación de las propiedades físicas se realizó antes y después de la compactación y 11 meses después, en 2 puntos por parcela y hasta 30 cm de profundidad, para un total de 8 lecturas por variable en CNC y CC. En cada punto se evaluó la resistencia del suelo con penetrómetro de impacto, transformando el número de impactos en kg/cm² al multiplicar por la constante del penetrómetro para posteriormente expresarla en kPa. Después se midió la densidad aparente con sonda de neutrones, introduciendo la barra sensora por el orificio del penetrómetro. Seguidamente se tomaron muestras de suelo en los perfiles 0-10, 10-20 y 20-30 cm para la determinación de humedad en estufa con secado a 105 °C durante 24 horas.

Alrededor al experimento se montó un ensayo para determinar la capacidad de campo del suelo, con saturación total, tapado durante 72 horas, toma de muestras y secado en estufa según el procedimiento ya descrito. En otro ensayo se determinó el punto de marchites permanente con macetas de 3 500 cm³ de capacidad llenas con suelo del perfil 0-20 cm y utilizando maíz (*Zea mays*) como planta indicadora.

Los datos experimentales de resistencia (kPa), densidad aparente (g·cm⁻³) y humedad (cm³·cm⁻³) se procesaron con el programa Estadística 6., con ajuste a un modelo no lineal por el método Levenberg-Marquardt, de mucha eficacia para problemas de mínimos cuadrados no lineales (Symunek y Hopmans, 2002). El intervalo de agua óptimo (IAO) se construyó para los tratamientos CNC y CC según la metodología de Silva *et al.*, (1994), calculando el contenido volumétrico de agua (θ) en el límite crítico de aireación de 10%: $\theta_{10\%} = (1 - Da/2,65) - 0,1$, capacidad de campo: $\theta_{cc} = k$, punto de marchites $\theta_{pmp} = k$ y límite crítico de resistencia de 3 000 kPa: $\theta_{Rp} = \exp(a + b \cdot \ln(Da) + c \cdot \ln(w))$. Ambos IAO se calcularon según las cuatro posibilidades descritas por Wu *et al.*, (2003):

1. Si $\theta_{10\%} \geq \theta_{cc}$ y $\theta_{Pr} \leq \theta_{pmp}$, entonces el IAO = $\theta_{cc} - \theta_{pmp}$
2. Si $\theta_{10\%} \geq \theta_{cc}$ y $\theta_{Pr} \geq \theta_{pmp}$, entonces el IAO = $\theta_{cc} - \theta_{Pr}$
3. Si $\theta_{10\%} \leq \theta_{cc}$ y $\theta_{Pr} \leq \theta_{pmp}$, entonces el IAO = $\theta_{10\%} - \theta_{pmp}$
4. Si $\theta_{10\%} \leq \theta_{cc}$ y $\theta_{Pr} \geq \theta_{pmp}$, entonces el IAO = $\theta_{10\%} - \theta_{Pr}$

Antes de la cosecha se estudió la distribución de raíces por tratamientos, en calicatas de 50 cm de profundidad, cortando monolitos de suelo de 40 x 15 x 10 cm; las raíces se secaron al aire y pesaron. La cosecha fue manual a los 14 meses de edad y pesaje directo de la caña por parcela.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el momento de la compactación artificial la humedad del suelo hasta 30 cm de profundidad era de $0,41 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, valor relativamente bajo dado el alto contenido de arcilla tipo 2:1 y la consecuente alta capacidad de retención de agua del suelo en estudio, lo que unido a la resistencia de 2665,2 kPa, porosidad total 51,9% y densidad aparente menor de $1,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, permite inferir que el suelo estaba en estado aceptable para el crecimiento de las raíces.

Los cambios en la resistencia del suelo por el tráfico del compactador fueron notables (Figura 1). Antes de la compactación (AC) la resistencia no rebasaba los 3 Mpa en todo el perfil y por el contrario, después de la compactación (DC) la resistencia aumentó notablemente, con valores superiores a 3 Mpa desde los 12 cm de profundidad y llegando a 8 Mpa a 25 cm de profundidad, lo que denota condiciones físicas limitativas para el crecimiento de las raíces.

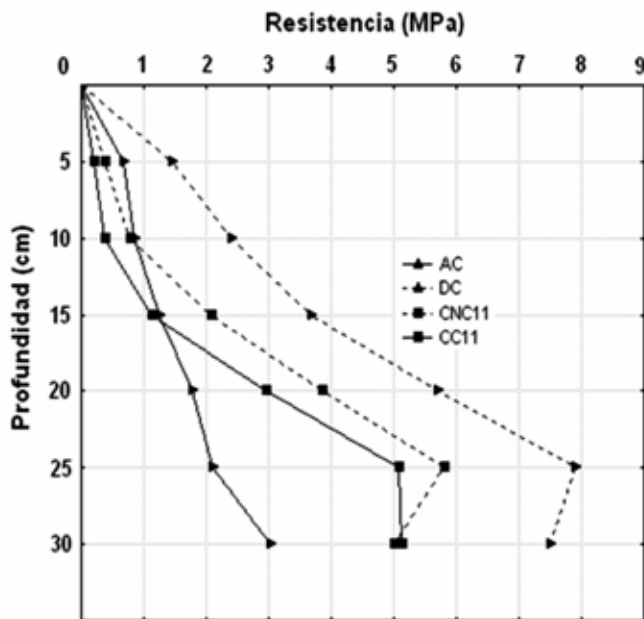


FIGURA 1. Variación de la resistencia por tratamientos.

Once meses después la resistencia presentaba cambios en ambos tratamientos, donde en CC11 aún era evidente el efecto de la labor de cultivo en los primeros 15 cm del perfil, con niveles muy bajos de resistencia. Sin embargo, a partir de los 15 cm la resistencia aumentó abruptamente, con valores de 3 MPa a 20 cm y superiores a 5 MPa a 30 cm de profundidad.

En el tratamiento compactado no cultivado (CNC11) la resistencia del suelo 11 meses después, disminuyó notablemente respecto al valor inmediato a la compactación, debido a la alta resiliencia del suelo. Taboada (2003) considera que los ciclos humedecimiento-secado, crecimiento y muerte de raíces y la fauna edáfica son factores vinculados estrechamente a la resiliencia de los suelos.

La resistencia mecánica del suelo estimada (R_e), fue directamente proporcional a D_a e inversa a W (Figura 2), lo que coincide con resultados de Silva *et al.*, (1994). La disminución de la resistencia con el aumento de humedad se asocia, según Vepraskas (1984), a la reducción de la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

$$R_e = \exp(6.12 + 5.72) \cdot \ln(D_a) - 0.47 \cdot \ln(w)$$

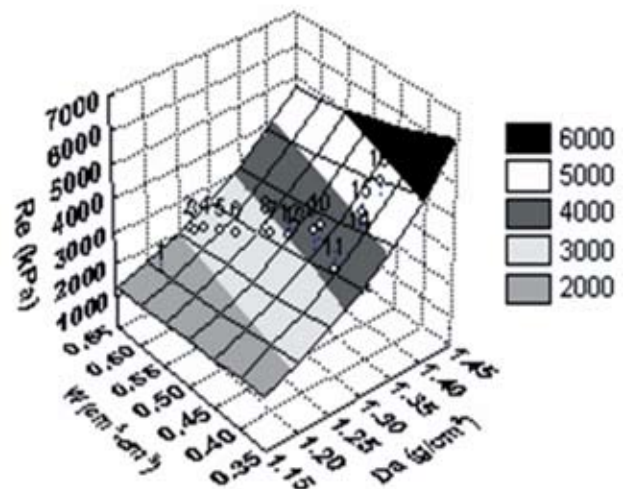


FIGURA 2. Resistencia (R_e) en función de D_a y W .

Las variaciones de la porosidad, densidad aparente y resistencia del suelo en el tiempo (Tabla 2) muestran valores estadísticamente diferentes en las 3 variables, con las peores condiciones físicas del suelo después de la compactación (DC) y sin diferencia entre AC, CNC11 y CC11, lo que indica que el suelo recuperó en gran medida el estado físico inicial, tanto por el cultivo como por la capacidad resiliente.

El ploteo de los puntos en la superficie de resistencia (Figura 2) se asocia al tipo de tratamiento. Los puntos del 1 al 8, del tratamiento CC11, se ubicaron hacia la zona de menor densidad y resistencia y de mayor humedad, mientras los puntos del 9 al 16, del tratamiento CNC11, se localizan hacia la parte de mayor resistencia, mayor densidad y menor humedad.

TABLA 2. Valores medios de las propiedades físicas del suelo por tratamientos. Perfil 0- 30 cm

Variables	AC	DC	CNC11	CC11	ES
$W \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$	0,41	0,40	0,43	0,45	-
PT (%)	51,9 a*	48,2 b	50,5 a	51,7 a	0,63
$D_a \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)}$	1,30 b	1,40 a	1,32 b	1,29 b	0,019
$R_e \text{ (kPa)}$	2665,2 b	4515,2 a	3097,3 b	2367,3 b	376.8

* Letras diferentes indican diferencia al 5%.

Las restricciones estructurales del suelo para el crecimiento de las raíces también pueden apreciarse a través del intervalo de agua óptimo (IAO). En la Figura 3 el límite superior del IAO (área sombreada) está dado por el θ_{cc} para valores de D_a menores a $1,12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y para D_a mayores el límite superior lo asume el $\theta_{10\%}$ y como consecuencia, según aumenta la D_a se reduce paulatinamente la amplitud del IAO por la parte superior del intervalo.

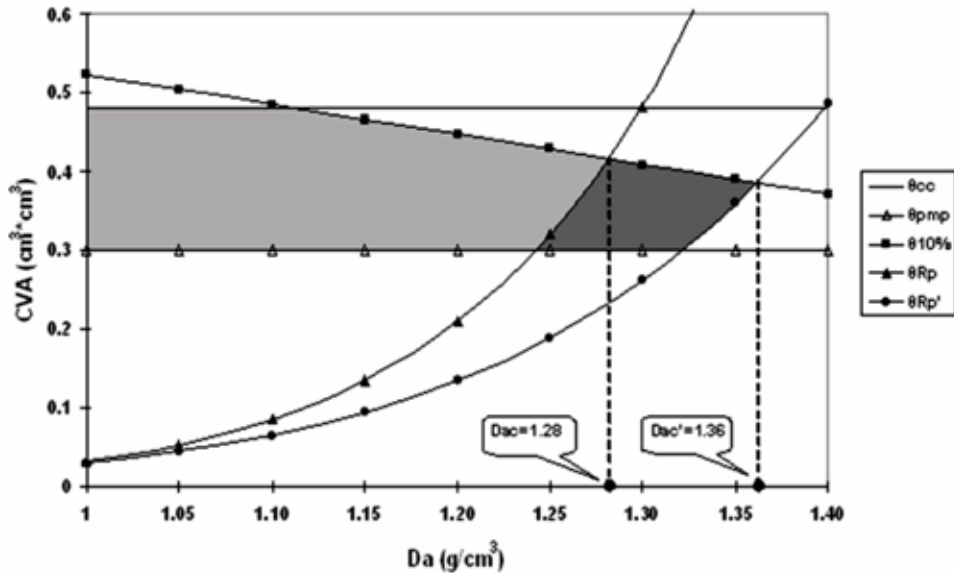


FIGURA 3. Contenido volumétrico de agua (CVA) en función de la densidad aparente (D_a) en niveles críticos de capacidad de campo (θ_{cc}), punto de marchites (θ_{pmp}), porosidad de aireación ($\theta_{10\%}$) y resistencia en el tratamiento compactado no cultivado (θ_{Rp}) y compactado-cultivado ($\theta_{Rp'}$). D_{ac} : Densidad aparente crítica en el tratamiento compactado no cultivado. $D_{ac'}$: Densidad aparente crítica en el tratamiento compactado-cultivado.

Leao *et al.*, (2006) plantearon que en suelos tropicales el límite superior del IAO es asumido por el contenido de agua en capacidad de campo, por lo que los resultados de este trabajo coincide con la aseveración anterior sólo para D_a menores de $1,12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. La asunción del límite superior del IAO por el $\theta_{10\%}$ en D_a superiores a $1,12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ parece lógica, debido al elevado contenido de arcilla tipo 2:1 y alta capacidad de retención de agua del suelo estudiado y por tanto, en esas condiciones, la aireación se convierte en uno de los factores limitantes de mayor importancia para el crecimiento de las plantas. Al respecto, Cairo (1985) consideró $1,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ como valor de densidad crítica para caña de azúcar en suelos con arcilla 2:1, alta retención de humedad, drenaje interno casi nulo, donde el suelo permanece saturado y con déficit de aireación durante el período lluvioso.

En el tratamiento CNC el límite inferior del IAO lo asume el θ_{pmp} hasta la D_a de $1,24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y a partir de este valor el límite fue asumido θ_{Rp} , el cual intercepta a $\theta_{10\%}$ en D_a de $1,28 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Este valor de D_a se considera como densidad aparente crítica (D_{ac}) porque el agua disponible se iguala a cero como expresión de la degradación estructural y de las condiciones restrictivas para el desarrollo de las plantas (Tormena *et al.*, (2007). En el tratamiento CC el límite inferior del IAO lo toma el θ_{pmp} hasta la D_a de $1,32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y por $\theta_{Rp'}$ desde $1,32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ hasta la densidad crítica de $1,36 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Las variaciones del IAO en función de la densidad aparente (Figura 4) indican que el IAO se mantiene constante hasta la D_a de $1,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, para disminuir a ritmo similar en ambos tratamientos hasta $1,20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y decrecer después más abruptamente en el tratamiento CNC que en CC. El mayor

IAO en CC respecto a CNC se atribuye al efecto de la labor de cultivo en la eliminación de la compactación y el consecuente mejoramiento de la porosidad, infiltración y capacidad del suelo para almacenar agua.

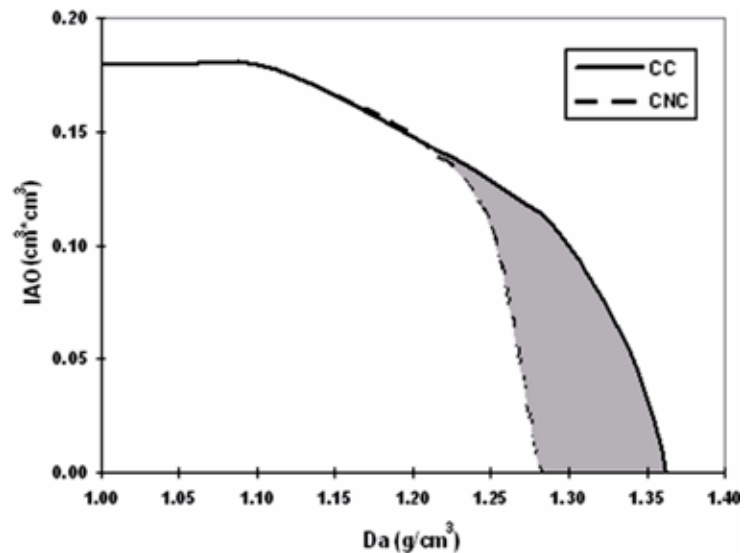


FIGURA 4. Variación del intervalo de agua óptimo (IAO) en función de la densidad aparente (D_a) en los tratamientos compactado cultivado (CC) y compactado no cultivado (CNC).

El IAO ha sido validado como indicador de calidad física en un amplio rango de suelos, cultivos y sistemas de manejo. Así, Leao *et al.*, (2006) concluyeron que el IAO es un buen indicador para evaluar las limitaciones físicas de los suelos dedicados a

pastos en Brasil. Costa *et al.*, (2008) encontraron restricciones en el IAO para la caña de azúcar en suelo Latosólico rojo en cosecha mecanizada durante el período lluvioso de Brasil, con Dac de 1,7 g·cm⁻³. Por el contrario, en suelo Cambisol Háplico la densidad aparente hasta 1,5 g·cm⁻³ no alcanzó niveles críticos, aunque se observaron reducciones en el volumen de agua aprovechable desde 1,41 g·cm⁻³. Por su parte, Reinert *et al.* (2002) señalan que en maíz y soya la compactación agudizó los factores limitativos del enraizamiento, redujo el agua disponible según aumentó la densidad aparente por encima de 1,3 g·cm⁻³, sin embargo, esas limitaciones no se reflejaron en el rendimiento de ninguno de los dos cultivos.

El peso seco de raíces hasta 20 cm del centro de la cepa fue estadísticamente superior respecto a las distancias de 20-40, 40-60 y 60-80 cm del centro de la cepa, lo cual está en correspondencia con la mayor proliferación de raíces en la zona cercana al plantón. No hubo diferencia en el peso de raíces entre los tratamientos ni en la interacción tratamiento-distancia del centro de la cepa (Tabla 3). Al respecto, Séguy *et al.*, (1999) señalaron que el desarrollo de las raíces puede ser afectado por la reducción de los macroporos, por el aumento de la resistencia del suelo y por la disminución de la concentración de oxígeno y absorción de agua y nutrientes. El rendimiento agrícola de la caña de azúcar tampoco mostró diferencia significativa entre tratamientos.

TABLA 3. Peso seco al aire de raíces (g) y rendimiento agrícola (t·ha⁻¹) en parcelas compactadas no cultivadas (CNC) y compactadas cultivadas (CC)

Tratamientos	Distancia de la cepa (cm)				Error	Rendimiento agrícola
	0-20	20-40	40-60	60-80		
CC	18.5 a	8.1 a	5.4 a	5.0 a	3.7	67,8 a
CNC	13.5 a	6.8 a	5 a	4.9 a		65,3 a
Distancia cepa	16.0 a*	7.5 b	5.2 b	5.0 b	2.6	Error: 3.1

*Letras diferentes indican diferencia al 5%.

CONCLUSIONES

- En condiciones de suelo Pardo con carbonatos típico el volumen máximo de agua aprovechable en el intervalo de agua óptimo fue de 0,18 cm³·cm³ hasta valores de densidad aparente de 1,12 g·cm⁻³, disminuyó a 0,16 cm³·cm³ entre el rango de densidad aparente de 1,12-1,2 g·cm⁻³.
- La densidad aparente crítica se estimó en 1,28 y 1,36 g·cm⁻³ en el tratamiento compactado no cultivado y compactado-cultivado, respectivamente, lo que sugiere que la caña de azúcar se desarrolló en un ambiente físico menos restrictivo y con menor stress hídrico en el tratamiento compactado-cultivado.

- Las mayores limitaciones físicas del suelo y de disponibilidad de agua en el tratamiento compactado no cultivado comparado con el compactado-cultivado, no fueron suficientes para afectar, de forma significativa, el peso seco de raíces y el rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAIRO, C. P.: *Evaluación de la densidad óptima para el desarrollo de la caña de azúcar en suelos pesados*, 25pp. Conferencia, Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 1985.
- COSTA E. S., DE OLIVEIRA G. C., DE SOUZA, DIAS J. M., DE OLIVEIRA L. F. C., DE CASTRO M. B.: "Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um latossolo e de um cambissolo sob cana-de-açúcar", *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1419-1427, 2008.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J. M.; BOSCH, D., RIVERO, L.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, 64pp., AGRINFOR. 1999.
- LAIA, A.M.; MAIA, J.C.S. & KIM, M.E.: Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 10:523-530, 2006.
- LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E.: "Rango de agua menos limitativo como indicador de la calidad del suelo y producción de maíz", Eastern Ontario, Canadá. *Soil Hill. Res.*, 78: 151-170, 2004.
- LEÃO, T.P.; A.P. DA SILVA; M.C.M. MACEDO; S. IMHOFF; V.P.B. EUCLIDES: "Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture", *Soil & Tillage Research*, 88: 279-285, 2006.
- LETEY, J.: "Relationship between soil properties and crop production", *Adv. Soil Sci.*, 1: 273-294. 1985.
- Martino, D. L.: *Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa*, Grupo de Riego, Agroclima, Ambiente y Agricultura Satelital (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay, Montevideo, 2003.
- REINERT, D. J.; R. WOLKOWSKI; B. LOWERY and F. ARRIAGA: Compaction effects on least limiting water range and plant growth, In: **17th WCSS**, Thailand, 2002.
- RICHARD, G., I. COUSIN, J. F. SILLON, A. BRUAND and J. GUERIF: "Effect of compaction on the porosity of a silty soil: Influence on unsaturated hydraulic properties", *Eur. J. Soil Sci.*, 52: 49-58, 2001.
- SÉGUY, L.; S. BOUZINAC; C. MARONEZZI; V. TAFFAREL; J. TAFFAREL: *Plantio direto do arroz de sequeiro de alta tecnologia na zona tropical úmida do centro-norte do Mato Grosso*, 29pp., Piracicaba: Potafos. Brasil, 1999.
- SILVA, A.P; B.D. KAY and E. PERFECT: "Characterization of the least limiting water range", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1775-1781, 1994.

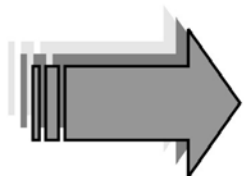
- SIMUNEK, J. and W. HOPMANS: *Parameter optimization and nonlinear fitting*. pp. 139-159. In: T. P. Leao, A. P. Silva, E. Perfect and C. A. Tormena, An algorithm for calculating the Least Limiting Water Range of soils, published online July 13, 2005.
- SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S. & CESARIN, L.G.: “Sistemas de colheita e manejo da palhada de canade- açúcar”, *Pesq. Agropec. Bras.*, 40: 271-278, 2005.
- TABOADA, M. A.: *Cambios en el suelo, asociados al tránsito y pisoteo de la hacienda*. Consulta personal. Facultad de Agronomía, UBA, Argentina, 2003.
- Tairone, P. L.; Á. PIRES DA SILVA, E. PERFECT and A. CASSIO: “An algorithm for calculating the Least Limiting Water Range of soils”, *Agron. J.*, 97: 1210-1215, 2005.
- TORMENA, C. A.: *Caracterização e avaliação do Intervalo Hídrico Ótimo de um Latossolo Roxo*. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Brasil, 1998.
- TORMENA, C.A.; M. ARAÚJO; J. FIDALSKI & J. COSTA: “Variación temporal del intervalo hídrico óptimo de un suelo Latosólico Rojo en siembra directa”, *Revista Brasileña de la Ciencia del Suelo*, 31: 211-219, 2007.
- VEPRASKAS, M.J.: “Cone index of loamy sands as influenced by pore size distribution and effective stress”, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 1220-1225, 1984.
- WU, L., G. FENG; J. LETEY; L. FERGUSON; J. MITCHELL; B. MCCULLOUGH-SANDEN; G. MARKEGARD: “Soil management effects on the nonlimiting water range”, *Geoderma*, 114: 401-414, 2003.



CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

LABORATORIO DE OLEOHIDRÁULICA

SERVICIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS



- Descontaminación de aceites oleohidráulicos
- Fabricación de equipos portátiles de filtraje de aceites
- Recuperación (emboquillado) y fabricación de mangueras
- Diagnóstico y evaluación de circuitos oleohidráulicos y sus componentes
- Cursos y entrenamientos de posgrado

Solicitudes de ofertas a:

Dr. Pedro A. Valdés Hernández
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de
Tapaste. km 23, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: pvaldes@isch.edu.cu