

**DIAGNOSTICO DE RIESGOS DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON
CAÑA DE AZUCAR
RISK DIAGNOSIS OF CROPING SOIL COMPACTION PLANTED WHITH SUGAR CANE**

Ledya Benítez Puig¹, Inoel García Ruíz², Santos Gómez Fernández³, Sergio Guillen Sosa⁴, Rafael Villegas Delgado⁵ y Yudith Viñas Quintero⁶

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, INICA, Cuba. ledya@inica.azcuba

²Estación Territorial Villa Clara. INICA. Cuba. inoel@epica.vc.azcuba.cu

³Estación Provincial Camagüey. INICA. Cuba. sgomez@eticacm.azcuba.cu

⁴Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba. sergio.guillen@inica.azcuba.cu

⁵Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba. villegas@inica.azcuba.cu

⁶Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba. yudith@inica.azcuba.cu

Durante la cosecha mecanizada de la caña de azúcar se produce compactación en el suelo; su origen puede estar asociado a diversos factores, esta propiedad se acentúa con el exceso de humedad y la utilización de equipos de corte mecanizado cuyo rodaje ejerce una alta presión sobre el terreno; en Cuba en los últimos 25 años, algunos especialistas se han pronunciado sobre el tema y afirman que los rendimientos del campo declinan en proporción directa con el número de cortes mecanizados y coinciden al señalar que el empleo de equipos pesados en la cosecha y transportación, aceleran el descenso del rendimiento agrícola, basados en cifras obtenidas de experimentos, que se toman como referencia en este trabajo, cuyo objetivo radica en establecer un sistema de evaluación de vulnerabilidad y riesgos de compactación de los suelos, que permita la toma de decisiones para prevenirla o restablecer las propiedades físicas, para lo cual, se consideraron las variables suelos, humedad y tecnología de cosecha empleada y se diseñó una tabla de salida cualitativa, considerando tres niveles de riesgo: bajo, medio y alto para las diferentes interacciones de los factores analizados, dichas condiciones fueron validadas en campos de caña y en lotes control donde se monitoreo dicho proceso, este fenómeno resulta difícil de corregir y de un elevado costo, por lo que se precisa tomar las medidas necesarias de manera que no llegue a niveles que limiten el potencial productivo del cultivo, de aquí la importancia de contar con el pronóstico, partiendo del principio de que, “mejor que descompactar es no compactar”.

Palabras claves: compactación de suelos, caña de azúcar, cultivo profundo

Words key: soil compaction, sugar cane, deep crop

Introducción

El empleo de equipos pesados y el auge del corte mecanizado de la caña de azúcar, han incidido en el incremento del tránsito en la cosecha y transportación, lo cual crea un severo problema de compactación al que se atribuye un gran porcentaje de las mermas en los rendimientos de las socas y que, por lo general, acelera la declinación del rendimiento agrícola en proporción a la cantidad de cortes; su origen puede estar asociado a diversos factores, pero la actividad del hombre se cataloga como la más importante, el laboreo, manejos agrícolas incorrectos y el tráfico de la maquinaria, sobre todo cuando hay exceso de humedad y se utilizan equipos cuyo rodaje ejerce elevada presión sobre el terreno.

Según Álvarez (1997) la elevada compactación de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, resulta un severo problema a resolver debido al empleo de prácticas de manejo inadecuadas y constituye uno de los principales factores edáficos limitativos a enfrentar por su efecto en el detrimento de la producción en las áreas de retoño, es un fenómeno difícil de corregir y de un elevado costo, pues requiere de equipos de alta potencia que encarecen las labores de cultivo.

Como es bien conocido por los productores cañeros y está demostrado por infinidad de investigaciones, durante la cosecha se incrementa la resistencia a la penetración de los suelos, sobre todo en condiciones de alta humedad con el empleo de equipos pesados en la cosecha y transportación

Diferentes especialistas en el tema han brindado conceptos acerca del término, así por ejemplo, Martínez et al., (1992) la conceptualizaron como la reducción del espacio poroso no capilar responsable de la infiltración y aireación y Schafer et al., (1993), como el cambio de volumen de una masa de suelo dada. En resumen, desde el punto de vista agrícola, puede definirse como aquella alteración del estado físico natural de un suelo, causada por la acción de fuerzas mecánicas externas o por manejos agronómicos inadecuados, que afectan la estructura del suelo y el potencial productivo.

En nuestro país, al determinar la aptitud física de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar y los factores edáficos limitativos, se determinó que una de las causas responsables de la caída de los rendimientos está relacionada con la pérdida de la “fertilidad física” y la compactación del suelo es el mayor exponente (Ponce de León y Balmaseda, 1999)

Su origen puede estar asociado a diversos factores, pero la actividad del hombre se cataloga como la causa más importante. El laboreo, manejos agrícolas incorrectos y el tráfico de la maquinaria, son elementos que la pueden ocasionar, este último, considerado internacionalmente como el principal factor que la induce, especialmente en las áreas de retoño, por lo que es preciso tomar las medidas necesarias para que este fenómeno no ocurra o bien se mitigue, partiendo del principio de que, mejor que descompactar es no compactar.

Teniendo en cuenta los altos niveles actuales de compactación en las áreas dedicadas a caña de azúcar y la incidencia de los factores que la ocasionan, se hizo necesario el diseño de un sistema de diagnóstico de riesgos asequible al productor, como soporte a la toma de decisiones, para la aplicación de atenciones culturales a los retoños, para lo cual se estableció un método de evaluación de riesgos que permite prevenirla o restablecer las propiedades físicas del suelo y en ello consiste el objetivo del presente trabajo en el que se detalla un sencillo esquema de detección temprana del fenómeno.

Materiales y Métodos

Para el diseño del sistema de detección temprana de riesgos de compactación por el uso de equipos de cosecha mecanizada y transporte, se consideraron las variables de mayor efecto: suelos, humedad y tecnología de cosecha empleada y los resultados obtenidos en lotes control donde se estudió el efecto de variantes de cultivo, con la valoración de la compactación mediante el penetrometro de impacto antes y después de la cosecha mecanizada de la caña.

TRATAMIENTOS

1. Cultivo tradicional (CT hasta 25 cm de profundidad)
2. Cobertura inalterada de residuos (CIP)
3. Cultivo profundo (CP > 25 cm de profundidad)

Es posible predecir el riesgo de compactación de un suelo, conociendo su caracterización textural, considerando el tipo de arcilla predominante y el contenido de materia orgánica de los mismos para su categorización, atendiendo a estos factores, se formaron para el diagnóstico tres grupos de suelos, como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Categorización de grupos de suelos para el diagnóstico de la compactación por cosecha

Grupo	Agrupamiento de Suelos	Soil Taxonomy
I	Sialitizados cálcicos y no cálcicos	Inceptisol
	Aluviales	Entisoles
II	Vertisuelos	Vertisol
	Gleyzados Sialíticos Plásticos	Vertisol
	Gleyzados Ferralitizados	Hidromórfico Antrópico
III	Ferralitizados Cálcicos	Oxisol
	Ferralitizados Cuarácicos	Alfisol
	Fersialitizados Cálcicos	Inceptisol

En la metodología propuesta la humedad del suelo en la cosecha debe clasificarse de forma visual en baja, media o alta por la persona evaluadora, basado en factores como retención de humedad del suelo, precipitaciones en los días previos, presencia de grietas, resistencia del suelo a ser moldeado entre los dedos, frescura al tacto y su experiencia personal como especialista, técnico o productor agrícola y para su validación se determina mediante el método gravimétrico que valide la percepción visual.

Los límites por categoría de humedad por suelo aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Rango de humedad (%) por suelo y categorías de humedad.

Grupo de Suelos	Categorías de humedad					
	Baja		Media		Alta	
	Rango	% CC	Rango	% CC	Rango	% CC
I	30 - 36	63 - 75	36 - 47	75 - 98	47- 62	98- 129
II	30 - 33	56 - 61	33 - 51	61 - 94	51- 65	94 - 120
III	7 - 13	23 - 43	13 - 27	43 - 90	27- 43	90 - 143

El ajuste cuadrático entre el incremento de resistencia y la humedad significa que, cada suelo tiene un valor de humedad donde el incremento de la resistencia por el tráfico es cero; si la humedad es menor a dicho valor entonces el incremento es negativo, o sea, la resistencia del suelo después del tráfico es menor al valor inicial, según García (2004), quien atribuyó esa disminución de resistencia a pequeñas fisuras

internas de los bloques de suelo formados durante el proceso de pérdida natural de humedad y que al someterse a presiones elevadas durante el tráfico, debilitan su solidez y como consecuencia, disminuye la resistencia a la penetración de una varilla de cono.

En Cuba se emplean diferentes cosechadoras y medios de transporte que se utilizan de acuerdo a su disponibilidad en cada territorio. Las combinaciones más comunes entre las cosechadoras y los medios de transporte, ordenadas en función de su peso, son las siguientes:

1. KTP-2M + camión ZIL-130 y remolque o carreta
2. CASE + camión BEIBEN o camión KAMAZ y sus remolques.
3. KTP-2M + camión KAMAZ y remolque
4. CASE + camión SCANIA

Se diseñó una tabla de salida cualitativa, considerando tres niveles de riesgo: bajo, medio y alto para las diferentes interacciones de los factores analizados cuyas categorías deben ser validadas en el momento de la cosecha por métodos cuantitativos, con el empleo del penetrómetro de impacto para la resistencia, la gravimetría para los rangos de humedad y su estimación visual.

Resultados y Discusión

La compactación es considerada como uno de los principales problemas a enfrentar en la agricultura cañera actual, vinculada estrechamente al manejo. Es además, el resultado de dos causas fundamentales; el uso inadecuado de la mecanización y la pérdida de materia orgánica, principal responsable de la degradación de las propiedades físicas de los suelos.

En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo, horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante su formación y evolución. Sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de los cultivos (abcAgro, 2014). Cuellar et al., 2003 señalan que en suelos compactos ocurre una disminución del espacio poroso y por ende la reducción del oxígeno disponible y el agua aprovechable por la planta, descendiendo la velocidad de infiltración y se dificulta el desarrollo del sistema radical lo cual incide directamente en los rendimientos del cultivo.

La compactación corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él, las cuales, en la actividad agrícola cañera, tienen su origen principalmente en las cargas producidas por los neumáticos de las cosechadoras y medios de transporte con inapropiado contenido de humedad en el suelo.

Los métodos de pronóstico son de amplia utilización en cualquier rama predictiva, mediante modelos e información relacional y se construyen con la finalidad de mejorar la comprensión de un determinado proceso ecológico y predecir su comportamiento en el futuro, para ello se consideraron variables de predicción en el cambio de esta propiedad física; el tipo de suelo, por su textura y contenido orgánico, la humedad presente al momento de la cosecha mecanizada y la tecnología y transportación empleadas.

Constituyeron fuente de información para el sistema de predicción del riesgo, ensayos tan antiguos como los de Reynoso (1862), quien fuera uno de los primeros en escribir acerca del tema, al señalar que, la depauperación de los retoños se debía al endurecimiento de la tierra por el paso de las carretas, que provocan efectos depresivos sobre la aireación y el crecimiento de las raíces.

Para el diagnóstico de la compactación se determinó la resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de impacto antes y después de la cosecha en cada lote control, para un contenido medio de

humedad, coincidiendo en todas las condiciones edafoclimáticas evaluadas la tendencia de incremento de la resistencia por los efectos del tráfico, como se observa en las figuras 1, para los suelos Ferralíticos y Sialíticos. En el caso de los suelos rojos, la diferencia fue más notable, lo cual puede ser inferido, a su menor contenido orgánico y mineralogía (tipo de arcilla predominante) que define el grado inferior de retención de humedad; no se reportó diferencia en el promedio de impactos críticos entre los tratamientos de Cobertura Inalterada de Paja y Cultivo Profundo y mínima en la profundidad de 20 a 30 cm con el cultivo tradicional, resultado que evidencia el efecto favorable de los residuos de cosecha en la conservación de la humedad del suelo, que garantiza la organización estructural y resiliencia de los agregados, con lo que el suelo no ofrece elevada resistencia a la penetración de las raíces del cultivo, de aquí la importancia de las variables de manejo aplicadas.

Domínguez (1979), plantea que las ruedas de los tractores y de las máquinas agrícolas, compacta 80% o más de la superficie del campo, cuando han sido cosechados entre 3 y 9 veces.

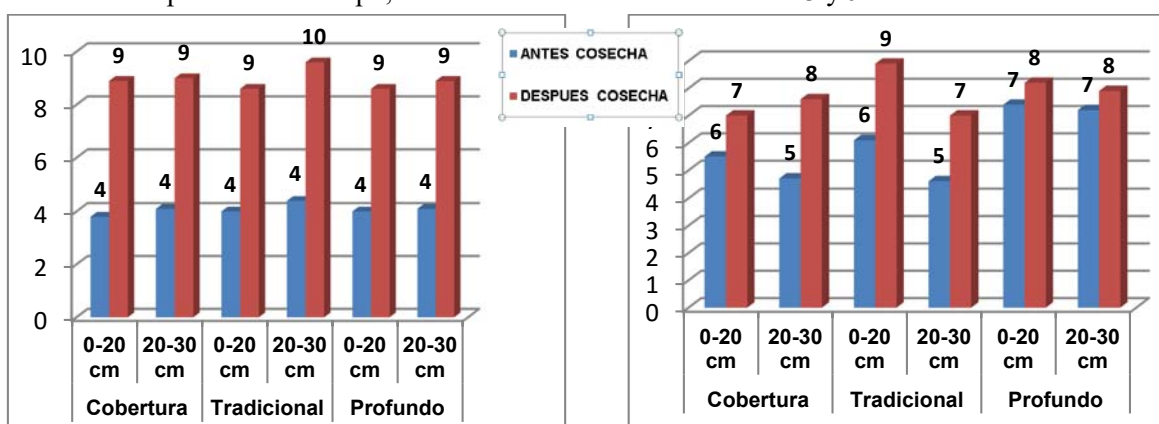


Figura 1. Comportamiento de la resistencia a la penetración antes y después de la cosecha en suelos Ferralíticos Cálcidos y Sialíticos Cálcidos

En todos los suelos estudiados se redujeron los índices de compactación con la aplicación del cultivo profundo, y los rendimientos varían en función del tipo de suelo y manejo agronómico.

En los suelos Ferralíticos, figura 2, la mejor respuesta se alcanzó con el cultivo profundo, en correspondencia con el grado de descompactación alcanzado con el empleo de esta alternativa de manejo en dichos suelos.

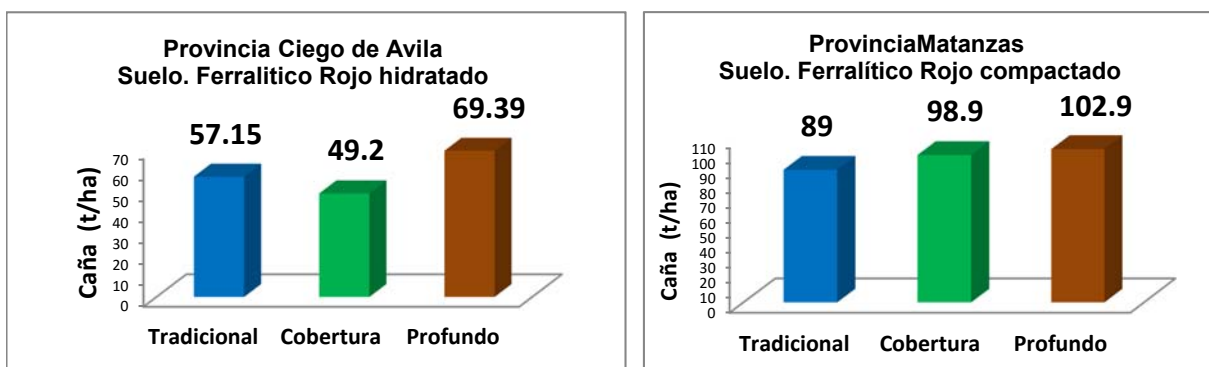


Figura 2. Comportamiento de los rendimientos en los suelos Ferralíticos para las variantes de manejo empleadas

En la figura 3, se muestra que los suelos Sialitizados Cálcidos de Holguín (Fernando de Dios), y Villa Clara (Ifrain Alfonso), con limitaciones por mal drenaje, la mayor respuesta se encontró con la aplicación del cultivo profundo que favoreció a su vez, el movimiento y percolación del exceso de agua en la época de lluvias.

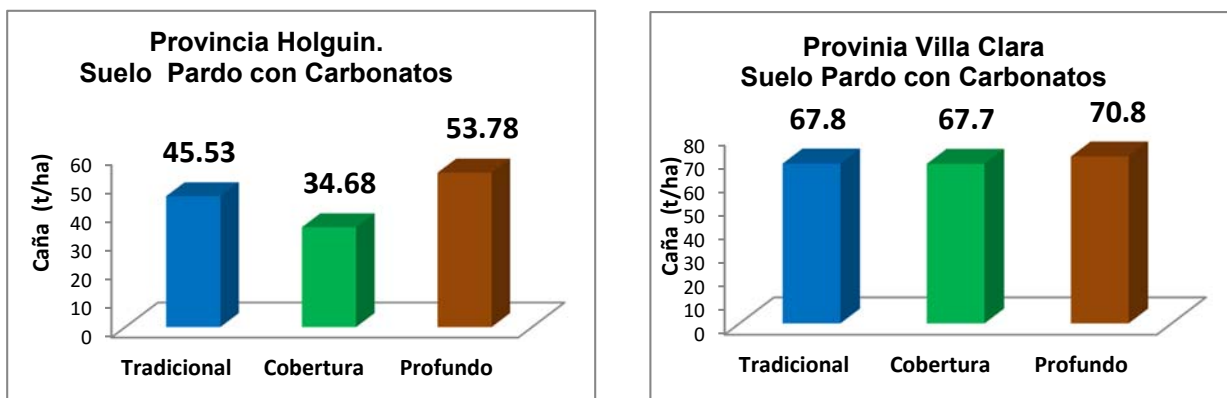


Figura 3. Comportamiento de los rendimientos en los suelos Sialitizados Cálcidos para las variantes de manejo empleadas

Similar tendencia fue encontrada en los Vertisuelos estudiados (figura 4), a mayor respuesta productiva con el empleo del cultivo profundo, lo que justifica el efecto beneficioso del mismo sobre el drenaje superficial e interno, mejorando con la remoción, la condición estructural y poral y así el movimiento del agua en el suelo

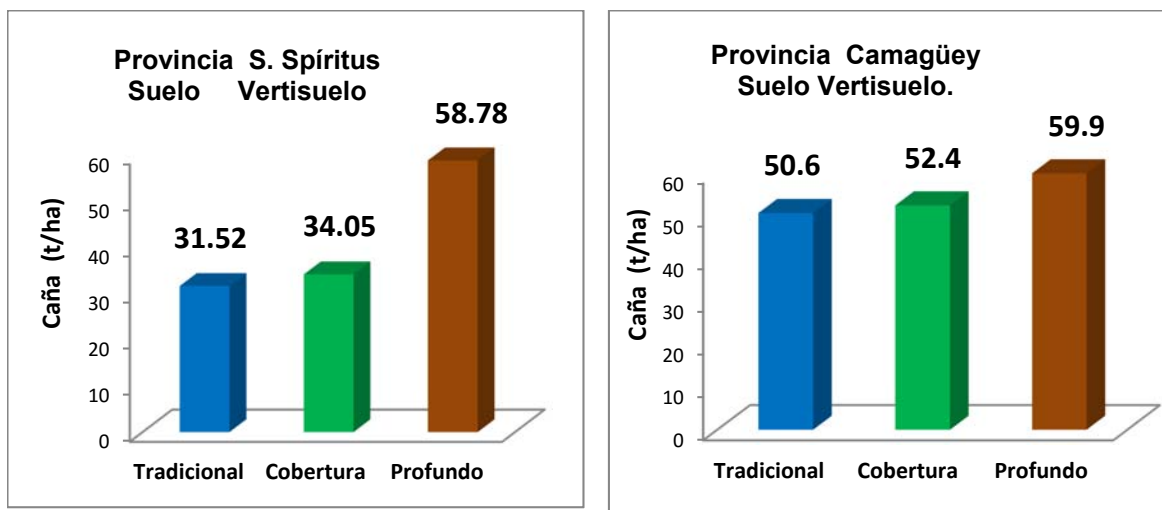


Figura 4. Comportamiento de los rendimientos en los Vertisuelos para las variantes de manejo empleadas

Filho (1990), acota que en Brasil esta alteración ocurre, fundamentalmente, debido al tráfico de equipos de alto tonelaje durante la zafra con inadecuados contenidos de humedad. Braunack (1997), estima que la principal causa de esta manifestación en Australia, ha sido el cambio del sistema de cosecha manual al mecanizado y el empleo inapropiado de prácticas nocivas, lo que se refleja de forma negativa en el desarrollo de las plantaciones y el rendimiento agrícola.

En la tabla 2 se muestra la propuesta cualitativa diseñada, con baja, media y alta probabilidad de ocurrencia de la afectación para las diferentes interacciones de los factores analizados. Las categorías descritas deben ser validadas en campo en el momento de la cosecha por métodos cuantitativos mediante el empleo del penetrómetro de impacto.

Tabla 2. Categorización de riesgos de compactación de suelos en caña de azúcar.

Suelos	Humedad	Tecnología	Riesgos		
			Bajo	Medio	Alto
I	Baja	1	Alto		
		2	Alto		
		3		Medio	
		4		Medio	
	Media	1		Medio	
		2			Alto
		3			Alto
		4			Alto
	Alta	1			Alto
		2			Alto
		3			Alto
		4			Alto
II	Baja	1	Alto		
		2		Medio	
		3		Medio	
		4		Medio	
	Media	1		Medio	
		2			Alto
		3			Alto
		4			Alto
	Alta	1			Alto
		2			Alto
		3			Alto
		4			Alto
III	Baja	1	Alto		
		2	Alto		
		3	Alto		
		4	Alto		
	Media	1		Medio	
		2			Alto
		3			Alto
		4			Alto
	Alta	1			Alto
		2			Alto
		3			Alto
		4			Alto

La validación de las salidas de un modelo es un paso importante para la predicción confiable de cualquier parámetro (Pansu et al., 2004, Wallach et al., 2006) En cada condición de riesgo se cumple los requisitos siguientes:

- Momento de evaluar: Durante la cosecha del campo.
- Puntos de penetrometría: 9.
- Distancia entre puntos sucesivos: 16 m como mínimo.
- Zona de muestreo: Centro del camellón.
- Profundidad de muestreo: 30 cm.

La metodología de campo a seguir es la propuesta por García (2011) donde se describe el procedimiento de trabajo con el penetrómetro de impacto, la evaluación de resistencia en los 9 puntos se realiza inmediatamente antes y después de la cosecha y se deben evaluar la humedad

El traslado de la caña de azúcar se realiza en dos ciclos; uno externo en el que se mueve el material cosechado desde los campos hasta el lugar de descarga, e interno, en el que se transporta la caña junto a la cosechadora durante el proceso de corte y desde el lugar donde termina de cargarse el remolque hasta la cabeza del campo.

En la actualidad se procura incrementar el uso de camiones con remolques en rotación que resulta el más económico en nuestras condiciones, buscar soluciones a los neumáticos para los remolques actuales y de nuevo desarrollo que alcanzan hasta 10 t de carga, pues se ha aumentado su capacidad sin prestar atención a las características de los rodamientos para el movimiento dentro del campo. La solución del transporte en el ciclo interno especialmente con presencia de humedad en el suelo debe tener como premisa , que los equipos puedan transitar sin dejar huellas profundas en el terreno (menores de 50 mm), para no causar daños al suelo y reducir al mínimo la resistencia al movimiento del vehículo.

Todos los equipos que se emplean en el transporte de la caña en Cuba son grandes compactadores del terreno, sus presiones específicas sobre el suelo son muy altas (200 hasta más de 400 kPa) (González, 1998). Por ejemplo el remolque del Kamaz con neumáticos 10 x 20 en su puente motriz ejerce una presión de 422 kPa y en su puente directriz 400. Como regla general, la compactación del suelo se limita a los 20 a 25 cm superficiales, si el peso sobre cada eje del vehículo no pasa de 5 toneladas. El caso más alarmante es el de los nuevos remolques del camión Escania con una capacidad de carga que promedia 19 toneladas sin que sus neumáticos cumplan los requisitos para ello, variante considerada por el sistema de diagnóstico de la compactación que se propone en este trabajo, como la más inadecuada.

Los efectos que la compactación produce, se traducen en un menor desarrollo del sistema radical y por lo tanto de la planta en su conjunto, lo que redundará en una menor producción. (abcAgro, 2014)

Conclusiones

- Es posible predecir el riesgo de compactación de un suelo a través de un sistema de diagnóstico cualitativo
- El cultivo profundo mejora la condición de compactación de los suelos y favorece el incremento productivo
- Las variables tipo de suelo, contenido de humedad y tecnología de cosecha y transportación de la caña, definen la predicción del riesgo de compactación.

Recomendaciones

- Se debe recomendar tecnologías de cultivo tradicional, profundo o cobertura de residuos a partir de los criterios de diagnóstico desarrollados
- Generalización del sistema de diagnóstico de riesgos de compactación por tráfico a las condiciones e cosecha mecanizada del país.

Bibliografía.

- abcAgro, 2014. La compactación de los suelos agrícolas. www.abcAgro.com. Chile
- Álvarez, A. 1997. La atención a los retoños es determinante. Revista cañaveral Octubre diciembre 1997. La Habana. Cuba. pp. 2-5.
- Braunack, M. V. 1997. The effect of soil physical properties on growth and yield of sugarcane. SugarCane No. 2, Marzo-Abril. Australia. p. 4-12.
- Cuellar, I.; de León, M.; Gómez, A.; Piñón, Dolores; Villegas, R. y Santana, I. 2003. Caña de azúcar. Paradigma de sostenibilidad. 1ª Edición, La Habana. Cuba. Ed. Publinica. P 15-170, ISBN 959-7023-24-6
- Domínguez, M. M.; A. Fonseca; A. Abdulkaderov y R. Ramírez 1979. La compactación del suelo en la cosecha de caña mecanizada. Revista ATAC (3), Mayo-Junio. La Habana. p. 57-64.
- Filho, J. O. 1990. Manejo de solos e uso de fertilizantes en caña de azúcar no Brasil. Conferencia sobre Manejo de suelos y fertilizantes en caña de azúcar en América Latina y el Caribe. GEPLACEA. La Habana, Cuba. 30 pp.
- García Ruiz I. 2004. La compactación por la cosecha mecanizada en los suelos Pardos Sialíticos Cálcicos y el manejo cultural de los retoños de caña de azúcar. Tesis en opción al título Académico de Maestro en Ciencias Agrarias. Universidad “Carlos Rafael Rodríguez” de Cienfuegos. 112 pp.
- García, I. ;Sánchez Maritza; Betancourt Y. y M. Vidal 2011. Normativas para el uso del penetrómetro de impacto en el diagnóstico de la compactación de los suelos en caña de azúcar. Cuba & Caña No. 2 p 54-60. ISSN 1028-6527
- González, O.; Reyes V.; Pérez, Y.; Rodríguez, M. y Ernesto, G. 1998. Transporte de la caña de azúcar en cualquier condición de humedad. Revista ATAC. No.1 Enero-Junio 1998. pp 10-14.
- Martínez, J.; N. Noguera; W. Peters; T. Clavero y A. Casanova. 1992. Efecto de la compactación sobre la producción de forraje en pastos Guinea (*Panicum maximum* Jacq). Revista Facultad de Agronomía. (LUZ): 9. Maracaibo, Venezuela, p. 97-108.
- Pansu, M., P. Bottner, Sarmiento, L. y Metselaar, K. 2004. Comparison of five soil organic matter decomposition models using data from C14 y N15 N labeling field experiment. Global Biogeochem. Cycles, 18, GB4022, doi:10.1029/2004GB002230.
- Ponce de León, D y C, Balmaseda. 1999. El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. INICA. MINAZ. La Habana. Cuba.p.56.
- Reynoso, A. 1862. Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar en Cuba. Edición Técnica. La Habana. 283 pp.
- Schafer, R. L.; C. E. Johnson; A. J. Kaleen; S. C. Gupta y R. Horn 1993. Future research needs in soil compaction. ASAE 90-1078. USA. 31 pp.
- Wallach, D.; D. Makowski y Jones, J. W. (Ed.) 2006. Working with Dynamic Crop Models Evaluation, Analysis, Parameterization, and Applications, Elsevier, p. 447.
- 170. Woomer, P. L. y Swift, M. J. (Ed.) 1994. The Biological Management of Tropical