



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN PROCESO AGROINDUSTRIAL

**TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL
SUELO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD EN EL MOMENTO DE LA
COSECHA MECANIZADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.**

Autor: Osiris Martínez Hernández

Tutor: MSc. Inoel García Ruiz.

CURSO 2011-2012

Resumen

El estudio se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa “Carlos Manuel de Céspedes” de la Unidad Empresarial de Base “Ifraín Alfonso” de Ranchuelo, con el objetivo de evaluar las variaciones de la resistencia del suelo Pardo con Carbonatos, al cosechar con diferentes contenidos de humedad. Para evaluar la resistencia del suelo se utilizó un penetrómetro de impacto (Stolf, 1983) y en cada punto de lectura se tomaron muestras en los horizontes 0-10, 10-20 y 20-30 cm para determinar humedad por gravimetría. También se evaluó la velocidad de infiltración de agua en el perfil del suelo, categorizando los horizontes compactados en alta, media y baja humedad. Se seleccionó un área demostrativa donde se compararon tres tecnologías en cuanto a desarrollo fenológico de la caña de azúcar. Se calculó el efecto económico, considerando como variante testigo el cultivo no profundo. Los análisis estadísticos se realizaron con el Paquete Statgraphics Plus 5.1. Los resultados indican que el horizonte de suelo a una profundidad de 20-30 cm está altamente compactado, debido fundamentalmente al uso intensivo de la maquinaria sin la aplicación de labores de cultivo profundo, dando lugar a la formación de hard-pan que limita el desarrollo de las raíces y el rendimiento agrícola de los retoños de caña de azúcar. Como otro resultado se comprobó que la variación de la resistencia provocada por la cosecha mecanizada se asocia a la humedad del suelo, con incremento máximo en la categoría de tempero, intermedio en la húmeda y menor en la seca. La velocidad de infiltración del agua fue muy afectada cuando la cosecha mecanizada se realizó con el suelo en tempero y húmedo y menos en el seco. El rendimiento agrícola del cultivo profundo fue estadísticamente superior a las otras dos variantes, logrando efecto económico positivo respecto al testigo, mientras fue negativo para la cobertura de residuos.

Palabras claves: Resistencia, humedad, tráfico.

INDICE

	PÁGINA
Resumen	2
Índice.....	3
Introducción.....	4
Capítulo 1: Revisión bibliográfica.....	8
Capítulo 2: Materiales y métodos.....	19
2.1 Variaciones de la resistencia del suelo durante la cosecha mecanizada en función de la humedad.	19
2.2 Evaluación del efecto sobre el suelo de diferentes tecnologías de atención los retoños de caña de azúcar.....	20
2.3 Seleccionar el sistema de manejo más adecuado para la atención a los retoños de caña de azúcar en función de uso y manejo de suelo...	23
Capítulo 3: Resultados y discusión.....	25
3.1 Resultados de la caracterización del área de estudio.....	25
3.2 Resultados de la resistencia del suelo por el tráfico de los equipos de cosecha. Efecto de la humedad....	26
3.3. Seleccionar el sistema de manejo más adecuado para la atención a los retoños de caña de azúcar en función de uso y manejo de suelo...	38
Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	43
Bibliografía.....	44
Anexo I	55
Anexo II	56

Introducción

La agricultura cubana comenzó el proceso de modernización tecnológica a partir de 1959, cuando se nacionalizaron las tierras y crearon diferentes organizaciones productivas colectivas, lo que facilitó la introducción de máquinas agrícolas en los distintos sectores de la producción agropecuaria. Durante dicho proceso, el cambio de la cosecha manual de la caña de azúcar por la mecanizada, puede considerarse la transformación tecnológica más trascendental ocurrida en los últimos 50 años en el sector azucarero, tanto por su impacto productivo como por la humanización del trabajo. El cambio ha sido de tal magnitud, que la industria azucarera local no puede concebirse sin el sistema cubano de cosecha mecanizada. En este sentido, Domínguez *et al.* (1979) justifica la mecanización de la cosecha en el país por el incremento del área cañera en las décadas de 1960-1970 a la escasez y baja productividad de la fuerza de trabajo manual. Por su parte, Maclean (1977) opina que el desarrollo vertiginoso la mecanización que tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XX, favoreció la introducción de cosechadoras desde principios de 1960.

De acuerdo con De Armas *et al.* (1984) la introducción de máquinas cosechadoras incrementa la productividad en la cosecha, con el consiguiente ahorro de trabajo vivo o manual. Sin embargo, la introducción de la nueva tecnología de cosecha no sólo trajo beneficios sino también intensificó ciertos factores negativos para la producción, como el incremento de la compactación de los suelos por el tráfico de los equipos de corte y transportación, lo cual puede limitar el desarrollo de los retoños en el ciclo siguiente si no se toman medidas adecuadas. En este sentido, Bondarev *et al.* (1990) puntualizan que los problemas de compactación de los suelos por la maquinaria agrícola son acuciantes en los países de agricultura intensiva, adquiriendo importancia primaria por su impacto ambiental negativo. Por su parte, Mac Donagh *et al.* (2000) reconocen como la causa principal de la compactación de los suelos la participación en la agricultura de equipos cada vez más pesados. Sin embargo, Lipiec *et al.* (1994) consideran que la respuesta de los cultivos de interés económico a la compactación depende de interacciones complejas entre la planta, suelo, humedad y resistencia del suelo.

En Cuba Domínguez (1986) en pruebas de laboratorio encontró presiones de los neumáticos de las cosechadoras KTP de hasta 278.6 kPa (2.84 kgf/cm²) e incrementos de la densidad aparente del suelo hasta 1.3 g/cm³. Además, González

et al. (1998) afirma que todos los medios de transportes utilizados en Cuba en el sector cañero, ejercen mayor presión sobre el suelo que las recomendadas internacionalmente y añade que las carretas RC-02 y camiones y remolques KAMAZ superan los 400 kPa de presión, debido fundamentalmente al uso de neumáticos angostos.

Resultados de Fonseca *et al.* (1988) confirman que los modelos cubanos de cosechadoras KTP-1 y KTP-2 causaron mayor variación de la resistencia del suelo que la TOFT-6000 de origen australiano, en estudios realizados en suelos Ferralíticos Rojos de la provincia La Habana en cepas de ciclo largo y retoños.

Por las razones anteriores, buscar manejos agronómicos que permitan la aplicación de tecnologías de atención a los retoños que descompacten el suelo, es objetivo priorizado para evitar afectaciones al rendimiento agrícola. Para minimizar el impacto de la compactación del suelo sobre la caña de azúcar se han diseñado tecnologías de atención a retoños, entre las cuales se pueden mencionar las labores de cultivo tradicional y profundo, utilizando los órganos del implemento separados a 1.10 y 1.60 m para descompactar el suelo, tanto en la zona más cercana al plantón como en el centro del camellón y hasta 30-35 cm de profundidad como máximo, aunque puede ser menor en suelos poco profundos. Otra tecnología aplicada con frecuencia en suelos de buen drenaje es la cobertura inalterada de paja, donde los residuos de cosecha se mantienen sin alteración durante los meses siguientes al corte y por tanto, el suelo permanece con los niveles de compactación creados durante la cosecha, lo que limita el desarrollo de la caña de azúcar si la selección del campo para la aplicación de la tecnología se hace incorrectamente.

Una variante tecnológica de manejo de residuos en retoños de corte mecanizado para campos de bajo rendimiento consiste en trasladar manual o por medios mecánicos los residuos del camellón hacia el surco, para aumentar el espesor de residuos y mejorar el control de malezas en la zona del surco, que es donde ocurre mayor competencia por luz, agua y nutrientes con la caña de azúcar. Rodríguez *et al.* (2006) plantean que el arroje reduce la infestación de malezas en el surco, disminuye 2 labores de limpia como promedio y favorece la aplicación de labores de cultivo en el entresurco.

La selección por el productor cañero de la tecnología de atención a las áreas de retoño se realiza sin un basamento científico, sino de forma empírica y sin mediar

evaluación alguna del estado físico del suelo, que le permita tener una visión más exacta sobre el grado de compactación del suelo y basado en ello seleccionar la tecnología de manejo más adecuada. Sin embargo, en la actualidad hay instrumentos que facilitan la realización de esas evaluaciones de forma relativamente barata y práctica. En este sentido, Stolf (1983) trajo a Cuba una muestra de penetrómetro de impacto muy fácil de construir y que, según sus resultados, era utilizado en Brasil para detectar capas de suelo compacto en las áreas cañeras de aquel país. De la fundamentación anterior se identificó como problema para el desarrollo del presente trabajo de diploma:

Problema

En la UBPC “Carlos Manuel de Céspedes” no se evalúa la resistencia del suelo en función de la humedad en áreas cañeras de cosecha mecanizada, lo que dificulta la toma de decisiones sobre el sistema de manejo de este recurso natural.

Hipótesis

Si se evalúa en la UBPC “Carlos Manuel de Céspedes” la resistencia del suelo en función de la humedad en áreas cañeras de cosecha mecanizada, el productor logrará localizar en el perfil de suelo los horizontes con mayor compactación y desarrollar el sistema de manejo más adecuado.

Objetivo general

Evaluar la variación de la resistencia del suelo en función de la humedad en el momento de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

Objetivos específicos

- Estudiar las variaciones de la resistencia del suelo en función de la humedad en el momento de la cosecha mecanizada de áreas cañeras.
- Evaluar el efecto sobre el suelo de diferentes tecnologías de atención a los retoños de caña de azúcar para la localización de las zonas más compactas del perfil.
- Seleccionar el sistema de manejo más adecuado para la atención a los retoños de caña de azúcar en función de uso y manejo de suelo.

Aportes de la investigación

La tesis aborda un tema muy debatido en el mundo por su importancia en la búsqueda de soluciones que contribuyan a la conservación del recurso suelo, por cuanto el tráfico de la maquinaria agrícola es uno de los factores que más incide en la compactación. Brinda soluciones prácticas para detectar compactación de los suelos, útiles al productor como herramienta para la toma de decisiones en el manejo de tecnologías de atención a retoños de cosecha mecanizada y también brinda aportes desde el punto de vista metodológico aplicables en el medio productivo.

1: Revisión bibliográfica

En la primera mitad del siglo XX, se desarrollaron cambios tecnológicos importantes en la agricultura, con la introducción masiva de la mecanización de las labores agrícolas, lo que formó parte de la denominada “Revolución Verde”. Cabe señalar, que el modelo productivo del siglo XX fue revolucionario por posibilitar una explotación más intensa y productiva de los recursos naturales, pero insuficiente técnicamente para preservarlos, lo que llevó a que a fines del siglo pasado, se generalizara la conciencia sobre la imposibilidad de mantener estas prácticas agrícolas por un tiempo prolongado.

En particular la mecanización agrícola se evalúa como una de las principales causantes del deterioro de los suelos, porque contribuye a la compactación de los mismos, por la acción sobre el terreno del rodaje de los equipos y de los órganos trabajo de los implementos agrícolas. La acción de la maquinaria constituye un componente importante en la génesis de la compactación a la que se suma el impacto de las gotas de lluvia, e inciden de manera importante propiedades del suelo como su contenido de materia orgánica y estructura.

En correspondencia con lo anterior, se desarrolló una investigación que aborda el tema de los efectos del tráfico de la maquinaria de cosecha de la caña de azúcar sobre el suelo, cuyos objetivos son los siguientes.

1. Objetivo general

Evaluar la variación de la resistencia del suelo en función de la humedad en el momento de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

Objetivos específicos

- 1.1. Variaciones de la resistencia del suelo en función de la humedad en el momento de la cosecha mecanizada de áreas cañeras.
- 1.2. Efecto sobre el suelo de diferentes tecnologías de atención a los retoños de caña de azúcar para la localización de las zonas más compactas del perfil.
- 1.3. Sistema de manejo más adecuado para la atención a los retoños de caña de azúcar en función de uso y manejo de suelo.

El suelo en estado natural está compuesto por partículas sólidas cuya disposición constituye una armazón o estructura con espacios porosos interconectados entre sí que, junto a las galerías producidas por organismos vivos o por la descomposición de raíces y otros restos de origen vegetal, garantizan el necesario intercambio gaseoso y movimiento del agua, logrando así el balance aire-agua-sólidos adecuado para el buen desarrollo de las plantas. Cairo *et al.* (1994) consideran que, en general, un suelo bien estructurado está formado por 45 % de sólidos, 25 % de agua, 25 % de aire y 5 % de materia orgánica. Si la parte sólida por unidad de volumen se incrementa hay reducción de los poros y afectación de la aireación y capacidad de retención de agua del suelo, lo cual después de cierto límite denota presencia de compactación.

Diferentes especialistas en el tema han brindado conceptos de compactación, así por ejemplo, Martínez *et al.* (1992) la conceptualizaron como la reducción del espacio poroso no capilar, responsable de la infiltración y aireación de los suelos y Carvallo (2004) como la disminución del volumen de suelo por compresión que provoca un reposicionamiento de las partículas con reducción de porosidad. En resumen, desde el punto de vista agrícola se puede definir a la compactación como la alteración del estado físico natural de un suelo, que afecta su estructura y disminuye el potencial productivo de las plantas de interés económico.

El origen de la compactación de los suelos puede asociarse a diversos factores, pero la actividad del hombre se cataloga como la causa más importante. El laboreo, pisoteo de animales, manejos agrícolas incorrectos y el tráfico de la maquinaria pueden dar origen a compactación. En este sentido, Bondarev *et al.* (1990) puntualizan que la compactación se ha agudizado en el mundo debido a la intensificación de la mecanización, lo que trae consigo incremento del tráfico de tractores, cosechadoras, remolques y otros. Núñez *et al.* (2002), plantean que el uso indiscriminado de labores mecánicas ha contribuido al desarrollo de capas de suelo subsuperficiales altamente compactadas.

El tráfico reiterado de máquinas agrícolas induce procesos de compactación subsuperficial del suelo, con aumento de la profundidad de compactación al incrementar el número de pasadas, lo cual limita el desarrollo del sistema radicular de los cultivos (Botta, 2002). Por su parte, Czyz *et al.* (2001) señalan que la compactación del suelo causada por el incremento de la mecanización agrícola es

un problema para la producción y también para la ecología. La poca disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas es característica de las condiciones de aeración de los suelos compactos, siendo uno de los factores más importantes que gobiernan el rendimiento de los cultivos. Agregan que la disponibilidad de oxígeno para las plantas no sólo depende de su concentración en el aire del suelo, sino también de las propiedades físicas y condiciones alrededor de las raíces, ya que la aeración restringida daña el crecimiento de la planta por varios mecanismos y finalmente, reduce los rendimientos de la cosecha.

Los efectos dañinos de la compactación se manifiestan en variadas especies de plantas. Así, Siegel-Issem, y col. (2005) señalan que sistemas de manejo intensivo de bosques pueden compactar el suelo y reducir el crecimiento de las raíces. Al respecto, Gómez y col. (2002) plantean que los efectos de la compactación sobre plantas de pino de 4 años de edad, varió según la textura del suelo y el régimen de humedad.

En el caso particular de la caña de azúcar, Reynoso (1862) ya percibió efectos nocivos sobre el suelo al señalar que, “la depauperación de los retoños se debe al endurecimiento de la tierra por el paso de las carretas y pisoteo de animales”, lo cual fue señalado en condiciones de un proceso de producción completamente manual existente en aquellos años. Con el paso del tiempo el cultivo de caña de azúcar ha cambiado hacia un alto componente de mecanización de la agricultura en muchos países. Así, Humbert (1968) señala que de manera global se apreciaba una tendencia hacia la declinación del rendimiento en correspondencia con el empleo de máquinas cada vez más pesadas. Filho (1990) acota que la compactación de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Brasil ocurre, fundamentalmente, debido al tráfico de equipo de alto tonelaje durante la zafra.

Braunack (1997) estima que la principal causa de la compactación de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Australia, ha sido el cambio del sistema de cosecha manual al mecanizado, reflejándose de forma negativa en el desarrollo de las plantaciones y el rendimiento agrícola. En este mismo sentido, Zérega *et al.* (1998) apuntan que la compactación es una de las causas principales de los bajos rendimientos de la caña de azúcar en Venezuela, por limitaciones en la infiltración, capacidad de almacenamiento del agua, aireación y disponibilidad de nutrientes en

los suelos compactos, lo cual trae consigo marcado retraso en el crecimiento del cultivo.

Más recientemente, Salgado *et al.* (2001) plantean que el agrosistema cañero tiene mayor tecnificación que otros agrosistemas agrícolas en varios países latinoamericanos, agregando que las labores desde la preparación del suelo hasta la cosecha, requieren del uso de maquinaria agrícola que tiende a modificar características físicas del terreno. Por su parte, Laia *et al.* (2006) precisan que la tecnología de producción de caña ha evolucionado en lo referente al uso de máquinas, implementos, transporte de mayor capacidad unitaria, lo que provoca impactos adversos en el suelo.

Souza (2005) especifica que la compactación en los cañaverales ha ocurrido por la aplicación de sistemas de manejo, que involucran el tráfico de maquinaria en contenidos inadecuados de humedad en el suelo y que de esa forma, la mecanización de la cosecha puede influenciar en la producción, la longevidad del campo y en los atributos físicos, químicos y biológicos que desembocan en un daño ambiental.

En Cuba, Fonseca (1982) señala que la humedad es el factor más importante en la compactación producida por la maquinaria y agrega que el empleo de equipos pesados en la cosecha y transportación de la caña de azúcar, crea un problema grave de compactación que, por lo general, acelera la declinación del rendimiento agrícola en proporción a la cantidad de cortes. También, Fonseca (1988) obtuvo mayor compactación por el tráfico de cosechadoras en el horizonte 20-30 cm, lo cual atribuyó a contenido de humedad más elevado en esa capa de suelo respecto a las superiores. En general, se acepta que el empleo de máquinas pesadas en los procesos de producción agrícola es la causa principal de la compactación de los suelos, lo cual se ejemplifica fehacientemente en Cuba en el caso particular de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

Entre los factores que contribuyen a la compactación de los suelos por el tráfico de la maquinaria, la humedad desempeña papel importante por cuanto, en bajos contenidos de humedad, se forman grumos difícilmente desintegrables y por el contrario, si la humedad es elevada parte importante de los poros están llenos de agua, el desplazamiento de las partículas se dificulta y la compactación disminuye. De acuerdo con lo anterior, los suelos serán más o menos afectados por el tráfico o

el laboreo según cambia la humedad, lo que ha justificado el estudio y establecimiento de niveles o estados de consistencia de los suelos en función del contenido de agua. Según Jaramillo (2002) el contenido de humedad define varios estados de consistencia, los cuales le dan ciertas propiedades especiales que definen su comportamiento mecánico, reflejando la relación en que se encuentran las fuerzas de cohesión (atracción entre partículas o moléculas de la misma sustancia) y de adhesión (atracción entre sustancias o partículas heterogéneas) en el suelo. Así, a medida que se incrementa el contenido de humedad del suelo, van cambiando las fuerzas que determinan su comportamiento mecánico, lo cual se manifiesta en las propiedades que va adquiriendo el suelo en sus diferentes estados de consistencia.

En este sentido, Hossne *et al.* (2004) plantean que el conocimiento de los límites de Atterberg para los suelos agrícolas, representa una ventaja para establecer los estados de comportamiento del suelo, de acuerdo al contenido de humedad edáfica. De esta forma podría hacerse un mejor manejo de la maquinaria agrícola y aplicación del riego y como consecuencia, favorecer el crecimiento de las raíces de los cultivos. Los propios autores agregan que la labranza del suelo debe hacerse cuando la humedad es cercana e inferior a la capacidad de campo y también por debajo del límite plástico. Arvidsson *et al.* (2004) encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo. Por otra parte, agregan que la labor en un suelo seco favorece la formación de terrones grandes y suelos con contenido de agua superior al límite plástico son fácilmente deformados y compactados. Antwerpen *et al.* (2007) señalan que suelos con alto contenido de agua son más susceptibles a la degradación por el tráfico que si estuvieran secos. Simalenga *et al.* (1992) concluyeron que el suelo puede ser trabajado cuando el contenido de humedad se encuentra por debajo del 95 % de la capacidad de campo.

1.2. Tecnologías de atención a retoños

Resulta indudable que la introducción de máquinas en los procesos de producción agrícola de la caña de azúcar perjudica los suelos, sin embargo, los beneficios son tan notables en la productividad y humanización del trabajo, que es impensable renunciar a ella, por lo que lo más razonable será buscar esquemas de atención cultural que mitiguen los efectos nocivos al suelo provocados por la mecanización.

Yang (1980) planteó que el deterioro de las propiedades físicas del suelo debido a la excesiva compactación por la mecanización, debe ser restaurada para obtener buena estructura del suelo y niveles razonables del rendimiento agrícola. Por su parte Espinosa (1967) obtuvo disminución del 50 % del rendimiento agrícola después de tres cortes mecanizados consecutivos. Claverie *et al.* (2005) menciona, como una de las posibilidades para atender a esta problemática, el empleo de herramientas de corte vertical y de acción profunda, que efectúan una labor de escarificado del suelo tanto de remoción vertical como de efecto lateral de roturación. En este sentido, Bonel *et al.* (2005), encontraron que la resistencia a la penetración fue significativamente menor en parcelas escarificadas hasta 35 cm de profundidad.

La efectividad de estas tecnologías de atención a las plantaciones cañeras como contrapartida a los daños de la mecanización, debe abarcar no sólo al suelo si no involucrar también la respuesta productiva de la caña de azúcar que, al ser un cultivo de ciclo anual, requiere que las labores de mejoramiento físico del suelo prolonguen su efecto beneficioso en el tiempo, lo suficiente como para que haya incremento de rendimiento agrícola. Al respecto, Busccher *et al.* (1986), encontraron valores de resistencia a la penetración restrictivos para el crecimiento radical de 2,5 Mpa un año después de efectuar labores de descompactación, destacando que todo indicio de la labranza resultaba indetectable a los dos años de su realización. Spoor *et al.* (2003) exponen que, habitualmente las labores de descompactación se relacionan con un intenso roturamiento del suelo; sin embargo, el efecto buscado sería “fisurar sin aflojar” para evitar los procesos de consolidación y recompactación inducida por el tránsito posterior a la labor. Además, indican que los implementos adecuados en la búsqueda de estos objetivos serían los subsoladores de montantes inclinados y los subsoladores alados. Balbuena *et al.* (1995) a partir de sus resultados concluyen que lo limitado de la persistencia de la disminución de la resistencia del suelo durante sólo 6 meses, tornaría inadecuado realizar la labor en forma muy anticipada, agregando que es necesario realizar la labor de descompactación lo más tarde posible en el ciclo productivo, lo cual en el caso de los retoños de caña de azúcar puede resultar contraprudente, porque la renovación del sistema de raíces requiere de suelo no compacto y pasado un tiempo, el propio crecimiento de los tallos impide el laboreo con tractores de despeje normal. Por el contrario, Cholaky

(2003) considera que el efecto de la descompactación persiste durante el periodo de desarrollo del ciclo de un cultivo anual, cuando no se efectúa tránsito luego de la labor.

La adopción de un determinado sistema de manejo cultural para retoños de caña verde depende, según Makepeace (1998), de factores como el costo de las labores agrícolas, la topografía, sistemas de cosecha y la tradición, agregando que existen diversos métodos para atender la caña de azúcar, priorizándose los herbicidas, la cobertura, las labores mecanizadas o manuales o la combinación entre ellos. Asimismo, investigadores de la CDAACS (2008) plantean que el sistema de manejo cultural debe considerar el posible deterioro del suelo, el cual está muy relacionado con el balance de la materia orgánica y por lo tanto, los sistemas agrícolas son más sustentables si incluyen una equilibrada rotación de diferentes cultivos. Agregan que el deterioro de los suelos no sólo se produce por el empleo de rotaciones pobres en aportes de residuos sino también por el uso de agresivos sistemas de laboreo del suelo, como los basados en arados y/o discos pesados.

En el caso concreto de Cuba antes de 1959 y hasta 1970 todas las actividades agrícolas eran manuales, la compactación de los suelos era mínima, la cosecha se realizaba en caña verde, los residuos se mantenían como cobertura, por lo que las áreas de retoño sólo recibían alguna labor de control manual de malezas y prácticamente no se hacían labores de cultivo, (Alomá, 1983). A partir de 1970, según García (1983) se inició un proceso acelerado de mecanización de la agricultura, abarcando no sólo las diferentes labores culturales del proceso de producción sino también la cosecha, llegando al 50 % de la caña con corte mecanizado en 1980 e incrementándose a más del 70 % en la actualidad, lo cual ha influido sobre las tecnologías de atención a las plantaciones cañeras. No obstante, en los últimos años se está impulsando una política de protección ambiental, donde están involucrados no sólo especialistas y técnicos si no también los productores, donde se realizan acciones encaminadas al aprendizaje e introducción de manejos agrícolas más sustentables, aunque aún el uso de químicos es notablemente elevado comparado con consumo de herbicida por tonelada de caña obtenida.

De acuerdo con Hechavarría *et al.* (1985) en el año 1972 se introduce en Cuba la familia australiana de implementos para la atención a retoños quemados, lo que trajo consigo la generalización de la cosecha de caña quemada. El sistema australiano,

añaden los autores, fue una solución satisfactoria para la atención a estos retoños, sin embargo, el elevado costo de control de malezas y el deterioro acelerado de la caña después del corte, influyeron para que se retornara a la cosecha de caña verde en el año 1975.

El incremento sostenido de la cosecha mecanizada en el período 1970-1980, unido al uso de labores de cultivo hasta 15-25 cm de profundidad durante muchos años, provocaron que especialistas y productores percibieran la necesidad de utilizar tecnologías de cultivo de mayor profundidad. Es así que, según Fonseca *et al.* (1996), en 1982 se realizan experiencias en campos de producción con labores hasta 30-40 cm, con equipos de mayor potencia e implementos más resistentes y de cuyos resultados positivos, se decide extender el cultivo profundo a todo el país. En los años siguientes y durante la década de 1980 esta tecnología recibió un gran impulso, convirtiéndose en la principal técnica usada en Cuba para atender los retoños de cosecha mecanizada. Sin embargo, su aplicación desacertada condujo a errores de manejo y pobres resultados en cuanto a rendimiento agrícola que decretaron su abandono. En este sentido, Torres *et al.* (2007) plantean que la respuesta variable de la caña al cultivo profundo se debe, a su uso indiscriminado en áreas donde no existen capas duras de suelo o que en el momento de la subsolación hay mucha humedad.

1.3. Residuos de la cosecha mecanizada

En 1988 se implantó un nuevo sistema conocido como cobertura inalterada de paja donde se suprimen todas las labores de cultivo mecánico, excepto la fertilización, el control de malezas se realiza con el efecto combinado de los residuos y de herbicidas foliares. Esta tecnología se aplicó masivamente sin considerar el grado de compactación del suelo, lo que condujo a resultados no esperados y al incremento de la cantidad de sus detractores. No obstante, Núñez *et al.* (2007) en estudios realizados para la introducción de la cosecha de caña verde en Ecuador, plantean que las ventajas de la cosecha mecanizada de caña verde fueron la reducción de las aplicaciones de herbicidas, conservación de la humedad y aumento del reciclaje de nutrientes y como desventajas la reducción de la productividad del corte y mayor contenido de paja en la caña enviada al central.

Sin embargo, en el marco de una agricultura cañera cada vez más limpia, el uso de los residuos de cosecha mecanizada en verde, indudablemente tienen que ampliar

su espacio dentro de los paquetes tecnológicos de atención a los retoños, para aprovechar así las bondades de la caña de azúcar en cuanto a la producción de biomasa, la cual comprende desde la raíz y tallo hasta el cogollo y hojas. Al respecto, Dillewijn (1951) plantea que alrededor del 60 % de la materia seca de la caña es tallo molible y el 40 % restante lo componen el cogollo y la paja, agregando que las variedades precoces tienen mayor cantidad de hojas que las tardías. Faunconnier *et al.* (1980) determinaron que aproximadamente el 30 % de la producción total de materia vegetal de la caña, esta compuesta por paja y cogollo, mientras Irvine (1981) acota que, en las condiciones de Louisiana la paja y el cogollo representan el 26 % de la biomasa aérea total de este cultivo. Por su parte Baxter (1983) considera que en Sudáfrica la paja puede llegar al 30 % de la biomasa total. En Cuba Álvarez (1997) plantea que la cantidad de paja y cogollo producida por este cultivo depende de factores como manejo agronómico, características de las variedades, clima, rendimiento agrícola y hasta del ciclo de cosecha, puntualizando, en términos generales, que la proporción de paja y cogollo fluctúa entre 15 y 29 % de la producción total de biomasa. Milanés *et al.* (1997) en estudios realizados para recomendar variedades para la alimentación animal, plantean que el cogollo y la paja representan, como promedio de 12 variedades, el 30.95 % de la producción total de biomasa.

Las proporciones de paja y cogollo señaladas anteriormente permiten estimar, por término medio que, alrededor del 30 % de la producción de materia vegetal esta compuesta por paja y cogollo, los cuales junto a las raíces componen la biomasa no molible de la caña de azúcar. En las condiciones del sistema de cosecha mecanizado de la caña de azúcar en Cuba, una parte de la paja entra en el ingenio junto a la materia prima para la fabricación del azúcar, otra queda en los centros de limpieza y el resto, permanece en el campo en forma de cobertura.

En varias regiones cañeras del mundo las investigaciones sobre las implicaciones agronómicas de la cosecha de caña verde y la cobertura inalterada de paja indican que, los principales beneficios son la disminución de herbicidas residuales, erosión, labores de cultivo así como conservación de la humedad (Kingston *et al.* 2005). Otros beneficios reportados por Richard (2003) son el suministro de caña fresca a la fábrica, mejoramiento de la salud del suelo, aumento de material orgánica, mayor reciclaje de nutrientes, aumento de microorganismos y reducción de malezas. Por su

parte, Chapman (2001) en Australia considera que, la introducción de la cosecha de caña verde y el uso de la cobertura es uno de los principales avances ambientalistas alcanzados por los agricultores cañeros en Queensland, logrando no sólo incrementar el rendimiento agrícola si no también reducir la erosión, controlar malezas y mejorar la eficiencia del uso del agua.

La descomposición de los residuos de cosecha hace importantes aportes de nutrientes al suelo. Así, De Oliveira *et al.* (1995), añaden que una ventaja notable de no eliminar los residuos está relacionada con la liberación gradual de los nutrientes durante el período de descomposición, lo que contribuye a mejorar la eficiencia en su utilización por la planta.

En Cuba Pérez (1986) determinó que, en condiciones de cosecha para centro de acopio de un cuarto retoño de la ya proscripta variedad Ja60-5, se aportaban al suelo durante la demolición 125, 96 y 200 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, procedentes de los tallos, cepas, hojas y cogollos, agregando que esas cantidades de nutrientes superan, como promedio, las aportadas por la fertilización mineral en este cultivo.

Graham *et al.* (2002) demostraron que en Sudáfrica los residuos procedentes de la cosecha incrementan los tenores de carbono lábil en el suelo, mientras Meier *et al.* (2006) in Australia consideran que los restos de cosechas pueden suministrar pequeñas cantidades de nitrógeno a la cosechas siguiente. No obstante, algunos especialistas están planteando sistemas alternativos de manejo de residuos para evitar los posibles daños que puedan esperarse por mantener los residuos de cosecha sobre el suelo. Así, Pankhurst *et al.* (2003) mostraron que los efectos deprimentes de los residuos pueden evitarse, con sistemas de rotación de leguminosas en años alternos. La materia orgánica procedente del mulch de paja protege la superficie del suelo de la erosión, elimina malezas, conserva humedad y es fuente para producir carbono lábil, nitrógeno y otros nutrientes. Además, el carbono lábil es la más importante fracción orgánica para mantener la estructura, capacidad de almacenamiento de agua e infiltración del agua en el suelo Bell *et al.* (2001). Por su parte Sasal *et al.* (2007) plantean que pueden ocurrir pérdidas importantes de nutrientes por escurrimiento superficial, en lo cual influye el tipo de manejo agrícola. Puntualizan que las pérdidas totales de fósforo fueron elevadas en el monocultivo de soja, intermedias en la rotación maíz-trigo/soja y bajas en pastos.

Los residuos de la cosecha de caña verde también pueden mejorar la actividad biológica de los suelos. En este sentido, Bell *et al.* (2003) plantean que el suministro de materia orgánica bajo un sistema mejorado de manejo de residuos, debe también acompañarse por estrategias de cultivo reducido para sostener y reforzar el carbono lábil y promover la colonización por la macro fauna beneficiosa.

También, Jeyabal (2005) observó, en campos de caña nueva y retoño con incrementos de rendimiento, mayor presencia de lombrices y gusanos en el suelo.

Sin embargo, a criterios de Villegas *et al.* (2007) hay muchas hipótesis acerca del efecto causado por los residuos de cosecha de caña verde sobre el desarrollo del siguiente retoño, señalando entre ellos la barrera física natural a la emergencia del retoñamiento de la caña y su posible poca efectividad para controlar especies de malezas que germinan desde 10 cm o más. Este propio autor agrega que estudios para probar efectos alelopáticos de extractos de residuos frescos de caña de azúcar, demostraron inhibición de la brotación de las yemas y también, de malezas, especialmente de hojas estrechas. Cuando la cosecha se realiza durante el período de sequía los residuos no afectan negativamente el rendimiento agrícola, sin embargo, el rebrote es severamente afectado por la pudrición de los residuos durante el período lluvioso, lo cual disminuye la producción de caña y azúcar por hectárea, además de alguna interferencia de los residuos en la fertilización mecanizada (CENICAÑA, 1996).

Sampietro, (2006) consideran que la afectación de la producción de caña en áreas de cosecha en verde en el estado de la Florida, puede atribuirse al efecto combinado de la disminución de temperatura en la época de primavera y el aumento de la humedad bajo los residuos. También puede estar presente efectos alelopáticos de sustancias emanadas por los restos de cosechas en descomposición

2: Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en suelo Pardo con Carbonatos (Instituto de Suelos, 1989), en la Unidad de Producción Cañera “Carlos Manuel de Céspedes” de la Unidad Empresarial de Base “Ifraín Alfonso” del municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara.

2.1 Estudio de las variaciones de la resistencia del suelo durante la cosecha mecanizada en función de la humedad.

Para evaluar la resistencia del suelo se usó un penetrómetro de impacto modelo Stolf (1983), (Figura 1).

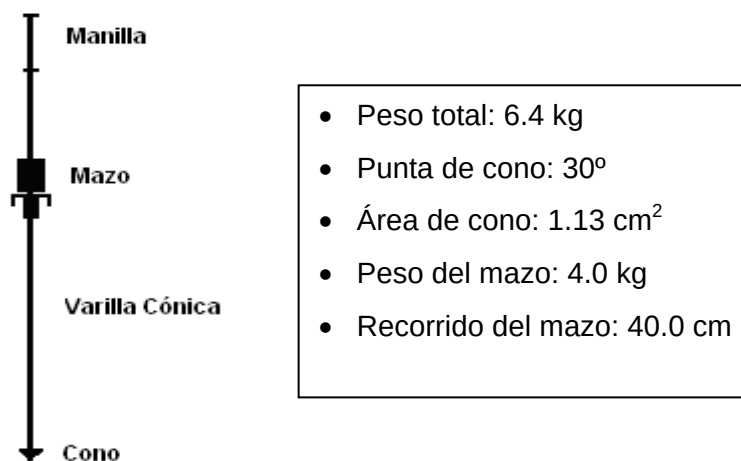


Figura 1. Esquema del penetrómetro de impacto.

La caracterización de la resistencia del suelo se realizó en secciones transversales de camellón (STC), haciendo las mediciones antes e inmediatamente después de la cosecha mecanizada (García, 2004). El procedimiento seguido fue visitar un pelotón de combinadas en plena faena de corte y seleccionar cuatro zonas representativas del campo aun sin cortar, se limpiaron de residuos y malezas, se marcaron en el suelo los puntos de penetrometría a evaluar desde el centro de un surco y cada 20 cm hasta el centro de la hilera vecina (Figura 2), se realizó la evaluación anotando la profundidad dentro de perfil alcanzada por cada impacto del mazo.

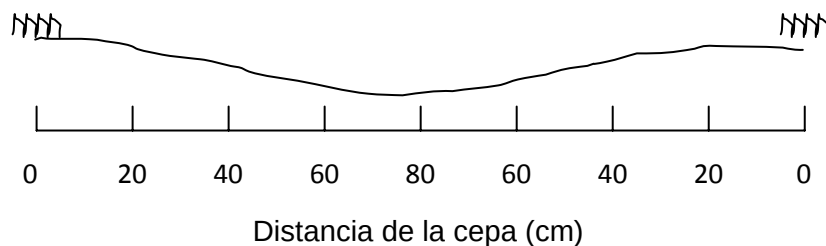


Figura 2. Puntos de muestreo de la resistencia en el camellón

También se tomaron muestras de suelo para humedad en una profundidad por horizonte de 0-10, 10-20 y 20-30 cm y, una vez concluida la cosecha, se repitió la evaluación de resistencia.

Los sitios de cada STC en los diferentes campos se seleccionaron de tal forma que se captara la mayor variabilidad posible de humedad en el suelo, aprovechando para ello los accidentes del relieve, la ocurrencia de precipitaciones o etapas secas dentro del período de tiempo evaluado. Se tomó como base para establecer rangos de humedad para las categorías de suelo húmedo, tempero y seco, el contenido de humedad en el límite inferior de plasticidad de estos suelos (44 %) y en capacidad de campo (48 %). Así, la categoría de suelo húmedo se corresponde con humedad superior a 48 % como promedio en los primeros 30 cm del perfil; tempero entre 44 y 48 % y seco inferior a 44 %, lo que permitió agrupar las evaluaciones de resistencia antes y después de la cosecha según la categoría de humedad y hacer los análisis estadísticos correspondientes. Para corroborar la influencia de la humedad sobre el grado de compactación, se tomaron muestras y se determinó en el laboratorio la compresibilidad del suelo para diferentes grados de humedecimiento.

También en el laboratorio se determinó el límite inferior de plasticidad según Braja (2001), donde una masa de suelo se enrolló repetidamente sobre una placa de vidrio hasta lograr su fragmentación, punto en el cual se determina la humedad de la muestra.

2.2. Evaluación del efecto sobre el suelo de diferentes tecnologías de atención a los retoños de caña de azúcar.

Se montó un área demostrativa en el bloque 16 campo 2, en una cepa de soca procedente de la campaña de siembra de “frío” con 18 meses, de la variedad C86-12, en la UBPC “Carlos Manuel de Céspedes” de la Unidad Empresarial de Base “Ifraín Alfonso”. Se utilizó el diseño Rumker (Figura 3) para facilitar el trabajo de las labores mecanizadas con tractor y cada variante fue replicada 4 veces. Cada franja por variante tuvo 6 surcos, donde se evaluó los 4 centrales y se dejó un surco de barrera por cada lado. En cada franja o parcela se ubicó las 3 zonas de muestreo distribuidas a todo lo largo de la misma, donde se realizaron todas las evaluaciones y cuyos promedios se consideraron como réplica.

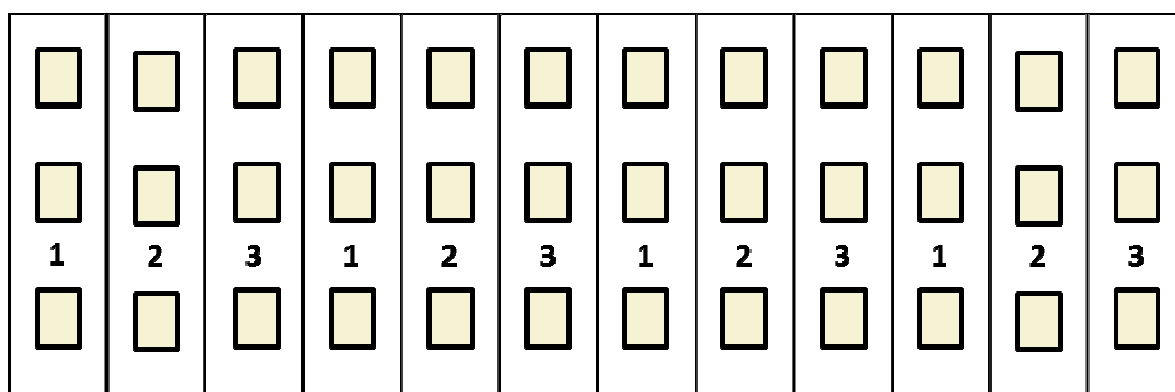


Figura 3. Croquis experimental

Fuente: Elaboración propia adaptada de Lerch (1977).

Los tratamientos seguidos fueron:

1. Cobertura inalterada de residuos de cosecha.
2. Labores de cultivo profundo inmediato a la cosecha hasta 30 cm de profundidad a 55 y 80 cm del centro de la cepa.
3. Labores de cultivo tradicional inmediato a la cosecha hasta 30 cm de profundidad a 55 y 80 cm del centro de la cepa (Testigo).

El ordenamiento de las labores en cada tratamiento se describe de forma breve a continuación:

- **Cobertura inalterada de residuos:** se aplicó una alternativa de manejo, donde está implícito el mínimo movimiento de los residuos sobre la superficie del suelo, admitiéndose sólo la fertilización como labor mecanizada, mientras la cobertura sea efectiva. La primera labor realizada fue el descepe manual contra malezas perennes, después la fertilización enterrada al lado de la cepa, seguido por la aplicación de Merlin GD 75 a 0.23 kg/ha como herbicida residual. Después se realizó un cultivo mecanizado de desyerbe y 2 aplicaciones de herbicidas foliares en manchoneo, cuando la efectividad de la cobertura disminuyó y algunas especies de malezas comenzaron a germinar. Por último se efectuó una labor de cultivo de acondicionamiento para la próxima cosecha.

- **Cultivo profundo:** se utilizó un tractor de media a lenta potencia para cultivar hasta 25-30 cm de profundidad. En la tabla 3 se relaciona el módulo de labores que se realizaron durante el período de estudio y sus costos, donde el descepe manual fue la primera actividad realizada después de la cosecha, seguido por la subsolación a

55 y 80 cm del centro de la cepa. Después se fertilizó a 10-15 cm de profundidad a ambos lados de la cepa, seguido de cultivo mecanizado con grada múltiple para tapar la hendidura de la fertilización y evitar la pérdida del fertilizante por volatilización y de la humedad del suelo. La aplicación de Isoxaflutol (Merlin GD 75) a 0.23 kg/ha como residual en condiciones de sequía fue la siguiente labor. A continuación y hasta el cierre de campo se aplicó 1 desyerbe manual, 2 aplicaciones de herbicidas a la banda, 2 desyerbes mecanizados al camellón y finalmente, el cultivo de acondicionamiento para la cosecha.

- **Cultivo tradicional:** se realizó con tractores de potencia media hasta una profundidad aproximada de 15-20 cm. En la tabla 5 se relaciona el módulo promedio de labores de la tecnología, donde el descepe manual fue la primera actividad realizada después de la cosecha, seguido por el cultivo de descompactación. Después se fertilizó a 10-15 cm de profundidad a ambos lados de la cepa, seguido de un cultivo mecanizado con grada múltiple para tapar la hendidura de la fertilización y evitar la pérdida del fertilizante por volatilización y de la humedad del suelo. A continuación y hasta el cierre de campo, se aplicó el herbicida residual para la etapa de sequía, Merlin a 0.23 kg/ha, un desyerbe manual al surco, 2 aplicaciones de herbicidas en manchoneo, 2 cultivos mecanizados de desyerbe al camellón y por último, el acondicionamiento para la cosecha.

Los costos por labores y tractores e implementos utilizados en cada tratamiento aparecen en el Anexo 2.

Después de la cosecha de la soca y previo al montaje de los tratamientos se realizaron las evaluaciones siguientes.

- **Perfil de resistencia:** siguiendo el método de sobre cerrado y conociendo la distribución de los tratamientos, se efectuó un perfil de resistencia por variante, siguiendo la metodología ya descrita, para determinar el nivel de resistencia del suelo en profundidad y en todo el ancho de camellón.

- **Infiltración de agua:** La infiltración del agua se evaluó en cada zona de muestreo antes del montaje de los tratamientos. Se utilizó el método ideado por Freeman Cook (FAO, 2009) que brinda una estimación rápida de la conductividad hidráulica del suelo. Los resultados se expresaron según la escala siguiente:

Tabla 1. Estimación simple de *K* a base del flujo tridimensional (FAO, 2009).

Tiempo para que 50 mm ³ de agua desaparezcan de un anillo de 50 mm de radio.	Conductividad hidráulica - <i>K</i> (mm/hr)	Categoría
< 10 minutos	> 36	Rápido
>10 minutos, < 2 horas	> 3.6	Medio
> 2 horas	< 1	Muy lento

Fuente: Manual de evaluación local de la degradación de tierras áridas de la FAO.

También se tomó muestras en las profundidades por horizontes: 0-10 y 10-20 cm, siguiendo el método de sobre cerrado para determinar en laboratorio el límite inferior de plasticidad del suelo (Wagner, 1998) por la importancia de este indicador para la labranza y traficabilidad.

Previo a la cosecha de cada tratamiento se evaluaron las siguientes variables por zona de muestreo:

- Tallos molibles. Se contaron los tallos molibles en los 2 surcos centrales.
- Longitud de tallo. Se midió la longitud desde la superficie del suelo hasta el último cuello de la hoja +1 en 10 tallos de los dos surcos centrales.
- Producción de caña por tratamiento. El rendimiento agrícola por variante se estimó por zona de muestreo a partir del peso promedio por tallo y del conteo de tallos en los 2 surcos centrales. El peso promedio del tallo se calculó pesando 4 muestras de 5 tallos cortados en los 4 surcos centrales de cada zona.

2.3. Selección del sistema de manejo más adecuado para la atención a los retoños de caña de azúcar en función de uso y manejo de suelo.

Con los datos de producción por variante y los costos, se calculó el efecto económico por la fórmula: $E.E. = (VPn - CPn) - (VPv - CPv)$ (Zumaquero, 1975), donde:

E.E. = Efecto económico (CUP/ha).

VPn = Valor de la producción de la variante nueva (Tratamientos 1 y 2).

CPn = Costos de producción de la variante nueva.

VPv = Valor de la producción de la variante tradicional (Tratamiento 3).

CPv = Costos de producción de la variante vieja o tradicional.

El precio de la caña entregada al ingenio fue de 104.0 CUP por tonelada y los costos se asumieron a partir de las labores realizadas en cada variante y la ficha de costo de la UBPC para cada una de las actividades realizadas durante el ciclo de estudio (Anexo 2).

• **Procesamiento estadístico**

El procesamiento estadístico se realizó con el Paquete Statgraphics Plus 5.1 y la aplicación del Análisis de varianza simple de la resistencia del suelo para diferentes distancias de la cepa, en las categorías de suelo húmedo, tempero y seco, así como para la longitud, población de tallos y rendimiento agrícola. También se utilizó el Análisis de Regresión Simple para determinar el incremento de resistencia durante el tráfico en función de la humedad del suelo. En el caso de la resistencia por horizontes del suelo, se utilizó el Análisis No Paramétrico de Kruskal-Wallis, porque los valores de asimetría y curtosis estandarizadas están fuera del rango -2 a 2, lo que indica que los datos no se ajustan a la distribución normal. En todos los análisis de varianza con $p < 0.05$ se utilizó la prueba Tukey al 5 % de error como dúcima de comparación.

3: Resultados y discusión

3.1. Resultados de la caracterización del área de estudio.

El suelo en estudio se localiza en paisajes generalmente planos y relieve ondulado, posee entre sus principales características: buen drenaje externo e interno que se califica en los rangos de bueno a moderado, en cuanto a la profundidad efectiva es considerado como moderadamente profundo. El suelo muestra un color oscuro en superficie a claro en la capa inferior, posee pH neutro a ligeramente alcalino y un contenido de materia orgánica de 2 a 5 %. A continuación en la Tabla 2 se detalla un perfil representativo (NASREC, 1996).

Tabla 2. Descripción del perfil hasta la profundidad efectiva

Perfil (cm)	Características
0 – 20	Arcilla de color carmelita en estado húmeda, estructura en bloques, ligeramente plástica, friable, abundantes poros finos y medios, altamente poroso, muchas raíces finas, pocos canales, ligeramente calcáreo
20 - 35	Arcilla carmelita si húmeda, estructura en bloques, plástica, firme, pocos poros medios y finos abundantes, raíces de grosor medio, pocos canales, ligeramente calcáreo

Fuente: Centro de Referencia de Suelos ETICA Villa Clara (NASREC, 1996)

La capacidad de intercambio catiónico tiene un comportamiento en los rangos de medio a alto y el contenido de arcilla superior al 60 % (Tabla 3), predominando el tipo 2:1, lo que le confiere una notable capacidad de dilatación y contracción al variar la humedad e incide de forma directa en el comportamiento de la velocidad de infiltración del agua en el suelo y del drenaje, así como en las condiciones de compactación. Otras características importantes de estos suelos que se muestran son la densidad aparente (D_a) en estado natural de 1.0 g/cm^3 , el límite inferior de plasticidad (LIP) de 44 %, la capacidad de campo (CC) de 48 % y el punto de marchitez (PM) de 30 %, cuyo conocimiento es de gran interés para las evaluaciones que se llevan a cabo en la presente investigación.

Tabla 3. Valores de algunas propiedades del perfil.

Perfil (cm)	Composición mecánica (%)			Da (g/cm ³)	LIP (%)	CC (%)	PM (%)
	Arena	Limo	Arcilla				
0 - 20	13	23	64	0.90	44	48	30
20 - 35	13	22	65	1.00	45	48	36

Fuente: Centro de Referencia de Suelos ETICA Villa Clara (NASREC, 1996).

3.2 Resultados de la resistencia del suelo por el tráfico de los equipos de cosecha. Efecto de la humedad.

Los resultados de las pruebas de laboratorio (Figura 4), demostró que la mayor compresibilidad se alcanzó en la humedad de 45.9 %, o sea, entre el límite inferior de plasticidad (44 %) y capacidad de campo (48 %) del suelo en estudio, para cargas entre 500 y 4 000 g. Cairo *et al.* (1994) plantearon que la consistencia del suelo depende de la atracción recíproca de las partículas, donde se ponen de manifiesto las fuerzas de cohesión y adhesión, cuya consecuencia práctica más visible son los cambios de la resistencia de los suelos. Así, el suelo en estudio se hizo menos consistente al aumentar la humedad porque las fuerzas cohesivas disminuyeron y entonces la moldeabilidad del suelo aumenta y los efectos nocivos del tráfico de la maquinaria de cosecha se hacen más dañinos.

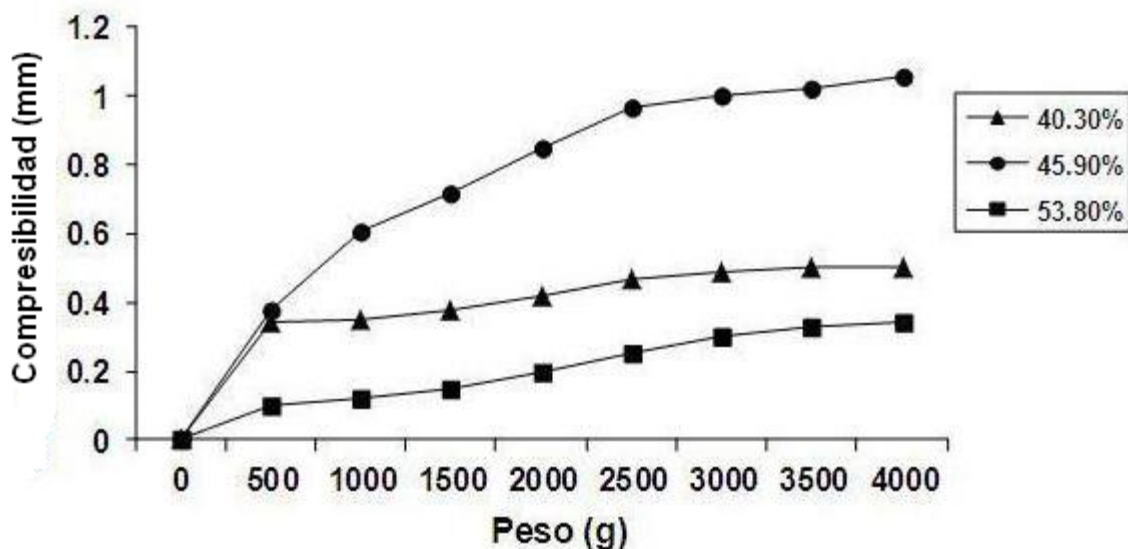


Figura 4. Compresibilidad del suelo al variar la humedad.

Braunack (1997) en Australia planteó que la susceptibilidad de los suelos a la compactación cambia con la humedad, existiendo un rango en el cual el suelo es más fácilmente compactable, ubicando dicho rango entre el límite inferior de plasticidad y la capacidad de campo. Puntualizó, además, la gran importancia de definir el rango de humedad de mayor compactibilidad, así como el tiempo que permanece en dicha condición. Otros estudiosos del tema como Florentino (1989), Panayiotopoulos *et al.* (1994) y Pla (1995) reconocieron la influencia de la humedad sobre la consistencia de los suelos y, por su parte, Lozano *et al.* (2000), encontraron fluctuaciones de resistencia en un suelo desde 2.3 a 4.3 MPa debido a la variación de humedad por efectos del ambiente, desde valores cercanos a la capacidad de campo hasta el punto de marchites permanente.

Como se aprecia, la humedad es una variable que en el plano científico se le confiere toda la importancia que merece en los estudios de traficabilidad, porque es un indicador importante para adoptar normas de tráfico de la maquinaria agrícola dirigidas a la defensa de los agrosistemas, sin embargo, en el medio productivo es casi totalmente ignorada y los límites para traficar lo pone el atascamiento de la maquinaria. Al respecto, Domínguez *et al.* (1979) en condiciones de suelo Ferralítico Rojo plantea que para mantener la densidad aparente por debajo del límite crítico para desarrollo de las raíces, la cosecha mecanizada debe hacerse con humedad entre 18-20 %.

En la Figura 5 se esquematiza la zona de tráfico de los neumáticos de las combinadas KTP-2M y algunos medios de transporte en un marco de plantación de 1.60 m, de donde se infirió que la zona probable de daño por el tráfico de al menos un pase de neumáticos se localizó en los 110 cm centrales del camellón, equivalente al 69 % de la superficie total del entresurco. Sin embargo, en los 40 cm centrales del camellón se apreció que es la zona de mayor riesgo de compactación, por cuanto allí convergen los neumáticos de todos los equipos y la probabilidad de pases de ruedas se incrementa respecto al resto del espacio interhilas. Este resultado coincide con lo planteado por González (2002) acerca de que la caña de

azúcar debe tener una zona de protección de 40 cm a ambos lados de la cepa para evitar daños directos a la cepa.

La cosecha mecanizada de la caña de azúcar en Cuba se realiza, principalmente, con cosechadoras KTP-2M y varios modelos de camiones, remolques, tractores y carretas como medios de transporte, cuyas trochas no son iguales y además son asimétricas respecto al marco tradicional de plantación de 1.60 m., lo que provoca que durante el tráfico se afecte mayor área del camellón que si fueran simétricas. Ahora bien, durante el corte y transporte mecanizado de la caña de azúcar, cada camellón es afectado por 8 pases de neumáticos como mínimo, algunos de los cuales pueden llegar a 20 toneladas de peso y otros que aunque tienen menos peso, la superficie de apoyo es poca y ejercen elevada presión específica sobre el suelo.

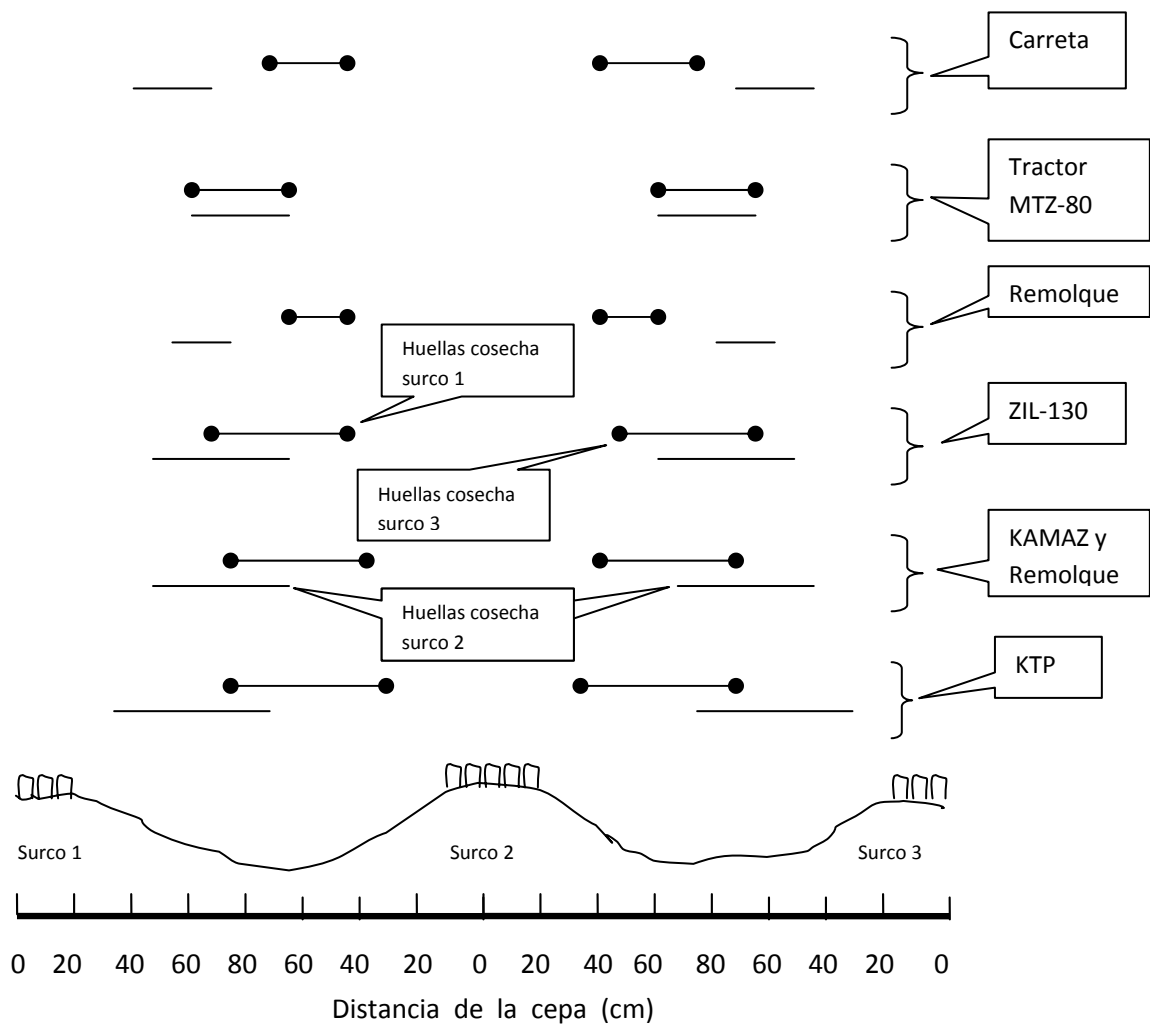


Figura 5. Zona de tráfico de los equipos de cosecha y tiro de caña.
Distancia: 1.60 m. Escala 1:10

Al respecto, Pozzolo y Ferrari (2007) plantean que las características de la maquinaria, especialmente las relacionadas con la presión específica y peso, número de pasadas y la forma del tránsito, son las principales causas que inciden en la compactación de los suelos agrícolas. Además, Buckingham (1975) estima que si las trochas de los equipos de cosecha y transporte fueran de igual ancho, se reduciría el área compactada en el entresurco y agrega que, los bordes de los neumáticos deben traficar al menos a 30 cm de las hileras o surcos. De acuerdo con el esquema anterior, en marcos de plantación de 1.60 m las cosechadoras KTP trafican a menor distancia de la cepa que la mencionada. Por su parte, Domínguez, *et al.* (1979) en estudios realizados con la cosechadora KTP-1 y camiones Hino,

encontraron que la mayor compactación ocurrió después de los dos pases de la cosechadora y primer pase de los neumáticos del camión.

En los resultados que se muestran en la Tabla 4 acerca del efecto del tráfico sobre la resistencia del suelo indican, que antes de la cosecha (AC) los valores p no fueron significativos para el factor distancia del centro del plantón en las tres categorías de humedad (húmedo, tempero y seco) Lo anterior está dado fundamentalmente por valores de resistencia similares estadísticamente en todo el ancho de camellón y hasta 30 cm de profundidad dentro de cada categoría de humedad. Por otra parte, los valores absolutos de resistencia evaluados indican un aumento desde la categoría de suelo húmedo hasta la de suelo seco, lo cual está en correspondencia con los resultados de los estudios de Hossne (2003) quien afirma que existe relación inversa entre la resistencia de los suelos y el contenido de humedad.

Tabla 4. Valores medios de resistencia (kPa) antes (AC) y después de la cosecha (DC) para suelo húmedo, tempero y seco.

DCC* (cm)	Suelo húmedo		Tempero		Seco	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC
0	1350.6	2168.7 c	2678.1	2721.4 b	2673.7	2315.6 d
20	1439.1	2352.5 bc	2627.1	3239.2 ab	3040.8	3055.0 cd
40	1472.4	2664.5 ab	3040.2	3556.9 ab	3516.2	3971.7 bc
60	1573.9	2723.7 ab	2791.8	3778.9 a	2826.6	5204.3 ab
80	1742.1	2976.7 a	3228.9	4018.2 a	3909.0	5775.4 a
Valores p	0.07	0.003	0.79	0.04	0.15	0.001
E.E.	94.9	152.5	396.9	309.5	372.4	413.5
Asimetría	- 0.01	0.42	1.60	0.55	0.77	0.95
Curtosis	- 1.06	- 0.59	- 0.82	- 1.75	0.12	- 0.41
p Cochran	0.75	0.31	0.20	0.35	0.91	0.22

* DCC= Distancia al centro de la cepa o plantón AC = Antes de cosecha DC = Después de cosecha

Después de la cosecha (DC) los resultados de los análisis estadísticos detectaron diferencia significativa para la resistencia del suelo en cuanto al factor distancia al centro del plantón en las tres categorías de humedad, lo que demuestra que el tráfico de la maquinaria crea niveles de resistencia desiguales según cambia la

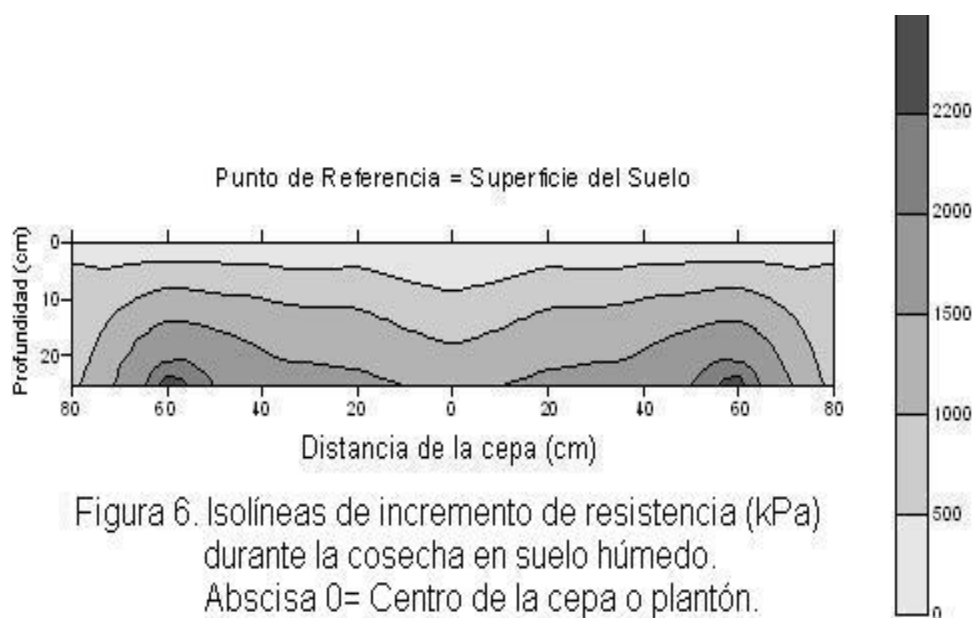
distancia al centro del plantón. En la evaluación del comportamiento del tráfico de la maquinaria de cosecha con el suelo en la categoría húmedo, se encontró que la resistencia del suelo a partir de 40 cm del centro de la cepa hasta el centro del camellón, alcanzó valores estadísticamente superiores en comparación al resto del entresurco, aunque inferiores al límite crítico de 3000 kPa propuesto por Dexter (1986). Para el suelo en tempero y seco, la diferencia estadística se detectó desde 20 y 60 cm del centro de la cepa, respectivamente y sólo fueron inferiores al límite crítico en el centro del plantón. Estos resultados demuestran correspondencia entre el contenido de humedad del suelo y la distancia de la cepa en cuanto a la compactación, durante el tráfico; así en baja humedad la compactación se concentra hacia el centro del camellón y si la humedad aumenta la franja de suelo compactada es más ancha. Este resultado coincide con lo planteado por Rodríguez *et al.* (1999) quienes plantean que la cosecha mecanizada con alta humedad, provoca movimientos laterales y verticales del suelo, los cuales dificultan el laboreo posterior y también, pueden afectar la vida útil de la plantación.

Sin embargo, en este resultado es necesario destacar que, aunque se encontró que en el suelo con categoría húmedo la resistencia es inferior al valor crítico en cualquiera de las distancias al plantón, esto no significa que existan buenas condiciones físicas, por cuanto el suelo con alta humedad tiene poca capacidad de soporte de cargas, se deforman fácilmente y la resistencia es mínima y en esas circunstancias es de esperar que el tráfico afecte la estructura natural del suelo y en consecuencia, la interconectividad porosa del suelo disminuya y la aireación e infiltración de agua sean limitadas. Esta aseveración está respaldada por los criterios de Costa, *et al* (2008) quienes plantean que las alteraciones estructurales del suelo causadas por la cosecha mecanizada de la caña de azúcar, ocurren en función de la capacidad de soporte de cargas por el suelo, la cual cambia según el contenido de humedad.

Además en este sentido también es necesario considerar que si se manifiesta en estos suelos un proceso de pérdida de humedad en los días siguientes a la cosecha, (muy común en los meses secos donde se hace la zafra), la resistencia puede aumentar notablemente hasta valores que constituyan factores limitantes para el desarrollo del nuevo sistema de raíces., por lo que esto implica realizar las labores

de labranza cuando el suelo se encuentre en tempero para fraccionar adecuadamente el camellón y de esta forma se logra crear las condiciones propicias para la recuperación de la capacidad productiva del suelo. Este resultado encuentra basamento en investigaciones realizadas por Bacigaluppo *et al.* (2003) cuyos resultados demostraron que, un año después del cultivo mecanizado, aparecen condiciones positivas o favorables sobre la densidad aparente del suelo hasta 30 cm de profundidad.

El incremento de resistencia del suelo a causa de la cosecha mecanizada en las STC del estudio, dependió de la humedad en el momento del tráfico (Figuras 6, 7 y 8), siendo de 2200, 2600 y 160 kPa para suelo húmedo, tempero y seco, respectivamente, lo cual demostró la influencia de la humedad en los procesos de compactación por el tráfico de la maquinaria y además, permitió establecer que las categorías de humedad donde el suelo en estudio es más afectado por el tráfico de los equipos de cosecha y transporte, son la de tempero (44-48 %) y húmedo (> 48 %), mientras que la categoría de suelo seco (<44 %) es la menos afectada, atribuible a la alta consistencia que adquiere el suelo si la humedad es baja. Teniendo en cuenta que el incremento de resistencia por el tráfico de los equipos de cosecha depende, en general, del peso de la maquinaria, número de pases y estado de consistencia del suelo en el momento del tráfico y que en este estudio, tanto el peso como los pases de los equipos de cosecha y transporte se asumieron como constantes, ya que la tecnología de cosecha fue siempre igual en todos los campos del estudio así como, que las cosechadoras KTP-2M cortaron un surco por pasada lo cual implicó que la cantidad de pases de los neumáticos se iguala en todos los camellones.



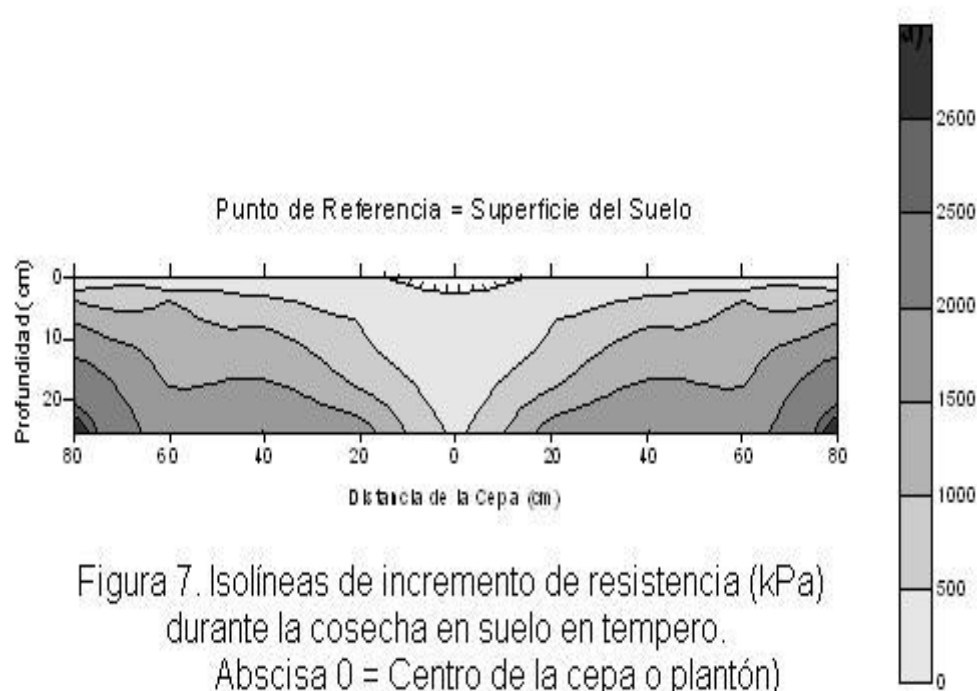


Figura 7. Isolíneas de incremento de resistencia (kPa) durante la cosecha en suelo en tempero.
Abscisa 0 = Centro de la cepa o plantón)

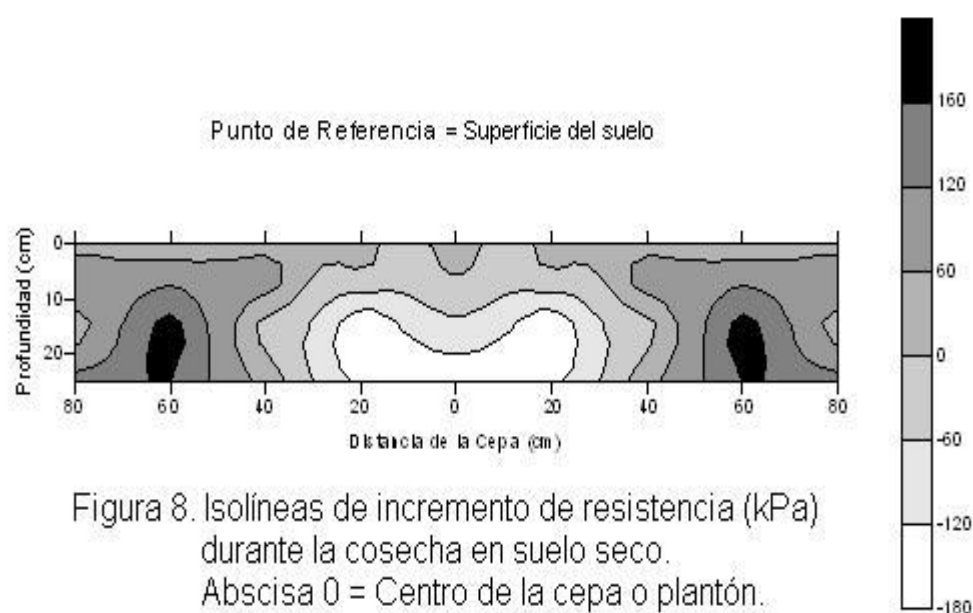


Figura 8. Isolíneas de incremento de resistencia (kPa) durante la cosecha en suelo seco.
Abscisa 0 = Centro de la cepa o plantón.

De acuerdo con las figuras anteriores, el tráfico de la maquinaria creó gradientes de resistencia diferentes según la categoría de humedad en que estaba el suelo en el momento de la cosecha. En la categoría húmedo, el gradiente es uniforme en todo el ancho de camellón, con isolíneas continuas de resistencia entre los centros de los camellones aledaños, que inflexionan ligeramente donde se ubica el plantón, como indicación de menor resistencia en esa zona. En la categoría tempero, el gradiente de resistencia aumenta hacia la zona más profunda y central del camellón, mientras disminuye hacia el plantón. Algo similar sucede en la categoría seco, pero con resistencia negativa en el área de ubicación del plantón, lo cual significa que luego del tráfico de los equipos de cosecha la resistencia del suelo era inferior a los valores antes del corte, lo que se atribuye a que el suelo en estado muy seco se comporta de forma parecida al cristal, o sea, adquiere una dureza extrema, pero a la vez, su fragilidad aumenta, haciéndose más sensible al resquebrajamiento cuando se somete a presiones elevadas.

Estos resultados se corresponden con lo planteado por Hossne *et al.* (2003) en relación a que la resistencia de los suelos a la deformación está determinada por la humedad, la cohesión y ángulo de fricción entre las partículas y que el efecto nocivo de los neumáticos dependerá de que la tensión generada por las ruedas venzan a la consistencia del suelo y provoquen fallas, lo cual también guarda relación con lo aseverado por estos investigadores en lo que respecta a que la naturaleza de la resistencia de los suelos es inversa al contenido de humedad y proporcional a la

cohesión y ángulo de fricción interna del suelo, siendo la primera mayor en los suelos arcillosos y la segunda en los suelos arenosos.

Este razonamiento conduce a plantear que los bloques comúnmente formados en el suelo al perder humedad son agrietados internamente durante el tráfico de los equipos de cosecha que debilitan su solidez monolítica y hacen más fácil la penetración del cono del penetrómetro.

La dependencia demostrada entre la forma del gradiente de resistencia del perfil de suelo hasta 30 cm de profundidad y la humedad, tiene consecuencias prácticas importantes para el manejo de las plantaciones cañeras, porque si la cosecha se hace con el suelo en categoría húmedo, el aumento de resistencia es parejo en todo el camellón y entonces, la labor de cultivo debe promover todo el suelo del espacio interhilas, lo cual demanda la realización de dos labores de cultivo; una con los órganos separados a 1.10 m y seguidamente otra a 1.60 m. Por el contrario, con el suelo en tempero, el cultivo se dirigirá principalmente al fraccionamiento del suelo en el centro del camellón, por tanto, sólo será necesario la labor a 1.60 m.

Para la variante de cosecha con el suelo en categoría seco es recomendable no realizar labores de cultivo y dejar los residuos de cosecha como cobertura sobre la superficie, de modo que sirva como método de control de malezas y de conservación de la humedad del suelo.

Al ajustar a un modelo cuadrático, la relación matemática entre la humedad e incremento de la resistencia del suelo a causa del tráfico de los equipos de cosecha (Figura 9), se observó que existe una tendencia al incremento de la resistencia al aumentar la humedad hasta alcanzar valores máximos en 48 %, para luego disminuir a medida que continúa aumentando la humedad.

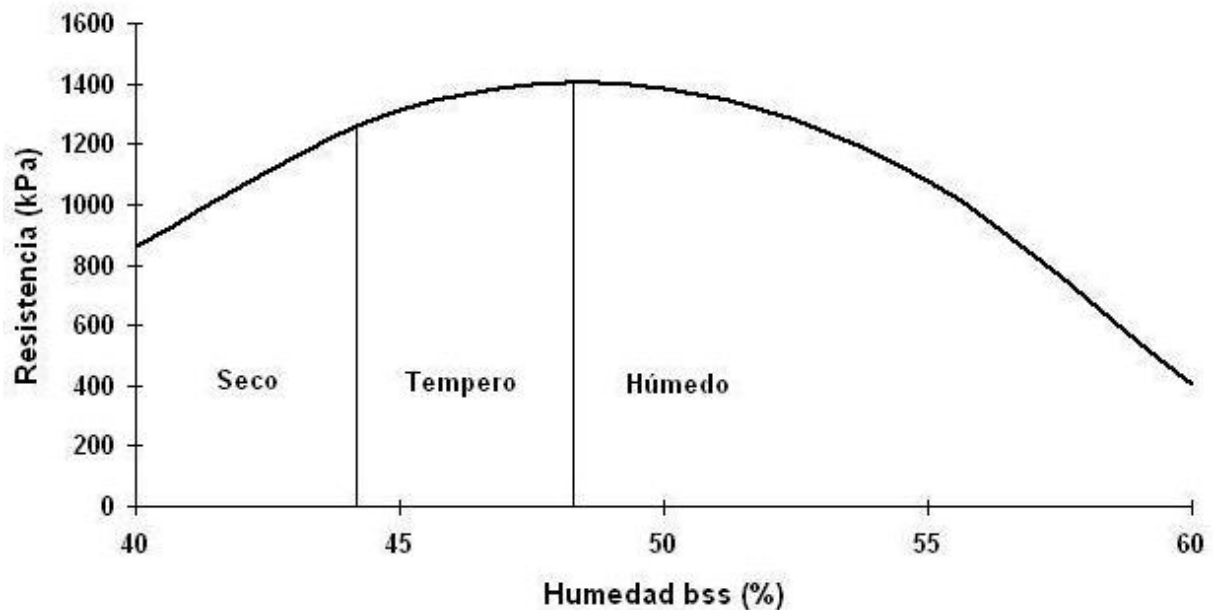


Figura 9. Incremento de resistencia del suelo en función de la humedad del perfil 0-30 cm en el momento de la cosecha.

$$y = -16222.3 + 727.1 x - 7.5 x^2. \quad r^2 = 63 \% \quad p=0.03$$

Los p valores del análisis estadístico no paramétrico de la resistencia antes y después de la cosecha por horizontes (Tabla 5), demuestran que hubo diferencia significativa al 5 % para el factor profundidad, independientemente del contenido de humedad del suelo en el momento del tráfico. El horizonte de mayor resistencia para todas las categorías de humedad y momento respecto a la cosecha fue el de 20 - 30 cm, con valores superiores estadísticamente a 0-20 cm, lo que demuestra presencia de compactación residual en el horizonte inferior, atribuible a efectos de la mecanización acumulados de años anteriores, en combinación con labores de cultivo efectuadas anteriormente cuya profundidad no fue suficiente para remover el horizonte inferior provocaron el comportamiento medido en esta zona.

Estos resultados coinciden con los planteados por Mac Donagh (2000) y Fernández *et al.* (2002) quienes plantean que el tráfico reiterado de la maquinaria crea capas subsuperficiales de suelo compacto que permanecen inalteradas durante años. En este mismo sentido, Michelena *et al.* (1986), señalan que la compactación subsuperficial se considera una forma de degradación física del suelo, porque el encostrado, la compactación en superficie e interna y los “pisos de arado”, afectan a

la estructura, a la percolación del agua, aumentan el escurrimiento superficial y con ello, los riesgos de pérdida de suelo por erosión hídrica.

Tabla 5. Resultado de los análisis no paramétrico por horizontes.

Horizontes	Rango promedio	Valor p	Resistencia real (kPa)	Error estándar
Suelo húmedo				
Antes de la cosecha				
0-20	167.6 b	0.000	1464.3	19.0
20-30	259.4 a		2462.1	
Después de la cosecha				
10-20	173.6 b	0.000	2629.2	36.7
20-30	249.3 a		4162.5	
Suelo en tempero				
Antes de la cosecha				
10-20	63.9 b	0.000	2638.5	105.7
20-30	94.7 a		5558.4	
Después de la cosecha				
10-20	60.6 b	0.000	3459.3	90.6
20-30	98.1 a		7318.5	
Suelo seco				
Antes de la cosecha				
10-20	33.0 b	0.000	3663	130.9
20-30	47.4 a		6357.6	
Después de la cosecha				
10-20	31.2 b	0.000	3107.1	114.3
20-30	49.0 a		6152.1	

En la tabla 6 se muestra que la estimación rápida de la conductividad hidráulica en base al flujo tridimensional indica que, en las tres categorías de humedad, en el suelo no compacto la conductividad hidráulica (K) superó los 36 mm/hora valor que, de acuerdo a la metodología utilizada, clasifica como permeabilidad rápida. Por el contrario, en el suelo compacto, K decreció según aumentó la humedad en el momento del tráfico, lo que demuestra que el trasiego de la maquinaria en condiciones inadecuadas de humedad es un factor negativo para la funcionabilidad de los poros.

En los suelos compactos el agua tiende a escurrir por la superficie, en lugar de infiltrarse hacia los horizontes inferiores y como consecuencia, la humedad en la rizofera puede convertirse en factor limitante más rápido, que en condiciones de suelo no compacto. Así, Sasal, *et al* (2008), destacan la importancia de la frecuencia

de tránsito de implementos agrícolas y de la actividad de las raíces como los factores más importantes que condicionan el escurrimiento superficial de agua.

Tabla 6. Valores de K por flujo tridimensional.

Categoría de humedad	Situación del suelo	Tiempo (minutos)	K (mm/hora)	Clasificación
Seco	No compacto	2.8	> 36	Rápido
	Compacto	26	> 3.6	Medio
Tempero	No compacto	4.3	> 36	Rápido
	Compacto	150	< 1	Muy lento
Húmedo	No compacto	7.1	> 36	Rápido
	Compacto	166	< 1	Muy lento

Este resultado se corresponde con lo puntualizado por Duiker (2004) en relación a que la compactación causa gran disminución de los poros grandes, lo que afecta notablemente la tasa de infiltración de agua, lo que hace que las plantas sean más sensibles a la sequía, por cuanto el sistema de raíces generalmente es menos extenso que en suelos no compactos. Mon *et al.* (2002) certifican los daños a la producción por la disminución de la permeabilidad del suelo, cuando afirman que el rendimiento de este cultivo disminuyó 15 % debido al descenso de la permeabilidad desde 63 a 18 mm/hora, a causa del manejo inadecuado de las labores culturales que provocaron compactación en el horizonte inferior del suelo. Por su parte investigadores de A. S. A. G. I. R. (2007) destacan la relación inversa entre K y la susceptibilidad a la erosión hídrica de los suelos y pone de manifiesto la importancia de la cobertura superficial para reducir el efecto erosivo de la gota de lluvia y la peligrosidad del escurrimiento, porque si la lámina del escurrimiento sobrepasa la altura de la cobertura, la rugosidad superficial se minimiza y el poder de arrastre del escurrimiento aumenta y ocurre la erosión. Connelly *et al.* (1997) señalan que los cambios de permeabilidad asociados al laboreo, traen consigo aumento de las escorrentías, reducción del agua almacenada y de los rendimientos agrícolas.

3.3. Seleccionar el sistema de manejo más adecuado para la atención a los retoños de caña de azúcar en función de uso y manejo de suelo.

Para cumplimentar este objetivo se realizó un estudio a nivel de campo de producción de caña comercial, donde se compararon las tecnologías de atención cultural a los retoños de cosecha mecanizada y cuyos niveles de resistencia (Tabla 7) demuestran que, antes de la cosecha el horizonte 0 - 20 cm no estaba compactado, atribuible a la frecuente remoción por la labor de cultivo de descompactación y varios desyerbes mecanizados. Además, es la parte del suelo que está en contacto directo con el ambiente y por tanto, en ella ocurren frecuentes cambios de humedad que traen consigo procesos de dilatación-contracción que contribuyen a mantener el suelo en mejores condiciones físicas. Al respecto Hakansson *et al.* (2000) plantean que los procesos de hinchazón-encogimiento de los suelos arcillosos al variar la humedad, conducen a cambios importantes en la compactación que a menudo, no se tienen porque requieren de dinámicas de humedad durante el ciclo.

Tabla 7. Resistencia y humedad antes y después del tráfico de los equipos de cosecha y 10 meses después.

Variantes	Horizontes	Resistencia kPa)	
		Antes cosecha	Después cosecha
Cobertura de residuos	0-20	1258	3264
	20-30	4341	5447
Cultivo profundo	0-20	2480	3864
	20-30	4555	5899
Cultivo tradicional	0-20	2285	3957
	20-30		4788

Por el contrario, en el horizonte 20-30 cm la resistencia en todos los casos supera el límite crítico de 3000 kPa (Dexter, 1986) para el crecimiento de las raíces, por lo que la existencia de alta resistencia en el horizonte inferior del suelo aún previo a la cosecha, demostró que la labor de cultivo de descompactación después de la cosecha anterior no alcanzó la profundidad necesaria y por tanto, la capa de suelo

entre 20 y 30 cm permaneció al menos durante el año previo al estudio como una especie de hard-pan constituyendo uno de los factores limitantes del suelo para el desarrollo de las raíces.

Después de la cosecha la resistencia en ambos horizontes en las tres variantes sobrepasó el límite crítico, lo cual está en relación a la humedad del suelo de 46.8 % en el momento de la cosecha, clasificada en la categoría de tempero donde el tráfico causa las mayores afectaciones.

En el ciclo entre las zafras de 2011-2012, período en que se evaluó el área demostrativa, la labor de cultivo para la descompactación profunda y tradicional se realizó cumpliendo los requisitos necesarios para lograr una labor de buena calidad. El perfil de remoción de suelo de cultivo profundo y tradicional post-cosecha a 1.10 y 1.60 m (Figura 10), demuestra que se logró fraccionar hasta alrededor de 30 y 20 cm de profundidad, equivalente a cerca de 56 y 45 % del perfil de suelo, respectivamente, tomando como referencia el perfil de 0- 30 cm y 3.2 m de ancho.

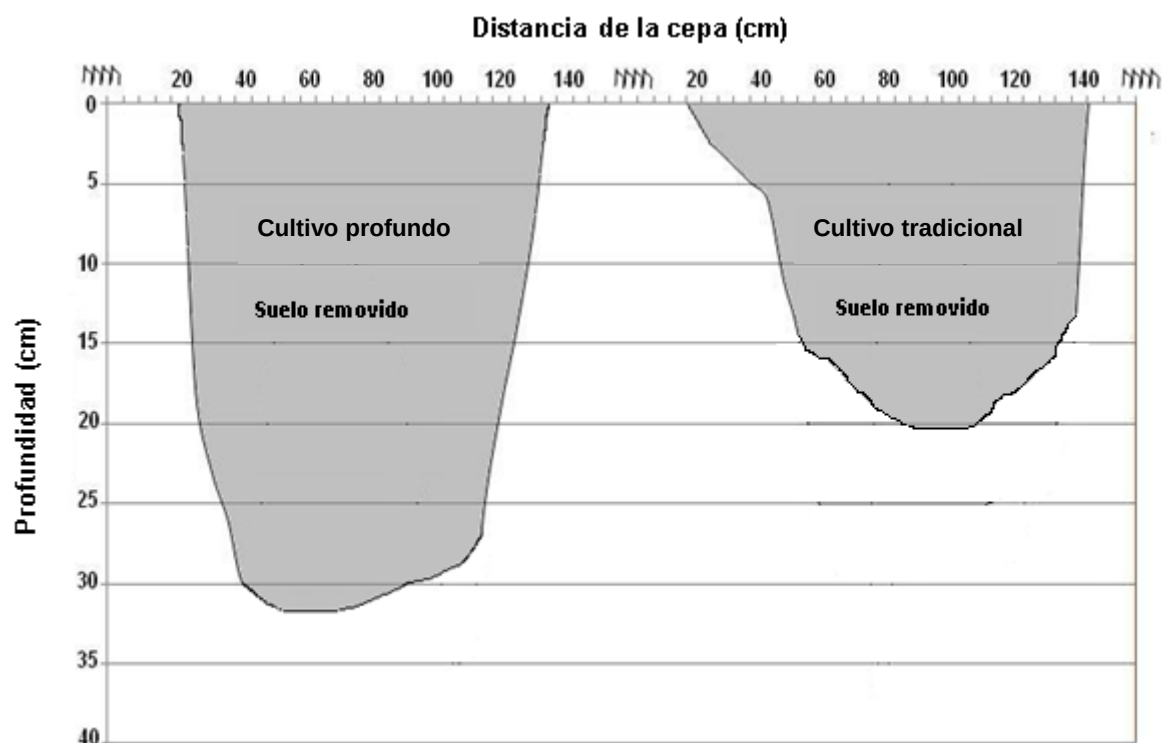


Figura 10. Perfil de remoción de suelo por el cultivo profundo.

El resto no fue fragmentado porque, en el caso de la labor profunda, coincidió con la zona de la hilera de plántones y por tanto, los órganos de trabajo del implemento fueron regulados para evitar daños mecánicos directos a la cepa y por lo tanto no provocó afectaciones notables al desarrollo de la plantación.

En la variante de cultivo superficial o tradicional, a lo anterior se suma el horizonte 20-30 cm que al no ser fragmentado permaneció con niveles de resistencia altos, siendo un riesgo potencial para la producción de caña de azúcar en el próximo ciclo. Referente a las variables fenológicas del cultivo como longitud y rendimiento agrícola en la cosecha 2012, en el cultivo profundo se encontraron diferencias significativas con un 5 % de error, respecto a la cobertura de residuos, sin embargo, no se encontró diferencia con el tradicional, el que a su vez, fue similar estadísticamente a la cobertura (Tabla 8). Este resultado puede atribuirse al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo donde se realizó la labor profunda de cultivo, lo que se corresponde con lo planteado por Taboada (1998) cuando refiere que una de las posibilidades para descompactar el suelo es el empleo de herramientas de corte vertical y de acción profunda. También con lo planteado por Bonel *et al* (2005) quienes en sus investigaciones hallaron que la resistencia a la penetración fue significativamente menor hasta 35 cm de profundidad en parcelas escarificadas.

Tabla 8. Longitud, población de tallos y rendimiento agrícola por variantes del área demostrativa.

Variantes	Longitud (m)	Tallos/ha (x 1000)	Producción de caña (t/ha)	
			2012	Diferencia vs 2011
Cobertura de residuos	1.9 c	68.3	40.7 c	- 5.5
Cultivo profundo	2.3 a	70.2	60.6 a	9.9
Cultivo tradicional	2.1 b	69.2	50.1 b	2.1
Error estándar	0.05	-	8.8	-
p	0.007	0.95	0.01	-

El cultivo profundo no sólo fue superior a la cobertura de residuos en el año 2012 sino que también, incrementó en 9.9 t/ha la producción respecto a la cosecha de 2011, mientras en la cobertura disminuyó 5.5 t/ha. Este resultado demuestra que las

labores de cultivo profundo realizadas en forma óptima, contribuyen a elevar el rendimiento agrícola de los retoños de caña de azúcar y cobra mayor importancia en la actividad ante la problemática que ha predominado en los últimos 15 años, donde han prevalecido sólo labores de cultivo no profundas debido a la carencia de tractores e implementos adecuados. La evaluación económica de los resultados (Tabla 9) indica que el cultivo profundo tuvo efecto económico positivo de 1078.0 CUP comparado con la variante testigo, en este caso el cultivo tradicional, determinado por la diferencia de rendimiento agrícola entre ambas variantes y que demuestra que en las condiciones de alta compactación en el horizonte 20-30 cm, lo más recomendable es aplicar labores profundas.

Tabla 9. Análisis económico de los resultados del área demostrativa.

Indicadores	U.M.	Variantes		
		Cobertura	Profundo	Tradicional
Costos	CUP/ha	618.45	731.42	717.42
Rendimiento	t/ha	40.7	60.6	50.1
Producción	CUP/ha	4232.8	6302.4	5210.4
E. E.	CUP/ha	- 878.63	1078.0	-

La cobertura de residuos tuvo efecto económico negativo respecto al testigo, por cuanto la producción de caña fue demasiado baja y la reducción de los costos de atención cultural, no fue suficiente para amortiguar las pérdidas por concepto de la disminución del rendimiento agrícola, en unas condiciones de suelo compactado en el horizonte inferior y que no son las condiciones indicadas para que esta tecnología demuestre todas sus bondades respecto a protección del suelo y conservación de humedad. Este resultado coincide con lo planteado por Maja *et al* (2007) quienes señalaron que el uso de maquinaria pesada en labores de cosecha puede conducir a la reducción de la productividad del suelo y también con los de García *et al.* (1985), quienes obtuvieron incrementos del rendimiento agrícola del cultivo a 30 cm de profundidad respecto al de 20 cm. En este mismo sentido, Muñoz *et al.* (1985) en sus estudios reportan efecto depresivo de la cosecha mecanizada sobre el rendimiento agrícola, cuyo efecto negativo disminuye si se aplican labores profundas de cultivo.

Conclusiones

1. Con la evaluación de la resistencia del suelo en la UBPC “Carlos Manuel de Céspedes” en función de la humedad en áreas cañeras de cosecha mecanizada, se localizó que el horizontes con mayor compactación es el de 20-30 cm y se desarrolló como sistema de manejo las labores profundas de cultivo, con los órganos del implemento separados a 1.10 y 1.60 m entre sí.
2. Del estudio de las variaciones de la resistencia del suelo en función de la humedad en el momento de la cosecha en un suelo Pardo con Carbonato, se obtuvo que el incremento de resistencia fue máximo en la categoría tempero (44 - 48 %), intermedio en la categoría húmedo (> 48 %) y menor en la categoría seco (< 44 %).
3. La evaluación del efecto sobre el suelo de diferentes tecnologías de atención a los retoños de caña de azúcar aportó que, el rendimiento agrícola fue estadísticamente superior en el cultivo profundo, con efecto económico positivo respecto al tradicional y la cobertura inalterada de residuos de cosecha.

Recomendaciones

1. Implementar y dar seguimiento a los resultados de la Tesis.
2. Sistematizar la medición de la compactación de los suelos de la Unidad Empresarial de Base objeto de estudio a fin de tomar decisiones que contribuyan a mantener n uso sostenible del recurso suelo.

Bibliografía

- Alomá Díaz, J. (1983). Introducción en producción de los resultados experimentales logrados en variedades y fertilización en Cuba durante los últimos 20 años. Proc. XVIII Congreso ISSCT. Comisión Agrícola. Tomo I. La Habana. p. 35-91.
- Álvarez Dosagüez, A. (1997) El potencial agrícola de la caña de azúcar en Cuba como fuente productora de biomasa renovable. Revista ATAC. Enero-Marzo. Vol. 56 No.1. La Habana. p.10-15.
- Antwerpen, R. V., P.W.L. Lyne, E. Meyer y M. Brouwers. (2007). Cambios en los parámetros físicos del suelo de un suelo virgen debido a la compactación de vehículos de transporte comercial de caña de azúcar. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 26.
- Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson. (2004). Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. Soil Tillage Res. 79:221-231.
- Asociación Argentina de Girasol (2007). Girasol en Siembra Directa. http://www.engormix.com/girasol_siembra_directa_s_articulos_1672_AGR.htm
- Bacigaluppo S., G. Gerster. (2003). Impacto de densificaciones por tránsito en planteos de siembra directa continua. Publicado en página web INTA Oliveros www.inta.gov.ar.
- Balbuena, R.;Aragón, A.;Mac Donagh, P.;Claverie, J. y Terminiello A. (1995). Efectos de tres sistemas de preparación del suelo en la resistencia a la penetración y la densidad de un suelo. XXIV Congreso Brasileiro de Ingeniería Agrícola. Viosa. Brasil.
- Baxter, B. (1983). Green cane harvest review. Australian Canegrower, Vol. 5, No.5 Mayo. p. 95-96.
- Bell, M.J., Orange, D.V. and Halpin, N. (2001). Effects of compaction and trash blanketing on rainfall infiltration. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 23:

161–167.

- Halpin, N., Garside, A.L., Moody, P.W., Stirling, G.R. and Robotham, B.G. (2003). Evaluating combinations of fallow management, controlled traffic and tillage options in prototype sugarcane farming systems at Bundaberg. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 25: CD-ROM, 13 p
- Bondarev, A.G., V. V. Medvedev, V. A. Rasanov (1998). Compaction due to agricultural machine. The State of the problem and ways to solve it. Problems of Soil Science. XIV International Congress of Soil Science. Moscow. p. 23-29.
- Bonel, B. A., Montico, S., Sponda, G. & Spurio, N. (2005). Descompactación del suelo mediante el uso de escarificadores en Argiudoles Típicos del sur de Santa Fe. En Reología del suelo agrícola bajo tráfico. La Plata. Argentina. Ed EDULP. Pp: 1-11.
- Botta, G. (2002). Distribución subsuperficial de la compactación inducida por el tráfico agrícola. Tesis Doctoral, Dpto. de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina 201 p.
- Braja M. D. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Thomson Learning. 594 p.
- Braunack, M. V. (1997). The effect of soil physical properties on growth and yield of sugarcane. Sugar Cane No. 2, Marzo-Abril. Australia. p. 4-12.
- Buckingham, F. (1975). Controle el tránsito, producirá más dinero. Agricultura de Las Américas. p. 44-48.
- Busscher, W. J., R. E. Sojka & C. W. Doty. (1986). Residual effects on tillage on coastal plain soil strength. Soil Science, 141: 144-148..
- CAACS (2008). ¿Cuál es el Impacto de la Soja sobre el Suelo?. *Documento emitido por la Comisión Directiva de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*. En: <http://www.suelos.org.ar>.
- Cairo Cairo. P. y O. Fundora (1994). Edafología. Editora Ciencia y Técnica. La Habana. 454 pp.

Bibliografía

- CENICAÑA Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. (1996). Informe CENICAÑA, 1994. Carrillo, V. ed. Cali, Colombia. 78 p.
- Chapman, L. S.; P. L. Larsen y J. Jackson (2001). Trash conservation increase cane yield in the Mackay district. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists 23. p. 176-184.
- Cholaky, C. G. (2003). Efectividad y persistencia de una labor de descompactación con subsolador alado en fusión de la compactación y humedad antecedente. Tesis de Maestría en Manejo y Recuperación de Tierras. F.A y V., Universidad Nacional de Rio Cuarto.
- Claverie, J A & R. H . Balbuena. (2005). Descompactación por tratamiento mecánico. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Modificaciones físico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tránsito agrario. Ed. UNLP. P: 143-157.
- Connelly, R. D.; D. M. Freebairn and B. J. Bridge (1997). Change in soil infiltration associated with cultivation history of soil in south-eastern Queensland. Australian Journal of Soil Research. Australia. p. 25-33.
- Costa Severiano E., de Oliveira, G. C., de Souza Días, M. J., Coutinho de Oliveira, L. F., Bornelli de Castro, M. (2008). Presión de pre-consolidación e intervalo óptimo de humedad como indicadores de alteraciones estructurales de suelos latosólicos y cambisoles en caña de azúcar. R. Bras. Ci. Solo, 32:1419-1427.
- De Armas, M., Cartaya, P. (1984). La incidencia del rendimiento agrícola en la fiabilidad de las cosechadoras KTP-1. Memoria del 44 Congreso de la ATAC. La Habana. 464 pp.
- De Oliveira y col. (1995). La quema de la caña. Efectos a largo plazo. Sugar Journal, Vol. 97, No. 160. p. 384-387.
- Dexter, A. (1986). Model experiment on the behaviour of root of the interface between a tilled seed-bed and compaction sub-soil. Effects of seed-bed aggregate size and subsoil strength on wheat root. Plant and soil. 95.p123-

- Dillewijn C. V. (1951). Botánica de la Caña de Azúcar. Edic. Rev. La Habana, 460 pp.
- Domínguez, M., Fonseca, M., Adukadirov, A. y Ramírez, R. (1979). La compactación del suelo en la cosecha de caña mecanizada. Revista ATAC Mayo-Junio. La Habana. p 57-64.
- Fonseca, M., Adukadirov, A. y Ramírez, R. (1979). La compactación del suelo ocasionada por la combinada y varios pases de camiones. Revista ATAC Julio-Agosto. La Habana. p. 58-65.
- (1986). Compactación del suelo húmedo por la acción negativa de los neumáticos de las cosechadoras de caña KTP-1, en condiciones estáticas. Revista ATAC. Marzo-abril. ISSN 0138-7553. P 26-34.
- Duiker, S. W. (2004). Effects of soil compaction. The Pennsylvania State University. 12 pp.
- Czyz, J. Tomaszewska, and A.R. Dexter. (2001). Response of spring barley to changes of compaction and aeration of sandy soil under model conditions. International Agrophysics, 15, 9-12 Poland.
- Espinosa Olivera, R. (1967). La compactación del suelo por el peso de los equipos. Memoria 39 Conferencia de la ATAC. La Habana. p. 81-84.
- FAO. (2009). Manual de evaluación local de la degradación de tierras áridas (LADA-L). 72 pp.
- Fauconnier, R. y D. Bassereau (1980). Caña de Azúcar. Edic. Rev. La Habana, 460 pp.
- Fernández, R., A. Lupi, P. Mac Donagh, N. Pahr, J. Garibaldi, M. Alves, M. Marek, P. Cortez (2002). Compactación de suelos causada por el aprovechamiento de bosques subtropicales en Misiones. Avances en Ingeniería Agrícola. Fac. Agron. Argentina. p. 50-55.
- Filho, J. O. (1990). Conferencia sobre Manejo de suelos y fertilizantes en caña de azúcar en América Latina y el Caribe. GEPLACEA. La Habana, 30 pp.

- Florentino, A. (1989). Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén. Su incidencia Agronómica. Tesis Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. Venezuela. 207 pp.
- Fonseca, M. (1982). Compactación ocasionada por la cosechadora y el tractor con remolque. Revista ATAC Nº 5, La Habana. p. 27-35.
- , Ramos, G. y Peralta, U. (1988). Efecto de la compactación del suelo en tres cepas de caña (Quedada, Frío y Retoño), con tres modelos de cosechadoras (KTP-1, KTP-2 y TOFT-6000) y equipos de transportes (Tractor con carreta). Revista ATAC. Enero-febrero. La Habana. p.7-17.
- R. Castro, F. Sulroca, A. Alvarez y Y. Suárez (1996). La descompactación de los suelos en las plantaciones cañeras. Ministerio del Azúcar. La Habana. 13 pp.
- García Giralдино, I. (1983). Salto al futuro. Mecanización cañera de Cuba. Revista CubaAzúcar. Número Especial. Febrero. La Habana. p. 9-14.
- García Ruíz, I. y Toledo, L. A. (1985). Influencia de las profundidades de cultivo sobre la estabilidad de los rendimientos de las cepas de retoño en suelos pesados. 44 Congreso de la ATAC. La Habana. p. 209-218.
- (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 Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez".
- Gomez, G.A., R.F. Powers, M.J. Singer, and W.R. Horwath. (2002). Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1334–1343.
- Gonzáles Cueto, O., Reyes, D., Pérez, Y., Rodríguez, M., (1998). Valoración de una tecnología para el transporte de la caña de azúcar en cualquier condición de humedad. Revista ATAC Enero-Junio. La Habana. p 10-14.

- Rodríguez Orozco, M., Pozo Armas, J. Herrera Suárez. M., Milagros Santos Acosta. (2002). Comparación de las cualidades de tracción del tractor MTZ-80 con neumáticos traseros dobles 15.5x38 y con neumáticos de alta flotación 20.8x38 con el tractor Fiat New Holland 110-90, trabajando en Vertisuelos con mal drenaje y condiciones de alta humedad. Facultad de Ciencias Agrícolas. UCLV. Villa Clara.
- Graham, M.H., Haynes, R.J. and Meyer, J.H. (2002). Soil organic matter content and quality; effects of fertiliser applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 93.102.
- Hakansson, I., J. Lepiec (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Tillage Research* 53. Sweden. p. 71-85.
- Hechavarría, A. , G. Vargas (1985). La trituración de los restos de cosecha como solución del cultivo de los retoños verdes. 44 Congreso de la ATAC. Divisiones Agricultura y Biología. Posters. La Habana. p. 170-180.
- Hossne, A., G. J. Cristopher, G. Paredes, E. Carvajal, E. Santaella, J. Malaver y A. Cova (2003). Resistencia terramecánica en función de la humedad edáfica de un suelo Ultisol de sabana del Estado Monagas, Venezuela. *Bioagro* vol.15 no.3 Barquisimeto Sept.
- J.Salazar (2004). Límites de consistencia y sus implicaciones agrícolas en un suelo ultisol de sabana del estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Costarricense* 281: 69-80.
- Humbert, R. P. (1968). El cultivo de la caña de azúcar. Ediciones Revolucionarias. La Habana. 465 pp.
- Instituto de Suelos (1989). Segunda Clasificación Genética de los suelos de

- Cuba. La Habana. Cuba.
- Irvine, J. E. (1981). Sugarcane *Saccharum* hybrids (production, cultural practices, composition and physical properties). CRC Handbook of Biosolar Resources, USA, Vol. 2, p. 211-229.
- Jaramillo, J., D., F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. Colombia. 595 pp.
- Jeyabal, A. (2005). Role of *in-situ* vermiculture on organic sugarcane. Proc. Sugar Tech. Assoc. of India, 8: 206–215.
- Kingston, G., Donzelli, J.L., Meyer, J.H., Richard, E.P., Seeruttun, S., Torres, J. and Van Antwerpen, R. (2005). Impact of the green-cane harvest production system on the agronomy of sugarcane. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 15: 521–533.
- Laia, A.M.; Maia, J.C.S. & Kim, M.E. (2006). Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 10:523-530.
- Lerch, G. (1977). La experimentación em las ciências biológicas y agrícolas. Empresa Gráfica. La Habana. 446 pp.
- Lipiec, L. and Simota, C. (1994). Role of soil and climate factors in influencing crop responses to soil compaction in Central and Eastern Europe. In 'Soil Compaction in Crop Production' Soane, B.D. and van Ouwerkerk, C. (Eds.). p. 365–390. Elsevier, Amsterdam.
- Lozano P. Z., D. Lobo e I. Pla (2000). Diagnóstico de limitaciones físicas en inceptisoles de los llanos occidentales venezolanos. BioAgro 121, Maracay. Venezuela. p. 15-24.
- Mac Donagh, M. Marck, M. Da Cunha (2000). Evaluación del impacto del tránsito en la cosecha de *Pinus* spp en Misiones, Argentina. ISCO. Resumen.
- Macleán, N. R. (1977). El efecto del aumento de la mecanización sobre la compactación del suelo en Queensland del Norte. 41 Conferencia de la ATAC. La Habana.

Bibliografía

- Maja, Y., Z., C. E. Bulmer, M. G. Schmidt. (2007). Maximum bulk density of British Columbia forest soils from the Proctor Test: Relationships with selected physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:442-452.
- Makepeace, P. (1988). Trash blankets may have herbicidal effect, say scientists. *BSES Bulletin*, January, No. 21, p. 21-22.
- 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 maximun. Jacq. *Revista Facultad de Agronomía. LUZ: 9.* Maracaibo, Venezuela, p. 97-108.
- Meier, E.A., Thorburn, P.J., Wegener, M.K. and Basford, K.E. (2006). The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. *Nutr, Cycl. Agroecosyst*, 75: 101.114.
- Michelena, R., C. Irurtia, F. Vavruska, R. Mon y A. Pettaluga (1986). Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. EEA-INTA. Publicación N° 6. Buenos Aires, Argentina. 17 pp.
- Milanés Ramos, N., J. M. López, M. C. Balance y N. Hervis (1997). Recomendación de variedades de caña de azúcar para la ganadería en la provincia de La Habana. *Revista ATAC*, Abril-Junio, Volumen 57, No. 2, La Habana, p. 13-15.
- Mon, R. y C.B. Irurtia (2002). Recuperación de la productividad en suelos degradados. Informe de investigación. Instituto de Suelos. Buenos Aires, Argentina. 10 pp.
- Muñiz, H., Tihert, R. y Leal, P. (1985). Influencia de diferentes técnicas de cultivos mecánicos en la producción de los retoños de caña de azúcar. 44 Congreso de la ATAC. La Habana. p. 219-230.
- NASREC (1996). Colección Nacional de Perfiles de Suelo. Soil Brief. Villa Clara. Cuba.
- Núñez, M. C. y E. Cabrera de Bisbal (2002). Efecto de la compactación del suelo sobre el transporte de oxígeno dentro del sistema radical. *Agronomía*

- Tropical 523: 197-207.
- Núñez, O. y Spaans, E. (2007). Evaluation of green-cane harvesting and crop management with a trash-blanket. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 26.
- Panayiotopoulos, K., C. Papadopoulou and A. Hatjionnidou (1994). Compaction and penetration resistance of an Altisol and Entisol and their influence on root growth of Maize seedling. Soil and Tillage Research 31: p. 323-337.
- Pankhurst, C.E., Magarey, R.C., Stirling, G.R., Blair, B.L., Bell, M.J. and Garside, A.L. (2003). Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. Soil Till. Res., 72: 125-137.
- Pérez Iglesias, H., A. P. Ruiz y J. R. Nohaya (1986). Resultados preliminares sobre la cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo con la demolición de los campos de caña. Revista ATAC, No. 2, Marzo-Abril, p. 22-25.
- Pla, I. (1995). Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. Memorias II Reunión Anual de la RELACO. Acarigua, Venezuela. p. 42-51.
- Pozzolo O. y H. Ferrari. (2007). El tránsito de maquinarias y la compactación de los suelos en siembra directa. En Agricultura Sustentable en Entre Ríos (O. Caviglia, O. Paparotti y M.C. Sasal, eds. 232 p). Ediciones INTA. 75-80.
- Reynoso, A. (1862). Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar en Cuba. Edición Técnica. La Habana. 283 pp.
- Richard Jr, E.P. (2003). Implication of green-cane harvesting on planting and crop reestablishment: an overview. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Agricultural Engineering Workshop—Abstracts of Communications. <http://issct.intnet.mu>.
- Rodríguez Camacho, I., Del Río, A., Del Río, H. y Vidal, L. (2006). El arropado al rancho o surco con residuos de cosecha, un herbicida ecológico para la caña de azúcar. Memorias XVII Congreso de la ALAM. Matanzas. Cuba.

- Rodríguez Orozco, M. y O. González Cueto (1999). Análisis de los medios de transporte para la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en suelos de mal drenaje con elevada humedad. Informe de Proyecto. UCLV. 25 pp.
- Salgado GS, Bucio LAD, Riestra DD, Lagunes-E LC (2001). *Caña de Azúcar: hacia un manejo sustentable*. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco. México. 349 pp.
- Sampietro, D.A. (2006). Sugarcane sickness and autotoxicity. *Allelo. J.*, 17 1.
<http://www.allelopathy-journal.com>.
- Sasal, M. C., M. G. Wilson, N. A. Garcarena, H. A. Tasi y O. Paparotti (2007). Pérdidas de Fósforo por Ecurrimiento Superficial en un Argiudol Ácuico bajo Siembre Directa. *Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo, La Coruña. España*.
- M. G. Wilson, N. A. Garcarena, H. A. Tasi y O. Paparotti (2008). Ecurrimiento y pérdidas de suelo en sistemas de cultivo bajo siembra directa. efecto de algunas propiedades edáficas superficiales. XXI Congreso de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Siegel-Issem, C. M., J. A. Burger, R. F. Powers, F. Ponder, and S. C. Patterson (2005). Seedling root growth as a function of soil density and water content. *Soil Sci. Soc. Am.J.*, Vol. 69.
- Simalenga, T. E. y H. Have. (1992). Estimation of soil tillage workdays in a semi-arid area. *Journal of Agric. Eng. Res.* 51: 81-89.
- Souza, Z.M.; Prado, R.M.; Paixão, A.C.S. & Cesarin, L.G. (2005). Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana de açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:271-278.
- Spoor, G. T., and P. Weisskopf (2003). Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation *Soil & Tillage Research* 73: 175–182.
- Stolf, R., J. Fernández, V. L. Fuslani Neto (1983). An impact penetrometer model to determine the deep tillage in sugarcane areas. XVIII Congress ISSCT.

Bibliografía

- Agricultural Commission. La Habana. p. 853-867.
- Taboada, M. A. (1998). Compactación superficial causada por la siembra directa y regeneración estructural en suelos franco limosos pampeanos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz, Argentina. 423 pp.
- Torres, J. S., G. A. Criollo and R. Franco (2007). Sequence of tillage practices and reduction of land preparation costs on a Mollisol of the Cauca Valley, Colombia. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 29, P. 74-81.
- Villegas, F. J. S. Torres, J.E. Larrahondo and D.F. Restrepo (2007). Allelopathic effects of sugarcane postharvest residue. . Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 26.
- Wagner, M.; Medina, G. (1998). Técnicas de evaluación de compactación de suelos. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 36 p. (Serie B - Nº 33).
- Yang, S. J. (1980). Influencia de la mecanización sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña. Taiwan Sugar, 27(1). p. 9-16.
- Zérega M: L., T. Hernández y J. Valladares (1998). Efectos de la labranza sobre el suelo y en el cultivo de la caña de azúcar. I. A corto plazo. Agronomía Tropical 48 4, Venezuela. p. 501-513.
- Zumaquero Posada, O. (1975). Evaluación de costos en la producción agropecuaria. Conferencia mimeografiada. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

Anexo I

Distribución de precipitaciones

La precipitación anual promedio de los últimos 10 años en la Unidad Productora es de 1375.3 mm, cuya distribución por meses establece un período poco lluvioso de noviembre hasta abril, con acumulado promedio de 334.2 mm (24.3 %), mientras entre mayo y octubre se enmarca el período lluvioso con 1141.0 mm (75.7 %) y junio como el mes de mayores precipitaciones.

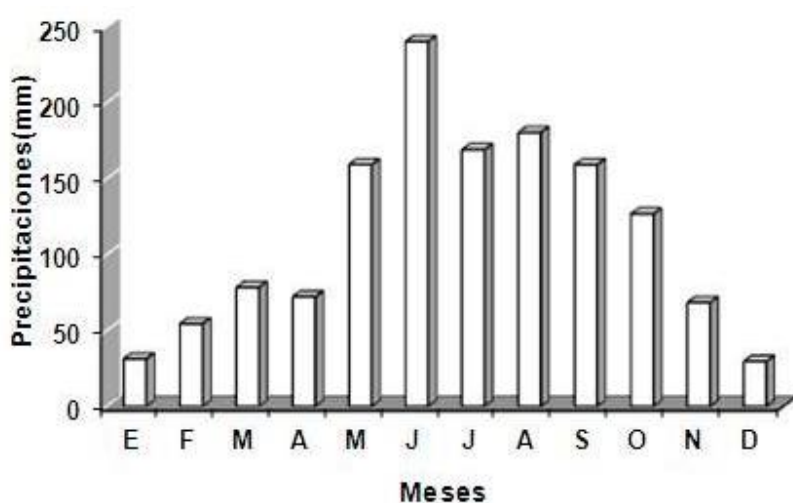


Figura 1. Distribución histórica de precipitaciones

Anexo II

Módulo de labores y costo promedio de la tecnología de cobertura de residuos.

No	Labores	Número de pases	Costo (pesos/ha)	Medios más comunes
1	Descepe	1	74.08	Manual
2	Fertilización	1	186.29	Tractor y F-350
3	Herbicida residual	1	124.95	Tractor y asperjadora
4	Desyerbe	1	87.81	Manual
5	Herbicida foliar	2	145.32	Mochilas
Total			618.45	-

Fuente: Ficha de costo UPC Carlos Manuel de Céspedes.

Módulo de labores y costo promedio de la tecnología de cultivo profundo.

No	Labores	Número de pases	Costo (pesos/ha)	Medios más comunes
1	Descepe	1	74.08	Manual
2	Subsolación	1	45.65	Tractor y subsolador
3	Fertilización	1	186.29	Tractor y F-350
4	Cultivo mecanizado	1	16.08	Tractor y grada múltiple
5	Herbicida residual	1	124.95	Tractor y asperjadora
6	Desyerbe narigón	1	87.81	Manual
7	Herbicida foliar	2	145.32	Mochilas
8	Desyerbe camellón	2	32.16	Tractor y FC-8
9	Acondicionamiento	1	16.08	Tractor y grada múltiple
Total			731.42	-

Fuente: Ficha de costo UPC Carlos Manuel de Céspedes.

Módulo de labores y costo promedio de la tecnología cultivo tradicional. Testigo.

No	Labores	Número de pases	Costo (pesos/ha)	Medios más comunes
1	Descepe	1	74.08	Manual
2	Cultivo tradicional	1	32.00	Tractor y M-160
3	Fertilización	1	186.29	Tractor y F-350
4	Cultivo mecanizado	1	16.08	Tractor y grada múltiple
5	Herbicida residual	1	124.95	Tractor y asperjadora
6	Desyerbe narigón	1	87.81	Manual
7	Herbicida foliar	2	145.32	Mochilas
8	Desyerbe camellón	2	32.16	Tractor y FC-8
9	Acondicionamiento	1	16.08	Tractor y grada múltiple
Total		11	714.77	-

Fuente: Ficha de costo UPC Carlos Manuel de Céspedes.