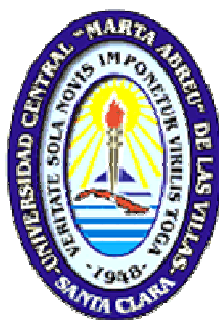


UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TRABAJO DE DIPLOMA

**EFFECTOS SOBRE EL SUELO DE LA COSECHA EN ALTA HUMEDAD DE
LA CAÑA DE AZÚCAR**

Autor: Eduardo Rafael Saucedo Levi

Tutores:

Dr. C. Elvis López Bravo

M. Sc. Rigoberto Martínez Ramírez

Consultante:

Dr. C. Yoel Betancourt Rodríguez

Santa Clara, 2016

Dedicatoria

Alcanzar nuestras más ansiadas metas, convierte los sueños en realidad, las utopías en hechos palpables.

Llegar a este nivel de desarrollo exige de fuentes inspiradoras que impulsen nuestros pasos, por tanto quiero dedicar el presente trabajo de diploma:

** A mis padres Olayda y Eduardo, las personas que más quiero y amo en el mundo.*

** Al Dr. C. Elvis López Bravo mi tutor que ha sido capaz de transmitirme sus conocimientos y apoyo incondicional en todo momento.*

** A todos mis compañeros y profesores que de una forma u otra hicieron posible mi formación como profesional.*

** A mi familia y amigos por estar siempre presente en los momentos fundamentales de mi vida.*

Agradecimientos

Expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a:

** Mi tutor, Dr. C. Elvis López Bravo por aportarme sus conocimientos y experiencia en la correcta realización del presente trabajo.*

** Quiero agradecer a la revolución por darme la oportunidad de realizar mis estudios y de formarme como un profesional que le aportara en un futuro sus conocimientos al desarrollo del país.*

** Todos los profesores que con tanta paciencia y dedicación contribuyen a la superación y el mejoramiento humano.*

** los compañeros de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Sagua la Grande quienes colaboraron e hicieron posible la revisión, organización y edición de esta investigación, en especial al Dr. C. Yoel Betancourt Rodríguez y M. Sc. Rigoberto Martínez Ramírez.*

Pensamiento

La tierra produce sin cesar, si los que viven en ella quieren librarse de miseria, cultívenla de forma tal que en toda época produzca más de lo necesario para vivir.

José Martí

Resumen

Con el objetivo de determinar el efecto sobre el suelo del paso del sistema de máquinas para la cosecha de caña de azúcar, en condiciones de alta humedad se realizó el siguiente trabajo de diploma. La investigación tuvo lugar en áreas de tres unidades de producción de caña, de la UEB Héctor Rodríguez, en la costa Norte de Villa Clara, con la participación de la cosechadora CASE IH 8 800 y el autobasculante tirado por los tractores Belarus 1523 y Maxxum CASE 150. Se determinaron las principales características de los suelos predominantes y las malezas encontradas, así como las variaciones del microrrelieve del suelo, la densidad aparente, los valores de humedad y de resistencia a la penetración en las zonas evaluadas. Los resultados demostraron afectaciones debido al tráfico de los equipos durante la cosecha, destacándose el agregado tractor-autobasculante que afecta considerablemente el microrrelieve por desplazarse sobre el cantero y afectar las cabeceras de los surcos por el viraje y aparqueamiento inadecuado de los equipos. Se encontraron valores de densidad aparente característicos de los suelos arcillosos pesados, y elevados niveles de humedad, alcanzando hasta un 64.0%, provocando serios problemas de traficabilidad para los agregados tractor-autobasculante y ocasionando reiterados atascaderos. También se determinó un incremento elevado de la compactación con respecto a la profundidad, posterior a la cosecha, en el centro del surco y más ligero en el centro del camellón. Se recomendó adecuar los remolques autobasculantes, evitar el viraje y aparqueamiento de los equipos dentro del campo.

Abstract

In order to determine the effect on the soil system step machines for harvesting sugar cane in high humidity conditions, the following diploma work was performed. The research took place in areas of three units for production of sugar cane, the UEB Hector Rodriguez, on the north coast of Villa Clara, with the participation of the harvester CASE IH 8,800 and cantilever pulled by Belarus 1523 and Maxxum tractors CASE 150. The main characteristics of the predominant soils and weeds found and variations of soil profile were determined, the dry bulk density, moisture values and compaction in the areas evaluated. The results showed significant affectations due to traffic during harvesting equipment, highlighting the tractor-cantilever added that significantly affects the topographic profile scroll over the stonemason and affect the headwaters of the grooves for the turn and inadequate equipment parking. Characteristic values of apparent density of heavy clay soil and high humidity, reaching up to 64.0%, causing serious problems of trafficability for tractor-cantilever aggregates and causing repeated miry were found. Increases in compaction was also determined with respect to depth, after harvesting, in the center groove and lighter in the center of the ridge. It was recommended to adapt the cantilever trailers, swerve and avoid parking machinery inside the field.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
1.1 Sistemas mecanizados empleados en la cosecha cañera.....	5
1.2 Propiedades de los suelos agrícolas.....	11
1.3 Factores que influyen en la degradación de los suelos cañeros.....	13
1.3.1 Variaciones de la humedad	13
1.3.2 Irregularidades en el perfilado del suelo	15
1.3.3 Variaciones de la densidad aparente.....	17
1.3.4 La compactación de los suelos	19
CAPÍTULO II	23
MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1 Metodología para la descripción del área de estudio	23
2.2 Metodología para la determinación de la humedad del suelo	23
2.3 Metodología para la determinación del perfilado del suelo	24
2.4 Metodología para la determinación de la densidad aparente.....	25
2.5 Metodología para la determinación de la resistencia a la penetración del suelo	26
2.6 Metodología para los análisis estadísticos.....	26
CAPÍTULO III	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1 Descripción del área de estudio	27
3.1.1 Principales características de los suelos estudiados	27
3.1.2 Particularidades de la siembra y preparación del suelo.....	29
3.1.3 Malezas predominantes en la zona de estudio	30

Índice

3.2 Determinación de la humedad del suelo durante la cosecha.....	31
3.2 Variaciones del perfilado del suelo.....	33
3.4 Variaciones de la densidad aparente del suelo.....	36
3.5 Resultados de la resistencia a la penetración del suelo.....	41
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUCCIÓN

La disminución de la producción de caña, ha traído un efecto negativo para el mercado laboral en varias regiones del mundo. La tendencia a una mayor mecanización y utilización de agroquímicos buscando altos rendimientos con su consiguiente efecto negativo para el medio ambiente. Por otra parte, la tendencia climática mundial apunta hacia la desertificación o prolongación de los períodos de sequía, por lo que los recursos hídricos serán cada vez más necesarios y estratégicos. (FAO, 2015).

La producción de azúcar de caña en el mundo y en particular en Cuba en los momentos actuales merece una valoración integral teniendo en cuenta los componentes ambiental, económico y social, como pilares fundamentales de la sostenibilidad. La variación de los precios de los componentes de la industria y los portadores energéticos en el mercado mundial, comparado con los precios del azúcar de caña en ese mismo mercado, están haciendo insostenible la producción, aun teniendo en cuenta otros derivados que por supuesto implican la introducción de nuevas tecnologías, lo cual a veces limita un gran número de fábricas a la producción casi exclusiva de azúcar (Martínez *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista de su impacto social, la disminución de la producción de caña ha traído un efecto negativo para el mercado laboral en varias regiones del mundo. La tendencia a una mayor mecanización y utilización de agroquímicos buscando altos rendimientos con su consiguiente efecto negativo para el medio ambiente. Por otra parte, la tendencia climática mundial apunta hacia la desertificación o prolongación de los períodos de sequía, por lo que los recursos hídricos serán cada vez más necesarios y estratégicos. (FAO, 2015).

En Cuba existen alrededor de 257 700 ha con suelos arcillosos pesados y problemas de mal drenaje dedicados al cultivo de la caña de azúcar. Dentro de dichos suelos se encuentra una parte con características edafoclimáticas específicas, muy susceptibles al sobre-humedecimiento creado por los períodos

lluviosos, que requieren de la atención fitotécnica de la caña, mediante un manejo diferenciado en el proceso de su cosecha. A las áreas con estas características se le ha denominado condiciones de alta humedad (Betancourt *et al.*, 2015).

Existe una evolución considerable en lo referente a las máquinas, implementos y capacidad de carga en los transportes, lo que provoca compactación del suelo. La mecanización de la cosecha afecta la producción, duración del cultivo, propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Se señala que el crecimiento de las raíces lo determinan cuatro factores fundamentales: resistencia mecánica, disponibilidad de agua, oxígeno, energía, precisando que las propiedades asociadas son la resistencia a la penetración, el potencial de agua, la aireación al igual que la temperatura, respectivamente (García *et al.*, 2010).

La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de caña de azúcar. Es por ello que como proceso exige un alto grado de organización y coordinación de todos los factores que en ella intervienen, desde el campo hasta el basculador. Varios son los principios básicos para una buena cosecha, entre ellos: cosechar la caña en su máximo punto de madurez, cumplir los índices de eficiencia, gasto de combustible, pérdidas, limpieza y productividad y reducir al mínimo los daños a la cepa (Agroinformación, 2013).

La compactación del suelo que es uno de los factores que más contribuyen a su degradación, el más preocupante de los problemas ambientales globales para el caso de Cuba. La compactación es una de las causas de la caída de los rendimientos agrícolas, principalmente en los retoños; por lo que se le considera uno de los principales problemas que hay que enfrentar en la agricultura cañera. El suelo húmedo es mucho más susceptible a la compactación que el suelo seco. De los factores básicos que más afectan el grado de compactación del suelo, la humedad es el más importante (Betancourt, 2013).

En Cuba se ha empleado la variante de cosecha manual, semi-mecanizada y mecanizada, siendo esta última la más extendida y en la que se utilizan principalmente cosechadoras autopropulsadas de procedencia nacional; KTP con

sus diferentes modelos. Por otra parte, el sistema de cosecha empleado durante décadas ha sido el corte mecanizado sin corta-cogollo para centro de limpieza; con el empleo del tractor con carretas y del camión con remolque como medios de transporte para el tiro de la caña hacia el centro de recepción desde los campos cañeros (Matos *et al.*, 2014).

En la actualidad se ha potenciado el sistema de corte mecanizado con corta cogollo para tiro al basculador, con el que se introduce el sistema de transporte denominado tiro partido o trasbordo de caña mediante remolques o semirremolques auto basculantes tirados por tractor para el transporte dentro del campo y camiones con remolques para el tiro hacia el basculador. El sistema se caracteriza por aportar beneficios tales como: reducción de los daños a los campos cañeros producto de la cosecha mecanizada, aumento de la productividad, disminución de los costos de la cosecha y mejora de la calidad del material que va a la industria (Martínez *et al.*, 2015).

La compactación en los suelos agrícolas es un problema que conlleva a la utilización de energía en las labores, alto consumo de recursos y la degradación del suelo haciendo que se pierdan sus propiedades así como obteniéndose bajas tasas de rendimiento en la producción. Dicho factor ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del mismo, como resultado de pisoteo de animales, personas y la inadecuada utilización de equipos como tractores especialmente cuando el suelo está húmedo. La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración, la densidad aparente, provocando una reducción de la porosidad (Demuner *et al.*, 2013).

Considerando la importancia del cultivo de la caña en la zona norte de la provincia de Villa Clara, tanto en rendimiento como en área cultivada las cuales tienen lugar en suelos pesados que se caracterizan por mal drenaje y condiciones de cosecha adversas por la elevada humedad, se define el siguiente problema científico:

Problema Científico: ¿Cuáles son los efectos a las propiedades del suelo que ocasiona el paso del sistema de máquinas en la cosecha de la caña de azúcar en la zona norte de Villa Clara?

Objeto de estudio: Los suelos destinados al cultivo de la caña de azúcar en condiciones de alta humedad.

Hipótesis: Si se determinan las variaciones de las propiedades del suelo tales como: la humedad, el perfilado del suelo, la densidad así como la resistencia a la penetración del suelo, a diferentes profundidades y en diferentes momentos en la cosecha, es posible establecer el efecto del sistema de máquinas sobre el mismo empleadas en la cosecha de la caña de azúcar.

Objetivo general: Determinar los efectos sobre el suelo relacionados con el paso del sistema de máquinas durante la cosecha de la caña de azúcar en condiciones de alta humedad en la costa norte de la provincia de Villa Clara.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar las condiciones productivas del suelo y la maquinaria en la UEB Héctor Rodríguez para el cultivo de la caña de azúcar.
2. Obtener las variaciones de la humedad del suelo en función de la profundidad del mismo.
3. Determinar las variaciones del perfilado del suelo relacionados al paso de la maquinaria.
4. Determinar la densidad aparente y la resistencia del suelo respecto a la profundidad.

CAPÍTULO I

Revisión Bibliográfica

1.1 Sistemas mecanizados empleados en la cosecha cañera

Actualmente en Cuba existe un parque de vehículos de transporte muy diversificado empleado en el traslado de la caña de azúcar desde el campo hasta los centrales azucareros. Cada tipo de transporte presenta características técnico-económicas muy particulares que bajo determinadas condiciones operativas y de explotación, hacen que su uso resulte imprescindible. Generalmente la caña se transporta de dos maneras hacia el central: “ tiro directo ” al basculador, con el empleo de equipos de transporte automotor (Figura 1.1) y el “ tiro combinado ” (intermodal). El sistema emplea los mismos equipos de transporte automotor para llevar la caña hasta los centros de acopio, donde se limpia de la paja, se carga en las casillas del ferrocarril, luego mediante el transporte ferroviario se lleva hasta el patio del central donde espera hasta ser procesada (López *et al.*, 2004).



Figura 1.1 Equipos de transporte automotor usados para el tiro directo al basculador.

Según Matos *et al.* (2014) después de haberse realizado un estudio sobre la explotación del complejo de máquinas que participan en el proceso cosecha-

transporte-recepción de la caña de azúcar véase en la Figura 1.2, se definen que las principales deficiencias que aún persisten en el trabajo de las mismas son:

- Deficiente organización de la composición racional del complejo de máquinas utilizadas en el proceso cosecha – transporte – recepción de la caña de azúcar.
- Bajo aprovechamiento de la jornada de trabajo de las cosechadoras y medios de transporte utilizados en la transportación de caña.
- Deficiente organización de la asistencia técnica ante las roturas de las cosechadoras y medios de transporte de caña.
- Explotación del complejo de máquinas que participan en el proceso cosecha – transporte – recepción en rendimientos agrícolas muy bajos, lo cual afecta el trabajo eficiente de las mismas.



Figura 1.2 Equipos que participan en la cosecha de la caña de azúcar.

La actividad denominada trasbordo es realizada por equipamientos que realizan el transporte intermedio desde las cosechadoras de caña hasta los camiones (Figura 1.3), subdividida en: recibimiento de materia prima de la cosechadora, transporte dentro de los campos y carga de los camiones con la caña picada. Estos equipos poseen diferentes capacidades, siendo los más comunes en Cuba de 8 a 12

toneladas de carga. El proceso de trasbordo fue creado para minimizar la compactación del suelo, y de esta forma, aumentar la productividad media (Martínez *et al.*, 2012).



(a)

(b)

Figura 1.3 Actividad denominada trasbordo (a) transporte intermedio junto a la cosechadora y (b) transporte intermedio junto a los camiones.

Las tecnologías de manejo de la producción de caña de azúcar han evolucionado en lo referente a máquinas, implementos y capacidad de carga de los transportes, lo que provoca compactación del suelo. La mecanización de la cosecha afecta la producción, duración del cultivo y propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Se señala que el crecimiento de las raíces lo determinan cuatro factores fundamentales: resistencia mecánica, disponibilidad de agua, oxígeno y energía, precisando que las propiedades asociadas son la resistencia a la penetración, el potencial de agua, la aireación y la temperatura, respectivamente (García *et al.*, 2010).

El corte mecanizado integral de la caña de azúcar está en función de las siguientes variables: diseño de campo, atributos de las variedades, la máquina cosechadora, el operario de la máquina, el mantenimiento de la máquina y la logística del corte y del transporte. En la medida que se logre una buena integración de las variables anotadas se puede alcanzar el éxito de la cosecha mecanizada (Mantilla, 2010).

Según Galvis (2010) entre las desventajas de la cosecha integral, se puede señalar que, por las características de los equipos que participan en las operaciones de cosecha, existen mayores posibilidades de afectar los cañaverales, aumentando los problemas de compactación, los riesgos de daño a las cepas y la probabilidad de una menor longevidad del cañaveral.

Según Max *et al.* (2012) el sistema de corte mecanizado tiene mayores exigencias en cuanto a las dimensiones y a la sistematización de los campos que el sistema semi-mecánico, surgiendo limitaciones para el uso de las cosechadoras en campos pequeños, de dimensiones irregulares, cañaverales dispersos y en lotes de relieve accidentado o pendientes elevadas.

Los medios de transporte constituyen un eslabón de vital importancia en la cadena de cosecha, transporte y recepción de la caña de azúcar. La organización de estos eslabones facilita el aumento de la productividad del sistema de transporte. El transporte de caña por ferrocarril (Figura 1.4), constituye una variante económica importante, tanto en República Dominicana como para Cuba quienes emplean los denominados carros: jaula para el transporte de la caña. Los mismos tienen una capacidad de cinco a nueve toneladas y su velocidad de traslación es inferior a los 60 km/h (Martin, 2013).



Figura 1.4. Transporte ferroviario.

Según Franco *et al.* (2009) la diferencia entre la distancia de siembra y las trochas provoca el pisoteo de la hilera de caña en el momento de la cosecha mecanizada, ya que se triplica el tráfico en comparación con un sistema de cosecha manual con alce mecanizado. Estudios realizados en Colombia indican que el tráfico de maquinaria agrícola sobre la cepa puede producir una disminución de la productividad de caña del 21 al 25%.

Según Matos *et al.* (2014) el tráfico de máquinas agrícolas modifica la condición del suelo, aumenta la densidad, disminuye el diámetro medio ponderado de los agregados y la macro porosidad en el entresurco con relación a la línea de plantío y esto, causa degradación acumulativa de la calidad del suelo a través del tiempo.

Según Braunack y Macgarry (2006) la intensidad de tráfico (IT) es un parámetro adecuado para definir la distribución del tráfico sobre el campo. En la actualidad se puede utilizar el sistema de información geográfica para su determinación precisa, es útil para comparar sistemas de mecanización o cosecha y sus posibles efectos en la productividad. En el cultivo de la caña los problemas de compactación se magnifican durante la cosecha por la alta intensidad de tráfico que demanda la labor y por el tránsito directo sobre la cepa (pisoteo).

En la cosecha de caña son importantes las cargas que se desplazan y las presiones de contacto, ambos factores definen la compactación en el perfil del suelo y son las influencias dominantes en términos del daño potencial porque determinan el nivel inicial de esfuerzos en la superficie, mientras que la carga por llanta define la tasa de disminución de los esfuerzos con respecto a la profundidad (Rodrigues y Valencia, 2012).

La principal causa de compactación en suelos agrícolas es el tráfico de máquinas y equipos durante las labores de cultivo y las operaciones de cosecha en especial cuando se realizan en suelos húmedos con altas presiones sobre el área de contacto suelo-llanta (Figura 1.5). La cuantificación de los efectos del tráfico usualmente incluye peso de vehículos e implementos, distancia recorrida, presión de contacto, área cubierta por llantas u orugas y número de pases.



Figura 1.5 Tractor Maxxum CASE IH traficando con exceso de humedad.

Las cosechadoras de caña CASE IH 8000 (Figura 1.6), agrega toda la confiabilidad de más de 25 años de la cosechadoras de la serie 7000. Estas máquinas son superiores a las anteriores, ya que poseen: Nuevo motor garantizando un torque elevado y bajo consumo de combustible, sistema de refrigeración constituido por un paquete de radiadores compuesto por radiador de líquido refrigerante, de aceite hidráulico y un condensador de aire acondicionado. El picador permite una cosecha con mayor velocidad. La cabina permite que el operador controle la dirección y la transmisión electrónicamente. Mejoras en sistemas de alimentación con un nuevo ángulo de los tambores flotantes que minimiza la posibilidad de pérdidas en cosecha. Aumento de la altura de corte del corta cogollo en 0,4 m; largo de la cosechadora en 3,4 m; la distancia entre los sinfines exteriores en 0,4 m (Placeres, 2015).



(a)

(b)

Figura 1.6 (a) Cosechadora de caña CASE IH 8000 y (b) autobasculante tirado por el Tractor Maxxum Case IH 150.

Las ventajas operativas de las cosechadoras disponibles, permiten una mejor planificación y organización de la zafra, una operación más eficiente de cosecha y una entrega adecuada de caña al ingenio. Dichas cosechadoras contribuyen a la mejora de la calidad de la materia prima por una significativa reducción de mejoras de materias extrañas (pajas), y una menor pérdida de azúcar por el hecho de procesar caña fresca. También es importante destacar que las nuevas cosechadoras son capaces de dejar una mínima cantidad de caña en el campo y se evidencian mejoras en la eficiencia y costo del transporte, ya que la caña en trozos ocupa menos espacio que la caña larga y por lo tanto se incrementa la capacidad de carga de los equipos de transporte (Rodríguez *et al.*, 2002).

1.2 Propiedades de los suelos agrícolas

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas (González *et al.*, 2013).

Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales. Sin embargo, el cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de mucha de su protección contra la erosión del agua y del viento, por lo que estos cambios pueden ser más rápidos. Los agricultores han tenido que desarrollar métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo debida al cultivo excesivo y para reconstruir suelos que ya han sido alterados con graves daños (Fundora y Cairo, 2005).

El suelo posee cierta capacidad para permitir el paso de la maquinaria agrícola causando la menor compactación según González *et al.* (2013) para conocer esta capacidad se hace necesario hacer un estudio del comportamiento de su resistencia mecánica, lo cual se determina estudiando el comportamiento de sus propiedades físico-mecánicas, caracterizadas internacionalmente por:

- El índice de cono para los diferentes estados estructurales y de humedad.
- Coeficiente Volumétrico de Resistencia a Compresión o el aplastamiento para los diferentes estados estructurales y de humedad.
- Estado estructural del suelo, caracterizado por su densidad aparente.
- El contenido de agua o humedad en los poros del suelo.
- La cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo, en las condiciones de alta humedad.
- La capacidad de compactación ante diferentes esfuerzos (energías) y condiciones de humedad.

Según Franco *et al.* (2009) la caña de azúcar es un cultivo poco exigente en cuanto a suelos, tolera bien y se ha cultivado económicamente tanto en suelos muy pesados o arcillosos, como en muy ligeros o arenosos. Sus exigencias respecto a suelos se limitan a profundidad, la necesaria para desarrollar su sistema radicular, alrededor de un metro; aireación suficiente, por lo que deben evitarse los problemas de drenaje tanto interno como superficial; pH, valores que no se alejen demasiado de la neutralidad, aunque suele tolerar desde 4 hasta 10; salinidad y/o alcalinidad, no muy elevada, aun cuando hay diferencias bastantes marcadas entre variedades.

Según Muelas (2010) lo más importante en relación al suelo cañero es su manejo. El manejo debe adecuarse a las condiciones requeridas por el cultivo y a las características físicas químicas y biológicas que cada suelo presenta, que lo hace un complejo activo, al cual hay que considerar más como material viviente que como materia inerte. Ese manejo, en consecuencia, debe orientarse básicamente hacia el logro de cambios favorables a su desarrollo y productividad del cultivo, a la conservación y posible mejora de las propiedades del suelo mediante:

- Conservación y posible mejora de su estructura.
- Conservación y posible mejora de su fertilidad y contenido de materia orgánica.
- Evitar los procesos de degradación del suelo erosión, salinidad y de alcalinidad.

Los suelos cañeros además, propician el crecimiento de plantas las cuales se consideran malezas. (Páez *et al.*, 2006). Estas son especies no deseadas por el hombre, ya que en determinados momentos compiten por agua, luz, nutrientes y espacio físico con plantas cultivadas, afectan el rendimiento y la calidad de los cultivos. Pueden actuar como huéspedes de plagas, enfermedades y nemátodos y pueden dificultar la cosecha en algunos casos. Esto hace que su control se halla transformado en una práctica agronómica imprescindible (Otero, 2009).

Las malezas en la agricultura causan pérdidas considerables a nivel mundial, mermando los rendimientos de un gran número de cultivos. Dichas plantas reducen la superficie del suelo apta para el cultivo y dificultan las labores (Núñez, 2011).

1.3 Factores que influyen en la degradación de los suelos cañeros

1.3.1 Variaciones de la humedad

Según Angelone *et al.* (2003) la humedad del suelo es una variable clave en muchas investigaciones agrícolas, hidrológicas y meteorológicas. En la agricultura con un conocimiento previo de las condiciones de dicho factor se puede establecer la frecuencia de riego, obtener una adecuada producción de cultivos y un buen

tratamiento químico. En otros aspectos investigativos la humedad está vinculada con el control de intercambio de agua y energía entre la superficie del suelo y la atmósfera mediante la evaporación y la transpiración.

Típicamente, la humedad puede estimarse mediante estimaciones puntuales, sensoramiento remoto o mediante modelos de simulación. Cada uno de estos métodos tiene aparejados algunos inconvenientes, ya sea en cuanto a la exactitud y precisión de las estimaciones o en cuanto a la escala en espacio tiempo de las mismas, elementos estos poco conciliables. Esto ha conducido al empleo de técnicas de asimilación de datos en la hidrología, dirigida a una estimación “óptima” de la variable de estado mediante una combinación de la información proveniente de distintas fuentes (Hernández y Medina, 2012).

Según Rodríguez (1999) existe una estrecha relación entre la humedad y la compactación que tiene el suelo en el momento del tráfico. Sucede que la gran mayoría de los trabajos mecanizados en la agricultura se realizan cuando el suelo tiene la humedad cercana a la más factible para compactarlo. Es común asociar la compactación en alta humedad a las profundas huellas dejadas en el terreno húmedo. Se considera que en realidad lo que ocurre fue una falla, enterrándose en ocasiones la capa vegetal que está bajo el rodaje y levantando las capas superiores del subsuelo. Este fenómeno trae consigo una ligera destrucción en el perfil de la superficie del cantero establecido para el cultivo y causando daños mecánicos al sistema radicular, lo cual puede resultar tan o más perjudicial como la propia compactación, pero son fenómenos diferentes.

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Los suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta, aumentando entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción (Camacho y Gonzalo, 2006).

Según Chicas *et al.* (2014) existen tres variables de predicción para estimar la humedad, tales como: las fracciones texturales, la densidad aparente y ocasionalmente la materia orgánica. Se afirma también que los porcentajes de varianza explicada por las ecuaciones de regresión son siempre altos y que la bondad de las estimaciones, en términos de error medio y de raíz del error cuadrático medio ha sido muy satisfactoria.

El papel más importante en la eliminación del exceso de agua lo tiene la evaporación y la evapotranspiración, haciendo muy lenta la pérdida de humedad del suelo, llegando en ocasiones a superar los 30 días el suelo húmedo. Estas características traen consigo un drenaje deficiente, inadecuada aireación, así como mala estructura y agregación. Siendo la humedad y el mal drenaje en los suelos limitantes para la mecanización, cuando el suelo se humedece disminuye su resistencia mecánica (Placeres, 2015).

1.3.2 Irregularidades en el perfilado del suelo

El perfil del suelo es el reflejo objetivo de su formación, sintetiza su historia. Abarca la sección transversal de un corte desde la superficie hasta la roca subyacente y sus capas se denominan horizontes (Figura 1.7). Los horizontes situados encima del material originario (horizonte C) se designan por la palabra latina solum (Regues *et al.*, 2010).

Cada suelo bien desarrollado, completo, no metamorfoseado, tiene sus características particulares de perfil, las cuales se utilizan para clasificarlo y su reconocimiento es de gran importancia práctica. Las capas superiores del perfil de un suelo contienen generalmente considerablemente porcentajes de materia orgánica y su color está oscurecido de manera apreciable, a causa de tal acumulación. Las capas así caracterizadas son las más convenientes para el cultivo por ser la zona de mayor acumulación de materia orgánica (Fundora y Cairo, 2005).



Figura 1.7 Sección transversal de un perfil de suelo.

Las propiedades físicas del suelo que intervienen en mayor medida en la erosión hídrica del suelo se suelen agrupar en tres categorías diferentes: a) la capacidad de la superficie y el conjunto del perfil para infiltrar agua de lluvia e impedir la formación de excedentes hídricos, b) la capacidad de la superficie del suelo para almacenar agua, en las depresiones de mayores o menores dimensiones que se forman sobre la misma y c) la estabilidad de las partículas del suelo, o susceptibilidad al desprendimiento de las mismas, que sólo interviene una vez que se forma una lámina de agua sobre la superficie (Vidal y Paz, 2003).

Según Cruz *et al.* (2015) el perfil del suelo se define como la desviación típica de las elevaciones superficiales del suelo, considerando los cambios debidos a la pendiente del terreno, y las huellas que puedan dejar los neumáticos de las máquinas y ciertos implementos de laboreo. Esto adquiere gran importancia ya que es uno de los parámetros que da la posibilidad de determinar la forma que toma el suelo, luego que sobre él actúa la fuerza de los neumáticos u órganos de trabajo de las diferentes máquinas agrícolas durante el laboreo. Además permite a los diseñadores de máquinas e implementos agrícolas, conocer las características del suelo y poder realizar un diseño óptimo, adecuado que cumpla con los requisitos agrotecnológicos.

El microrrelieve del suelo escala de milímetros a centímetros, puede llegar a cambiar rápidamente, debido a procesos erosivos. De esta forma, en los suelos agrícolas la microtopografía de superficie se altera debido a las operaciones de laboreo, el tránsito de ganado, la compactación, la erosión y deposición de la lluvia y el viento. Los ciclos de humedad, sequía, representan factores que pueden también alterar dicha propiedad (Saimz *et al.*, 1993).

Por otra parte los procesos y cambios que ocurren en la microtopografía del suelo, son los principales factores para determinar la influencia de la remoción y transporte del suelo, así como su deposición. Otros procesos que afectan la microtopografía del suelo son la infiltración, la retención de agua, el intercambio gaseoso, la evaporación y el flujo de calor (García, 2006).

El perfil del suelo, incluye el conjunto de todos los horizontes genéticos, las capas orgánicas sobre la superficie, y el material madre u otras capas debajo del “solum”, que influyen en la génesis y en el comportamiento del suelo. Aparte de los horizontes genéticos, muchos suelos tienen capas heredadas de un material madre estratificado; es el caso de perfiles que tienen características debidas no sólo a los procesos de formación del suelo, sino heredados de un material madre, como es el caso de una terraza aluvial, o incluso debidas en parte a procesos geológicos que acompañan la formación del suelo. Así, un suelo con un perfil bien desarrollado, puede ser gradualmente cubierto con ceniza volcánica, loess, arena transportada por viento, por ejemplo, sin afectar seriamente la vegetación; el horizonte superficial se va engrosando y la parte inferior del perfil va quedando gradualmente fuera del alcance de los procesos activos de formación del suelo (Hernández, 2007).

1.3.3 Variaciones de la densidad aparente

La densidad es una propiedad del suelo ampliamente utilizada en la agricultura relacionada principalmente con las prácticas de manejo de los suelos y las aguas. Recientemente ha aumentado la preocupación respecto a la determinación y exactitud en su medición, debido al incremento del uso de irrigación, de tierras cultivadas sin labranza y a la compactación de suelo. La densidad es la

característica que en mayor grado influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo (Salamanca y Sadeghian, 2005).

Según Alvarado y Forsythe (2005) la densidad de partículas (ρ_p), también conocida como densidad real y densidad mineral, definida como la relación entre la masa de suelo y el volumen de sólidos del suelo ($\rho_p = m_s/V_s$) y la densidad aparente (ρ_a) definida como la relación de la masa de suelo y el volumen total o sea el volumen de partículas más el espacio entre ellas ($\rho_a = m_s/V_t$). La ρ_a se utiliza principalmente para calcular la porosidad total del suelo y por ende en estudios de relación suelo-agua, aunque también se emplea para la interpretación de análisis de laboratorio para el campo.

Según Fundora y Cairo (2005) la densidad es una propiedad fundamental del peso del suelo muy vinculada a otras propiedades físicas, sin la cual no sería posible su interpretación. Hay dos tipos de densidades: la densidad real, densidad de los sólidos o peso específico y la densidad aparente o densidad de volumen. El peso de los sólidos del suelo ha sido expresado a menudo en términos de su peso específico, también se define como la masa (o peso) de una unidad de volumen de sólidos del suelo, y es llamada densidad de la partícula. Densidad aparente o densidad de volumen: es un segundo y diferente método de expresar el peso de un suelo. En este caso se calcula el volumen total del mismo (espacio ocupado por los sólidos y los espacios de los poros conjuntamente).

Según Rubio (2010) existen diversos métodos para determinar la densidad aparente del suelo. El método del cilindro metálico es el más sencillo de ellos, pero tiene como principal inconveniente la presencia de piedras, por lo que solo puede utilizarse adecuadamente en suelos poco pedregosos. Asimismo cuando se toman muestras superficiales con una barrena que contiene los cilindros se corre el riesgo de compactar el suelo por la adherencia del mismo al deslizarse sobre las paredes de los cilindros. El método del terrón tiene como principal inconveniente que no puede precisar el volumen de las grietas, ni de los huecos.

Es también difícil de usar en suelos con alto contenido de materiales gruesos (gravas y piedras). El método de excavación y determinación el volumen extraído tiene varias ventajas respecto a los anteriores según sus autores, ya que en suelos pedregosos sus resultados son similares a otros métodos de excavación/relleno (por ejemplo con arena o agua) y mejores que los obtenidos por el método del cilindro (Alvarado y Forsythe, 2005).

Los factores que mayor influencia tienen sobre la densidad del suelo son: contenido de materia orgánica, textura del suelo, estructura, uso y manejo. Contenidos altos de materia orgánica, el suelo adquiere una mejor estructura y los valores de la densidad disminuyen, lo que favorecen el comportamiento agrícola. Se ha encontrado una correlación significativa entre la materia orgánica y la densidad de volumen (0.73) en suelos tropicales evolucionados. Los valores altos de densidad en general significan altos niveles de compactación producto del empaquetamiento de los agregados del suelo, lo que ofrece una fuerte resistencia a la penetración de las raíces (Martín y Durán, 2011).

1.3.4 La compactación de los suelos

La compactación en los suelos agrícolas es un problema que conlleva a la utilización de energía en las labores, alto consumo de recursos y la degradación del suelo haciendo que se pierdan sus propiedades y así mismo obteniéndose bajas tasas de rendimiento en la producción. La compactación del suelo ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del mismo, como resultado de pisoteo de animales, personas y la inadecuada utilización de equipos como tractores especialmente cuando el suelo está húmedo. La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración, la densidad aparente y reduciendo la porosidad (Demuner *et al.*, 2013).

El estudio de las propiedades físicas del suelo tiene un papel preponderante en la caracterización de su productividad. En particular, la compactación afecta negativamente tanto en forma directa como indirecta diversas propiedades del suelo como la estructura, la dinámica del agua y el aire así como procesos de oxidación

reducción y poblaciones de organismos. La compactación se refleja también en un aumento de la resistencia mecánica o dureza del suelo, la cual es posible medirla con un penetrómetro. Este aparato mide la combinación de falla tangencial, compactación y flujo plástico (Henrriquez *et al.*, 2011).

Agafanov y Alonzo (1993) plantean que aunque el corte mecanizado produce una ligera compresión del horizonte superficial, aun así queda a un nivel satisfactorio. Señala Fonseca (1982) que cuando aumenta la humedad del suelo y la cantidad de pases de los equipos, la compactación asciende; sin embargo, hasta cierto punto, el suelo seco no se comprime fácilmente.

Según Fernandez *et al.* (1992) señalan que la mecanización del corte de la caña puede compactar el 20 por ciento del área total del campo, ocasionando pérdidas de hasta tres toneladas de azúcar por ha. En este sentido, Rodrigues y Valencia (2012) refieren que en Cuba el 24% de la superficie agrícola presenta afectaciones por compactación y citan como una de sus causas en los suelos cañeros la mecanización total, mediante el uso de equipos pesados, de las operaciones de cosecha y transporte, sobre todo cuando se realizan en condiciones de alta humedad.

Según Prieto (2010) las principales consecuencias de la compactación sobre los cultivos es el deterioro general de las plantaciones y la limitación de la funcionalidad y la capacidad de absorción de nutrimentos por las raíces, debido fundamentalmente a:

- Disminución de la porosidad y por ende de la disponibilidad del oxígeno y la capacidad de retención de humedad.
- Decrecimiento de la velocidad de la infiltración favoreciéndose el proceso de reducción y anaerobiosis.
- Formación de capas u horizontes que dificultan la penetración y proliferación de las raíces.

La compactación de los campos de cañas está vinculada con la caída acelerada de la producción de una cepa a la otra. No existen métodos apropiados para la

descompactación de los suelos cañeros que garanticen una respuesta sistemática al mantenimiento de los rendimientos, aún en cepas viejas. Según criterio de los productores de caña, la no respuesta a las aplicaciones de fertilizantes está en relación directa con el estado físico del suelo, donde es probable que como consecuencia de la compactación los suelos hayan alcanzado su densidad crítica (Fundora y Cairo, 2005).

Referido a la compactación del suelo originada por el paso de la maquinaria agrícola, se plantea que el cálculo de la distribución de presiones en el suelo es una función de: carga en las ruedas, presiones de inflado y condiciones del suelo. El campo de tensiones bajo un tractor, tráiler o implemento con neumáticos depende de la cantidad de carga, el tamaño del área de contacto entre el neumático y el suelo, y la distribución de la presión superficial dentro del área de contacto, así como de la naturaleza del suelo, su contenido de humedad y densidad (Delgado, 2004).

Según Herrera *et al.* (2009) entre los factores provocantes de degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación del suelo. La compactación del suelo provoca disminución de los rendimientos agrícolas, mayores requerimientos energéticos en labranzas y labores culturales, necesidades de resiembras, mayores dosis de agroquímicos y número de pasadas de los equipos, necesidades crecientes de fertilizantes e ineficiencia en el uso de la maquinaria. La compactación del suelo no siempre es perjudicial; durante la siembra es necesario una cierta compactación del suelo para que la semilla tenga un contacto adecuado con este, facilitando el acceso de la raíz al aire y nutrientes del suelo.

Las principales propiedades que interactúan sobre la resistencia a la penetración son el contenido de humedad, la velocidad de secado, el manejo y las propiedades intrínsecas del suelo. Las pérdidas de agua originan un acercamiento entre las partículas del suelo, el cual será mayor mientras más rápido sea el secado. Consecuentemente se incrementa la resistencia del suelo a la penetración. El aumento de la resistencia superficial del suelo originado en aumentos en densidad aparente por compactación o por deshidratación, restringe fuertemente el

crecimiento radicular y la fuerza que puede ejercer el extremo distal de la raíz en dirección axial puede llegar hasta 1.000 KPa (Kaplán *et al.*, 2012).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología para la descripción del área de estudio

Para caracterizar el área de estudio se realizaron visitas dirigidas a observar los diferentes aspectos de la actividad productiva de tres unidades de producción de caña (UBPC), de la UEB Héctor Rodríguez. Se consultó la información archivada en la empresa respecto a las actividades productivas y la ubicación geográfica del área objeto de estudio. Se identificó la estructura de las UBPC así como las principales características de los suelos predominantes. Se realizaron visitas a las diferentes áreas de estudio donde se tomaron muestras de malezas encontradas.

2.2 Metodología para la determinación de la humedad del suelo

La humedad en base al suelo seco (hbss) %, se determinó por el método Gravimétrico. Se tomaron varias muestras de suelo con una profundidad de 10 cm hasta los 30 cm en el centro del surco y del camellón previo a la cosecha. El tratamiento de las muestras en el laboratorio se realizó conforme a la NC 3447-2003 (Figura 2.1), secándolas en una estufa a temperatura constante de 105 °C, durante 24 h, las mismas se enfriaron en una desecadora durante 20 min, a partir de lo cual las muestras se pesaron cada dos horas hasta alcanzar una masa constante.



Figura 2.1 Determinación de la masa de suelo en el laboratorio.

El pesaje de las muestras antes y después del secado se realizó con una balanza de precisión $\pm 0,1$ g.

El valor de la humedad se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\omega = (P1 - P2 / P2 - T) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

ω - es el contenido de humedad respecto a la masa seca, en %hbss

P1 - es la masa húmeda más la masa del recipiente (pesafiltro), en g;

P2 - es la masa seca más la masa del recipiente, en g;

T - es la masa del recipiente (tara), en g.

2.3 Metodología para la determinación del perfilado del suelo

La variación del perfilado del suelo se determinó antes y después del paso de la maquinaria, utilizando un nivel de burbuja y el perfilómetro con divisiones en el plano horizontal cada 5 cm (Figura 2.2) y apreciación en la medición en el plano vertical de 1 mm.



Figura 2.2 Determinación de la variación del perfil del suelo.

Las evaluaciones se realizaron en un ancho total de 3,20 m, es decir de centro a centro de espacio entre hileras (camellón). Se tuvo en cuenta realizar tres o cinco pruebas de perfilometría por campo a no menos de 20 m de los bordes de los campos para evitar las áreas con mayores afectaciones causadas por el viraje y el tráfico de la maquinaria durante la cosecha. Se evaluaron además los daños

relacionados con el tránsito de camiones y remolques dentro del campo en función del desprendimiento del suelo y patinaje.

2.4 Metodología para la determinación de la densidad aparente

Se utilizó el método del Cilindro Biselado (Figura 2.3). Donde se tomaron varias muestras de suelo en el centro del surco y en el centro del camellón antes y después del paso de la maquinaria, a profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm utilizando para ello un cilindro de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro.

Se procedió al secado de las muestras mediante una estufa a una temperatura constante de 105 °C, determinándose su masa con la utilización de una balanza con valor de división no mayor que 0,1 g hasta obtener valores constantes de las masas de suelo.



Figura 2.3 Determinación de la densidad aparente.

La densidad aparente del suelo se calculó a través de la expresión:

$$Da = Gn / Vc \quad (2)$$

Dónde:

Da: Densidad aparente del suelo, (g/cm³)

Gn: Masa de la muestra del suelo después de secada, (g)

Vc: Volumen del cilindro para la toma de muestra, (cm³).

2.5 Metodología para la determinación de la resistencia a la penetración del suelo

La resistencia a la penetración del suelo se determinó mediante un análisis de penetrometría (Figura 2.4), efectuándose en dos sitios: centro del surco y el centro del camellón, hasta alcanzar una profundidad de 30 cm, en capas de 10 cm, tomándose cinco puntos como referencia dentro del campo y realizando tres mediciones en cada uno, antes y después del paso de la maquinaria.



Figura 2.4 Determinación de la resistencia a la penetración del suelo.

Se utilizó un penetrómetro de impacto con una punta normalizada (ASAE S313,3 FEB04), con masa del martinete de 1 kg, diámetro de la base del cono de 12,83 mm y punta cónica de 30 grados. Se empleó una regla de aluminio de 1 500 mm y precisión 1 mm para registrar la penetración del cono en el suelo respecto al número de golpes.

2.6 Metodología para los análisis estadísticos

Se empleó el tabulador profesional Microsoft Excel para realizar la tabulación, el manejo de los datos así como los análisis de frecuencia, el promedio y las desviaciones de las mediciones realizadas. Se emplearon además las facilidades de dicho sistema para realizar los gráficos y tablas correspondientes.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló en la UEB Héctor Rodríguez en tres unidades de producción de caña (UBPC Carlos Perera, Antonio Bacallao, Monte Lucas) situadas en el macizo cañero de la costa norte de la Empresa Azucarera Villa Clara, véase en la Figura 3.1. La UEB Héctor Rodríguez limita al norte con la zona costera de Villa Clara, al sur con la UEB “George Washington” al oeste con la UEB “Panchito Gómez Toro” y al este con la UEB “Abel Santamaría”. Estructuralmente cuenta con 12 UBPC, el Banco de Semilla Registrada, 3 CPA y 2 CCS que totalizan una superficie cañera de 14 802,40 ha distribuidas en bloques atípicos en su mayoría. Los pelotones están compuestos por 2 Combinadas, 4 tractores de trasbordo y 4 semirremolques autobasculantes.

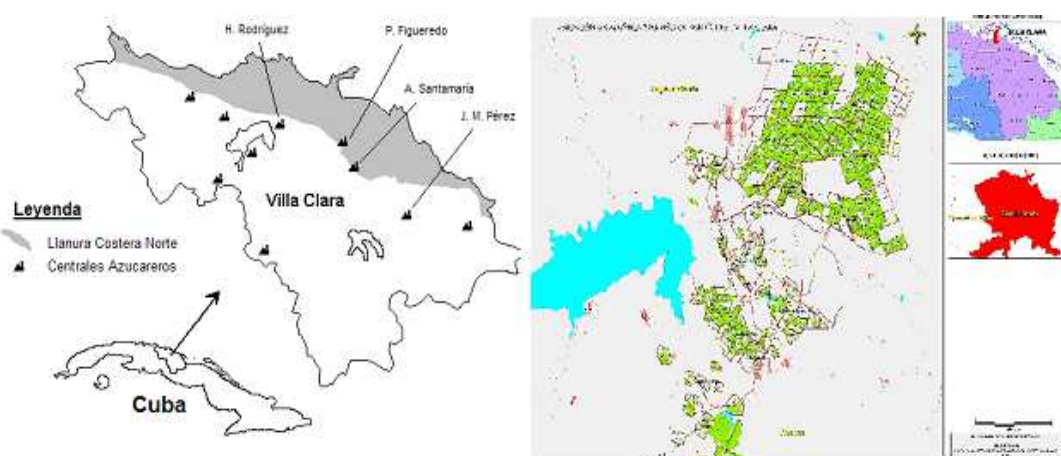


Figura 3.1 Ubicación geográfica de la UEB Héctor Rodríguez.

3.1.1 Principales características de los suelos estudiados

La zona en estudio se distingue por suelos llanos con pendientes inferiores al 2%. Los estudios se realizaron en plantaciones de caña de secano, fundamentalmente en cepas de primavera quedada y soca, en diferentes agrupamientos de suelos. En la siguiente tabla 3.1 se puede observar que a pesar de la UBPC C. Perera contar

con menor cantidad de área destinada al cultivo, es donde más rendimiento se encontró debido a la variedad del cultivo predominante y al suelo existente.

Tabla 3.1 Características de la zona de estudio.

<i>UBPC</i>	<i>Bloq</i>	<i>Suelo predominante</i>	<i>Cepa</i>	<i>Variedad</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Rend. (t/ha)</i>
UBPC C. Perera	29	Pardo Sialítico	PQ	C 89-250	39,9	60
UBPC J. A. Bacallao	34	Vertisol	PQ	C 323-68	101,6	55
UBPC Monte Lucas	69	Gleyzado sialitizado	Soca	C 89-250	86,7	58,7
Total					228,2	57,5

Según la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández, 2007), en esta UEB existen siete grupos principales de suelos, véase en la Figura 3.2.

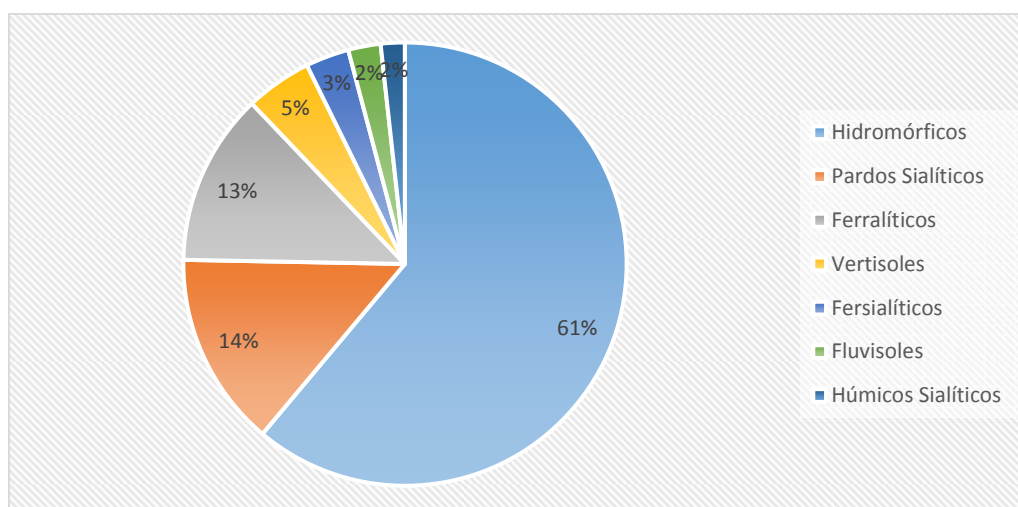


Figura 3.2 Distribución de los suelos según su clasificación.

En la (Figura 3.2) se muestra la distribución de los suelos de la UEB Héctor Rodríguez según su clasificación Genética, representando los suelos Hidromórficos más del 50% de la superficie total con el menor porcentaje, los Húmicos Sialíticos con un 2%. Es importante destacar que los suelos Hidromórficos se desarrollan en

regiones llanas o depresionales, donde predominan condiciones hidromórficas por la presencia de un manto freático cercano a la superficie y en ocasiones por presentar una capa impermeable relativamente próximo de la superficie. Se caracterizan por su poca profundidad efectiva (menor de 20 cm), la consistencia es compacta, el drenaje es deficiente y no presentan pedregosidad ni gravillosidad, las concreciones son escasas y la rocosidad está ausente (Cid *et al.*, 2011). Debido a estas características los mismos son propensos a mantener en etapas lluviosas una alta humedad que dificulta las labores de cosecha y predispone a los mismos a daños de tipo estructural así como en el perfil de los surcos.

3.1.2 Particularidades de la siembra y preparación del suelo

En la UEB la preparación del suelo está mecanizada totalmente. La siembra mecanizada se encuentra limitada por el complementario de las máquinas especializadas aún en desarrollo, y por las limitaciones de sus usos en estos suelos que presentan un alto contenido de humedad. El cultivo y la fertilización están mecanizadas casi totalmente. En alrededor de 90% de las áreas tratadas con herbicidas que son la mayoría, el 41.9% se aplica con avión, el 34.3% con máquinas agrícolas y el 23.8% con mochilas.

Las dimensiones del cantero tabla 3.2, ancho de la base y de la copa, resultaron similares con las reportadas para esas condiciones por Betancourt y Iglesias (2011), no así la altura que resultó inferior al valor mínimo de 20 cm recomendado por Gutierrez *et al.* (2013). Aunque en el rango de lo obtenido en otras investigaciones por Betancourt (2013).

Tabla 3.2 Relieve y características vinculadas a la distancia entre hileras y al cantero.

Relieve	Distancia entre hileras (m)*	Altura del cantero (cm)	Ancho de la base del cantero (cm)	Ancho de la copa del cantero (cm)
Llano	1,60 ± 0,02	18,3±1,79	0,86±0,03	47,43 ±6,40

*Es equivalente a la distancia de centro a centro de la parte superior del cantero.

3.1.3 Malezas predominantes en la zona de estudio

En la tabla 3.3 se muestran las principales malezas encontradas en el área objeto de estudio. Las mismas están representadas por diferentes especies, entre las que se encuentran la Jiribilla, Zancaraña y la Hierba Bruja, que resultaron ser las más abundantes y se ubican en las UBPC J.A Bacallao y Monte Lucas.

Tabla 3.3 Principales malezas en la zona objeto de estudio.

UBPC	Bloque	Maleza 1	Maleza 2	Maleza 3	Maleza 4
UBPC C. Perera	29	Jiribilla	Paraná	Hierba Bruja	Cebolleta
UBPC J. A. Bacallao	34	Pica pica	Jiribilla	Hierba Bruja	Zancaraña
UBPC Monte Lucas	69 70	Paraná Jiribilla	Jiribilla Hierba Bruja	Hierba Bruja Yerba fina	Zancaraña Marabú

La (Figura 3.3) muestran dos de las principales malezas encontradas en las diferentes UBPC objeto de estudio, las cuales son conocidas como: (a) Jiribilla (*Dichanthium annulatum* (Forsk.)), (b) Zancaraña (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton).

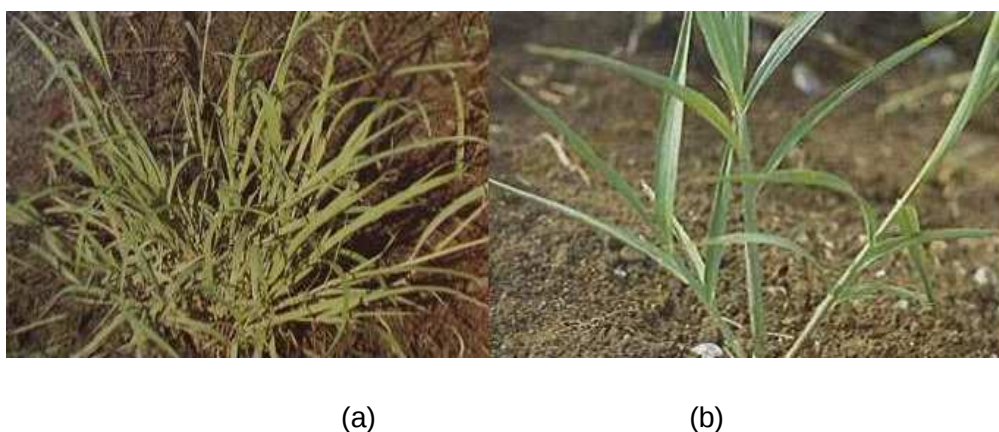


Figura 3.3 Malezas (a) Jiribilla (*Dichanthium annulatum* (Forsk.)), (b) Zancaraña (*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton).

3.2 Determinación de la humedad del suelo durante la cosecha

Los valores de humedad encontrados en los suelos de las diferentes UBPC (Figura 3.4) reflejaron un incremento respecto a la profundidad para los tres casos de estudio y todos estuvieron por debajo del 65% en los tres niveles de profundidad; valor declarado para los suelos arcillosos pesados como límite superior (Soler *et al.*, 2012). Para estas condiciones deben ser capaces de traficar los diferentes medios que intervienen en la cosecha y transporte de la caña, según sus exigencias de traficabilidad.

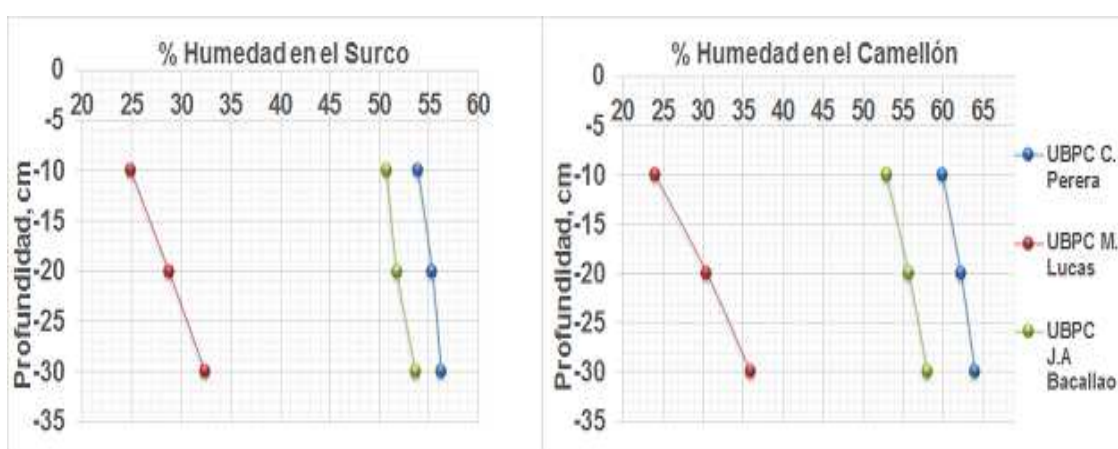


Figura 3.4 Valores de humedad encontrados en las diferentes UBPC.

El valor máximo de humedad en las tres profundidades evaluadas se encontró en la UBPC Carlos Perera en el bloque 29 del campo 6, con 64,0% siendo mayor a la profundidad de 30 cm en la zona del camellón.

No obstante en las tres condiciones de suelo evaluadas, la cosechadora CASE IH 8 800 fue capaz de desplazarse satisfactoriamente, debido en lo fundamental al sistema de rodaje por esteras, el cual genera bajas presiones sobre el suelo. Sin embargo, esto no fue así para el agregado formado por los tractores Maxxum CASE y Belarus 1523 con el autobasculante de fabricación nacional utilizado como transporte intermedio.

Este medio presentó dificultades con su traficabilidad debido al incremento de los valores de humedad presentes en zonas puntuales del campo dando como

resultado la aparición de atascaderos (Figura 3.5). Este fenómeno tuvo lugar indistintamente en todos los campos estudiados con mayor intensidad en los campos con mayor humedad del suelo.



Figura 3.5 Transporte intermedio atascado en la UBPC Monte Lucas.

En la Figura 3.6 se muestran los valores de humedad del suelo a diferentes profundidades en la zona del atascadero en la UBPC Monte Lucas, donde se registraron valores de humedad en puntos específicos en que el agregado tractor-autobasculante fue susceptible de atascos. Para estas condiciones se usó el semirremolque por debajo de su capacidad de carga. Esto constituye una limitante para este medio de transporte lo que reduce la eficiencia del proceso.

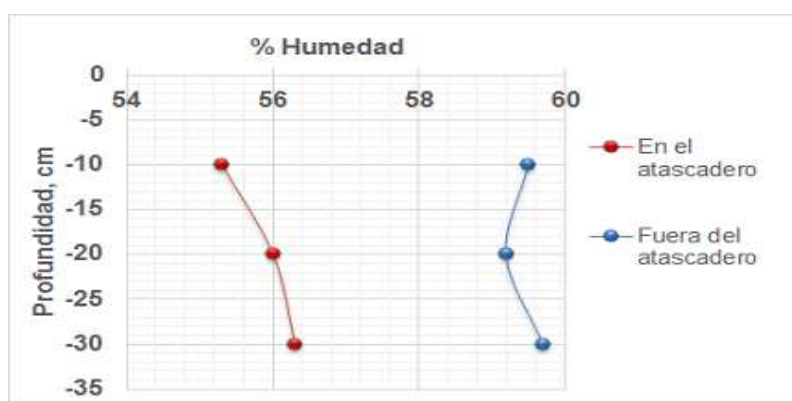


Figura 3.6 Valores de humedad en los que el agregado tractor-autobasculante fue susceptible de atascos.

Para este caso, la zona del atasco coincidió con una pequeña depresión en el campo lo que originó la acumulación del agua y por consecuencia el incremento de la humedad del suelo. El valor medio de la humedad en esa zona fue de; 59,4% y luego de pasar el tractor y el autobasculante se redujo a un 55,8% de humedad principalmente en la superficie como efecto de la compresión del suelo obligando a la expulsión del líquido.



Figura 3.7 Zona del atascamiento del transporte intermedio en la UBPC Monte Lucas.

Las huellas producidas por el atascamiento (Figura 3.7) de este agregado provocaron serias deformaciones en el perfil de suelo y como consecuencia en el desarrollo posterior del cultivo; para cuya recuperación son necesarias las diferentes labores adicionales que incrementan los costos y limitaciones de productividad.

3.2 Variaciones del perfilado del suelo

Las evaluaciones del perfilado en las diferentes UBPC estudiadas mostraron afectaciones del suelo producto del pase de los diferentes equipos que intervienen en la cosecha y tiro de la caña.

Como se puede apreciar en la (Figura 3.8), posterior al pase de la combinada se produce el hundimiento en el camellón, así como también posterior al pase del semirremolque esta vez en el surco o hilo de caña. Como consecuencia del tráfico

durante la cosecha, ocurre el hundimiento al transitar el agregado formado por los tractores Maxxum CASE y Belarus 1523 con el autobasculante de fabricación nacional. Este hecho puede afectar el proceso de germinación de los retoños de la plantación debido fundamentalmente a las altas presiones (Cuenca *et al.*, 2010).

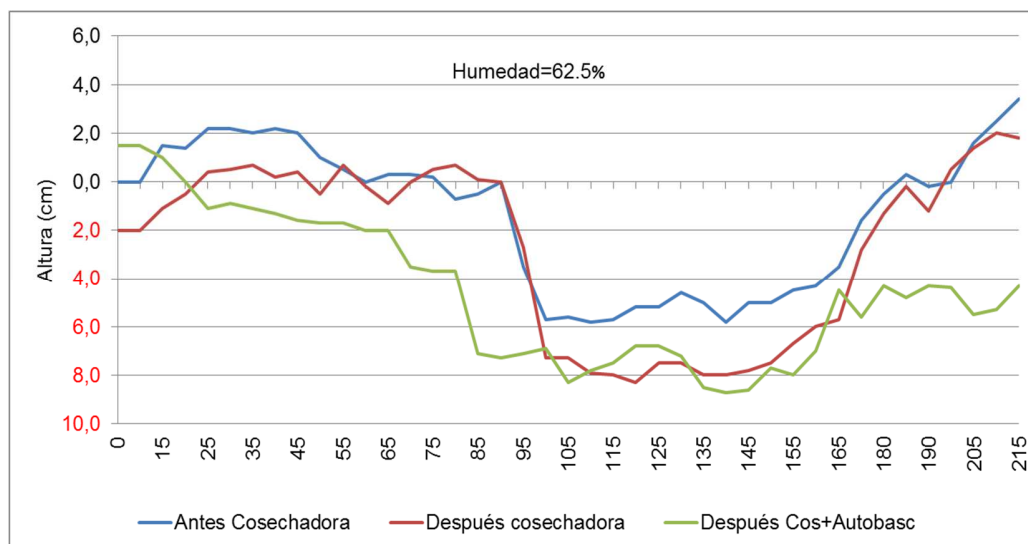


Figura 3.8 Variaciones del microrrelieve en la UBPC Carlos Perera.

Las variaciones del perfilado del suelo muestran el proceso de compactación que se verifica posterior a la cosecha, tanto por la cosechadora como por parte del autobasculante, actualmente empleado para el tiro intermedio de la caña a consecuencia fundamentalmente de las dimensiones de su trocha que no se ajustan al ancho de siembra (Betancourt *et al.*, 2013).

El estudio más detallado del efecto de la cosechadora sobre el perfilado del suelo (Figura 3.9) mostró que la deformación provocada por su peso generó huellas menores a 5 cm y no afecta la estructura del surco. Esta máquina fue capaz de desplazarse satisfactoriamente en todas las condiciones estudiadas, sin atascamientos, evidenciando bajos valores de presiones sobre el suelo.

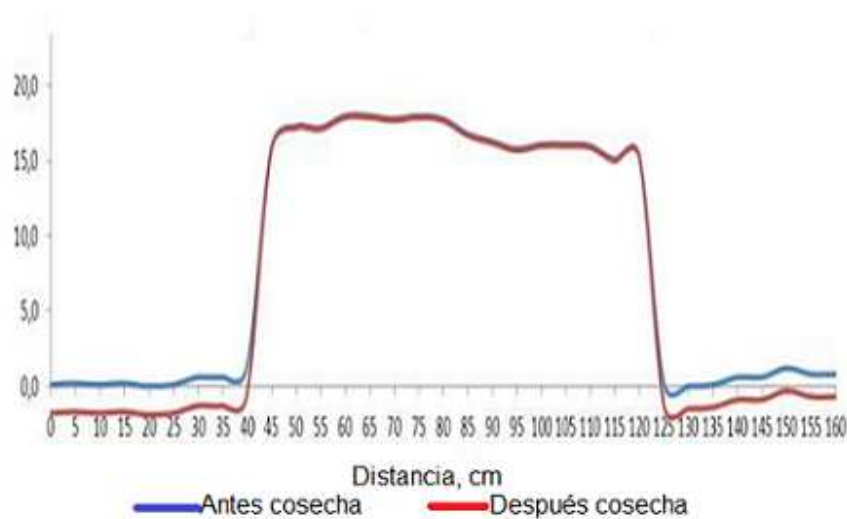


Figura 3.9 Variaciones del microrrelieve del suelo posterior al pase de la cosechadora en la UBPC C. Perera.

La Figura 3.10 muestra las variaciones del microrrelieve del suelo pertenecientes a la UBPC Monte Lucas en el bloque 69, campo 6. Dichas pruebas fueron realizadas para un antes y después de pasar la cosechadora más el agregado formado por los tractores Maxxum CASE y Belarus 1523 con el autobasculante de fabricación nacional utilizado como transporte intermedio, donde se puede observar la diferencia del hundimiento del microrrelieve del suelo que producen ambos medios al transitar (transporte intermedio y la cosechadora).

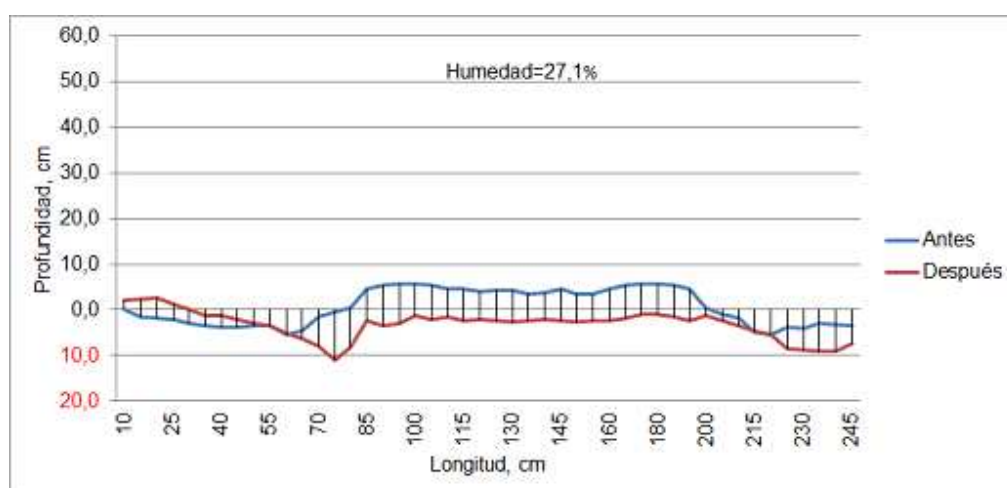


Figura 3.10 Variaciones del microrrelieve del suelo en la UBPC M. Lucas.

Por otra parte la Figura 3.11 muestra los daños ocasionados en las cabeceras de los surcos debido al viraje y aparqueamiento inadecuado de los diferentes equipos que participan en la cosecha mecanizada. Durante la investigación se evidenció que dicho fenómeno constituye una práctica habitual en todas las unidades productivas.



Figura 3.11 Hundimiento de la cepa por el tráfico sobre el cantero.

Como se puede apreciar en las imágenes, el tráfico dentro del cultivo trae consigo una afectación considerable en el microrrelieve favoreciendo la compactación del suelo, además produce daños a la cepa y por consiguiente a la productividad del cultivo. Estos daños constituyen además una deformación masiva del perfil de los surcos de la caña lo que ocasiona la falta de uniformidad en el crecimiento de las plantaciones.

3.4 Variaciones de la densidad aparente del suelo

La siguiente tabla 3.4 muestra las variaciones referentes a la densidad aparente para un antes y después del paso de la maquinaria utilizada en la cosecha de la caña de azúcar. Como muestra la tabla 3.4 se estudiaron tres profundidades en el suelo referente a la capa activa. De forma general las mediciones realizadas muestran valores de densidad entre 0,8 y 1,38 (g/cm³), los valores mayores se encontraron en la UBPC Monte Lucas.

Tabla 3.4 Comportamiento de la densidad aparente (g/cm^3) en tres UBPC.

Medición	Momento	Prof (cm)	UBPC		
			C. Perera	M. Lucas	J.A Bacallao
Surco	Antes cosecha	10	0,87	1,21	0,9
		20	0,9	1,33	0,96
		30	0,94	1,33	0,96
		<i>media</i>	<i>0,90</i>	<i>1,29</i>	<i>0,94</i>
		<i>STD</i>	<i>0,04</i>	<i>0,07</i>	<i>0,03</i>
	Después cosecha	10	1,09	1,38	0,96
		20	1	1,38	1,03
		30	0,95	1,36	1,03
		<i>media</i>	<i>1,01</i>	<i>1,37</i>	<i>1,01</i>
		<i>STD</i>	<i>0,07</i>	<i>0,01</i>	<i>0,04</i>
Camellón	Antes cosecha	10	0,9	1,34	0,92
		20	0,93	1,34	0,97
		30	0,95	1,28	0,97
		<i>media</i>	<i>0,93</i>	<i>1,32</i>	<i>0,95</i>
		<i>STD</i>	<i>0,03</i>	<i>0,03</i>	<i>0,03</i>
	Después cosecha	10	1,02	1,36	0,98
		20	0,98	1,35	1,05
		30	0,95	1,32	1,02
		<i>media</i>	<i>0,98</i>	<i>1,34</i>	<i>1,02</i>
		<i>STD</i>	<i>0,04</i>	<i>0,02</i>	<i>0,04</i>

En la Figura 3.12 la densidad aparente de las UBPC Carlos Perera y J.A Bacallao mostraron un ligero incremento respecto a la profundidad previo a la cosecha en los primero 20 cm, tanto en la zona del centro del camellón como en el centro del surco. La UBPC Monte Lucas por su parte mostró un incremento considerable de $1,33 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ a los 20 cm de profundidad y luego se mantiene este valor hasta los 30 cm, este mismo patrón se muestra en el camellón donde alcanza densidades de hasta $1,38 \text{ (g/cm}^3\text{)}$. La causa de este comportamiento de la densidad en esta unidad puede estar vinculadas a las labores relacionadas con el cultivo durante el crecimiento de la caña.

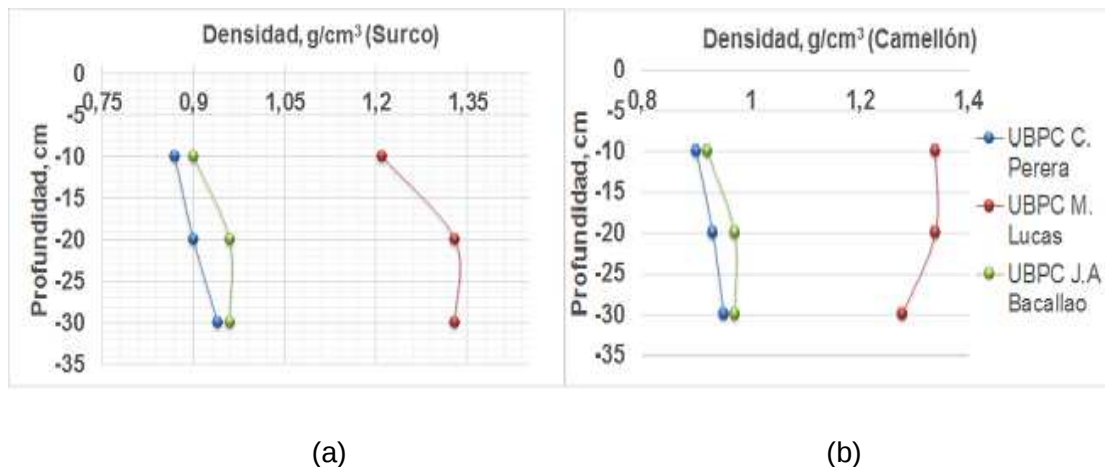


Figura 3.12 Comportamiento de la densidad aparente (g/cm^3) en las diferentes UBPC antes de la cosecha, (a) en el surco y (b) en el camellón.

Similar tendencia en la manifestación de la densidad aparente se encontró en las UBPC J. A. Bacallao y Monte Lucas, esta última con los menores ascensos como consecuencia del menor porcentaje de humedad, en coincidencia con lo señalado por Fonseca (1982) referente a que el suelo seco no se compacta fácilmente.

La Figura 3.13 muestra los valores de densidad aparente tomados después del paso de la combinada y el agregado formado por los tractores Maxxum CASE y Belarus 1523 con el autobasculante de fabricación nacional utilizado como transporte intermedio en la cosecha de la caña tanto en el centro del surco como en el centro del camellón de las UBPC C. Perera, M. Lucas, J.A Bacallao.

Dicha variable mostró una disminución respecto a la profundidad, excepto en la UBPC J.A Bacallao que aumento en los primeros 20 cm de profundidad, tanto en el surco como en la zona del camellón y después de los 20 cm comenzó a mantenerse constante en el surco así como disminuyó en el camellón. El aumento puede estar relacionado con el contenido de materia orgánica, textura o el manejo de diferentes labores agrícolas que haya recibido el suelo.

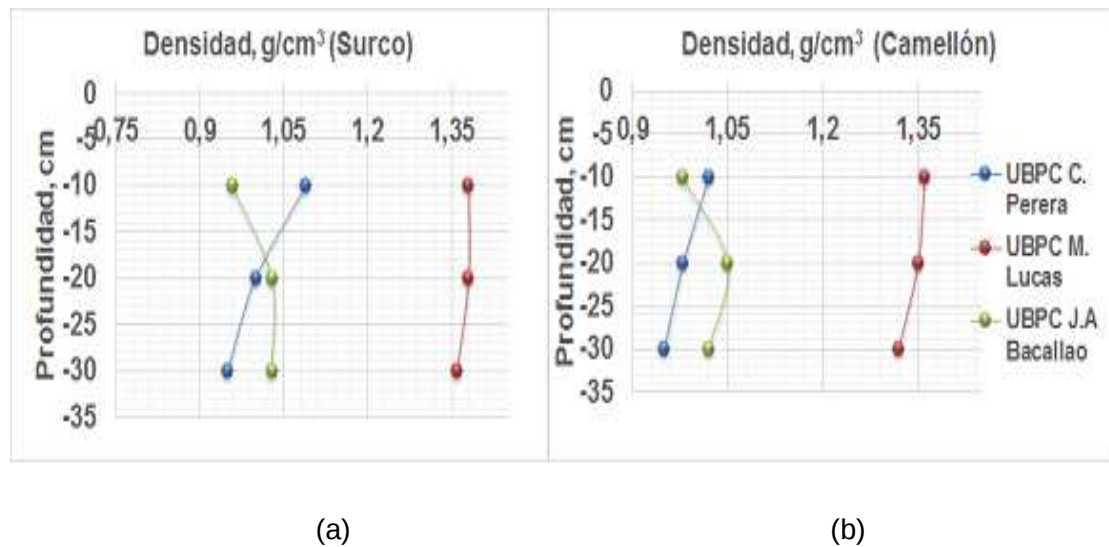


Figura 3.13 Comportamiento de la densidad aparente (g/cm^3) en las diferentes UBPC después de la cosecha, (a) en el surco y (b) en el camellón.

No obstante, los valores de densidad aparente encontrados distan mucho de los señalados por Humbert (1965) y Jonn-Jiang (1970) como críticos en los suelos arcillosos pesados de los trópicos para el desarrollo normal del sistema radical de la caña de azúcar ($1,5\text{-}1,7 \text{ g/cm}^3$), cuando el desecamiento está por debajo del punto de marchitez, estado de humedad no alcanzado en ninguna de las condiciones evaluadas.

La Figura 3.14 muestra los valores de densidad aparente para un antes y un después de la cosecha, en la zona del surco de las UBPC objeto de estudio, donde los cuales coinciden o están muy próximos de los reportados por Acosta *et al.* (1989), Agafanov y Alonzo (1993), y García *et al.* (2010), como característicos de estos suelos; con la excepción de los localizados en la UBPC Monte Lucas, donde en los primeros 30 cm sobrepasa el valor de densidad crítica ($1,15 \text{ g/cm}^3$) dado por Cairo y Fundora (2005) para el cultivo de referencia en este tipo de suelo.

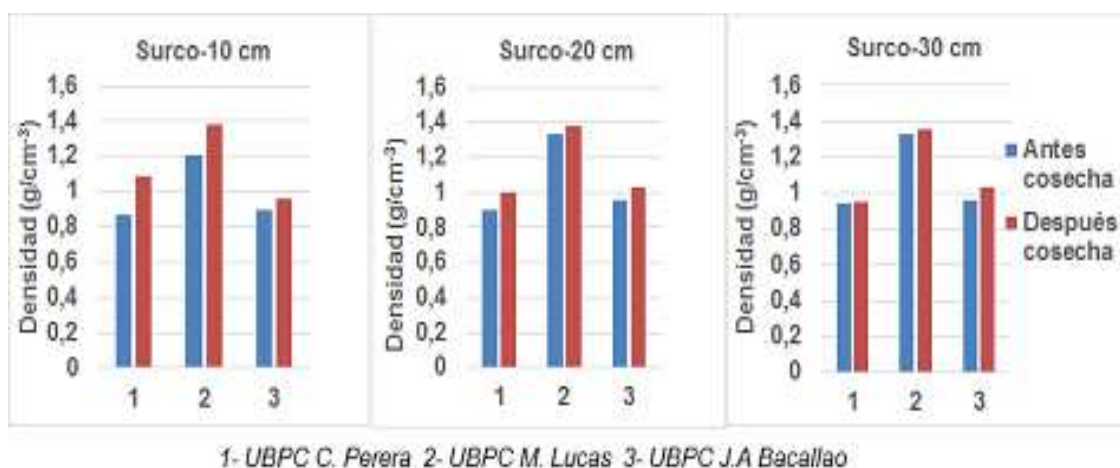


Figura 3.14 Comportamiento de la densidad aparente (g/cm^3) en las UBPC antes y después de la cosecha en el surco.

La siguiente Figura 3.15 muestra los valores de densidad aparente tomados en la zona del camellón para un antes y un después del paso de la maquinaria empleada en la cosecha de la caña a profundidades de 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm en las diferentes UBPC estudiadas. Se puede observar que la densidad aparente presenta un ligero aumento después de la cosecha con respecto al paso de la maquinaria antes de dicha labor, con la excepción de la UBPC C. Perera donde a una profundidad de 20-30 cm va a mantenerse constante la densidad aparente con un valor de aproximadamente $0,98 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

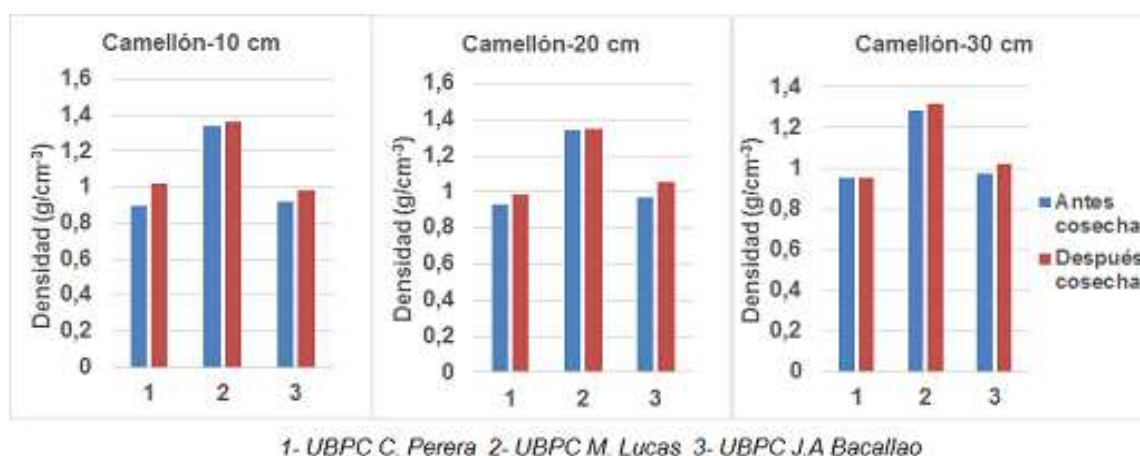


Figura 3.15 Comportamiento de la densidad aparente (g/cm^3) en las UBPC antes y después de la cosecha en el camellón.

3.5 Resultados de la resistencia a la penetración del suelo

Los valores de resistencia a la penetración del suelo encontrados en las UBPC Carlos Perera y Monte Lucas se muestran en la tabla 3.5. Los mismos muestran un incremento de la resistencia a la penetración a medida del paso del sistema de máquinas así como con el incremento de la profundidad,

Tabla 3.5 Comportamiento de la resistencia a la penetración (golpes/dm) en las UBPC Carlos Perera y M. Lucas.

UBPC	Prof (cm)	índice de Cono, golpes/dm					
		Antes		Cosechadora		Cosech +Autob	
		Surco	Cam.	Surco	Cam.	Surco	Cam.
M. Lucas	10	4,3	3,5	4,2	3,7	4,5	3,8
	20	4,2	3,8	5,3	4,4	5,6	4,5
	30	2,6	4	4,2	3,5	4,3	4,4
	<i>media</i>	<i>3,70</i>	<i>3,77</i>	<i>4,57</i>	<i>3,87</i>	<i>4,80</i>	<i>4,23</i>
	<i>std</i>	<i>0,95</i>	<i>0,25</i>	<i>0,64</i>	<i>0,47</i>	<i>0,70</i>	<i>0,38</i>
C. Perera	10	0,8	0,9	0,9	1,5	1,3	1,6
	20	1,3	1,7	1,3	2	3,2	3,7
	30	2,3	2,6	2,4	2,8	3,7	3,7
	<i>media</i>	<i>1,47</i>	<i>1,73</i>	<i>1,53</i>	<i>2,10</i>	<i>2,73</i>	<i>3,00</i>
	<i>std</i>	<i>0,76</i>	<i>0,85</i>	<i>0,78</i>	<i>0,66</i>	<i>1,27</i>	<i>1,21</i>

La Figura 3.16 muestra los valores de resistencia a la penetración encontrados en las UBPC Carlos Perera y Monte Lucas para un antes y un después de la cosecha, dichos valores indicaron un aumento de la resistencia del suelo respecto a la profundidad, con mayores magnitudes en la zona correspondiente al centro del camellón en la UBPC C. Perera y en el centro del surco en la UBPC Monte Lucas, en coincidencia con los resultados alcanzados por Fonseca (1982).

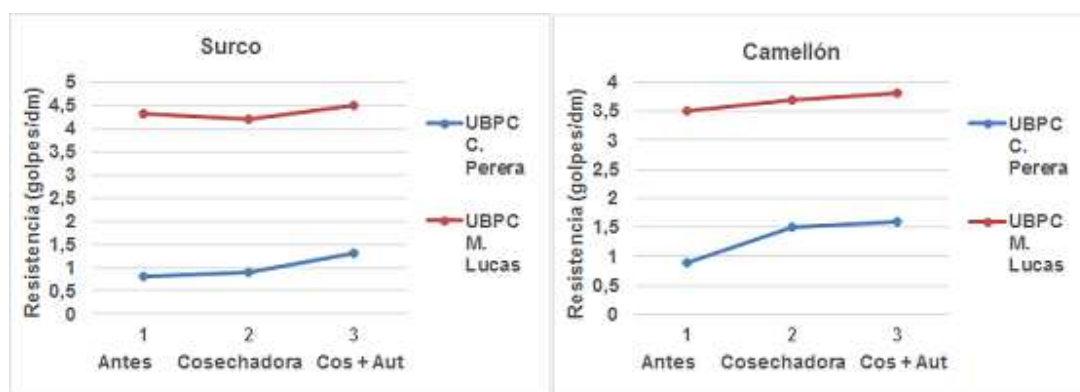


Figura 3.16 Valores de resistencia encontrados en la diferentes UBPC.

El grado de disminución o reducción de la altura del cantero en el suelo después de la cosecha está en correspondencia con los resultados obtenidos en las mediciones realizadas con el perfilómetro (sección 3.2). Este hecho lo determina el tráfico del semirremolque sobre parte del cantero. El sistema de rodaje está diseñado para un marco de 2,70 m y el campo es de 2,40 m lo que da como resultado que no se logra apoyar uniformemente sobre la superficie del terreno, incrementando la presión sobre el suelo y por consiguiente su deformación irregular en la zona del surco.

Posterior al pase de la cosechadora, en la UBPC Carlos Perera, con un 60,0% de humedad (bss) se encontró un incremento del 13,5% en el valor medio del perfil estudiado, y del 79,2% después del pase del autobasculante, en las zona del centro del camellón y del surco de caña, respectivamente. El incremento que se produce en el centro del camellón, después del pase de la cosechadora, es del 21,3%; mientras el que se produce en el centro de la hilera o surco de caña, después del pase del autobasculante, es del 86,4%.

La Figura 3.17 nos muestra los valores de resistencia a la penetración (golpes/dm) en función de la humedad del suelo, en la zona del surco y en la zona del camellón, para un antes y un después de la cosecha en la UBPC C. Perera, donde se puede observar el incremento de la compactación después del paso del sistema de máquinas empleadas en la cosecha en las dos zonas evaluadas.

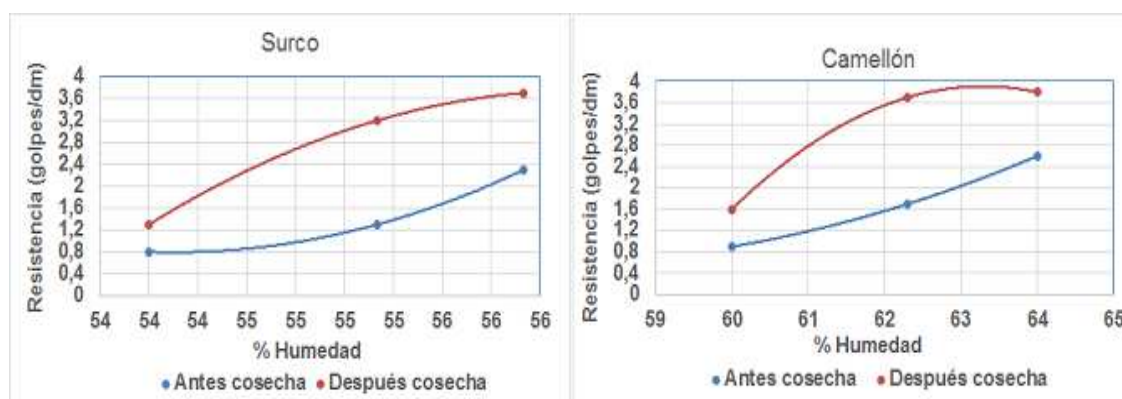


Figura 3.17 Valores de resistencia a la penetración en función de la humedad en la UBPC C. Perera.

Estos incrementos estuvieron dados en la zona del camellón por parte de la cosechadora y en la zona del surco por parte del agregado tractor más autobasculante.

Posterior al pase de la combinada el mayor aumento de la resistencia en profundidad se produce en la capa más superficial, aunque se extiende por todo el perfil; al igual que después del pase del semirremolque. El resultado final es el crecimiento de la resistencia en casi toda la masa de suelo, expresado tanto en el centro del surco como del camellón hasta los 20 cm de profundidad.

La Figura 3.18 muestra los valores de resistencia a la penetración en función de la humedad encontrados en la UBPC Monte Lucas, los cuales presentan un aumento ligero en la resistencia a la penetración del suelo en comparación con los obtenidos en la UBPC Carlos Perera, donde el mayor valor encontrado no sobrepasa los 3,7 golpes/dm, no siendo así en el caso de la UBPC Monte Lucas donde después de la cosecha se registraron valores hasta de 5,6 golpes/dm.

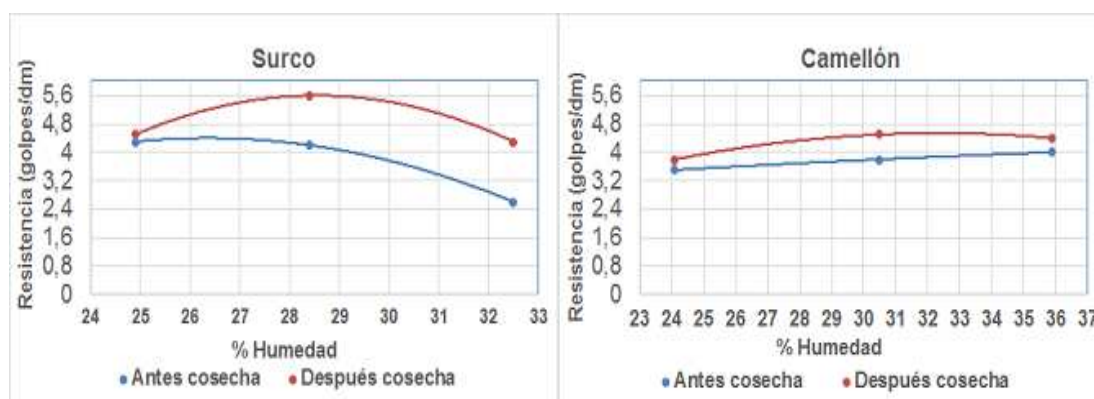


Figura 3.18 Valores de resistencia a la penetración en función de la humedad en la UBPC M. Lucas.

La disminución de los valores de resistencia a la penetración en la UBPC Carlos Perera respecto a la UBPC Monte Lucas, son correspondidos al contenido de humedad encontrado en dicha UBPC, ya que el humedecimiento favorece una disminución de la densidad de volumen, debido a que la presencia de agua en los poros amortigua y dificulta el acercamiento de las partículas del mismo, estos se expanden y disminuye el efecto de la compactación (Herrera *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

La humedad del suelo no sobrepasó los valores máximos de traficabilidad establecidos, con valores entre 24,1 y 64%, no obstante, solamente la combinada fue capaz de trasladarse sin dificultades en tales condiciones. Por su parte, el tractor con el autobasculante fue necesario reducir el peso a transportar, a pesar de ello tuvieron lugar atascaderos relacionados a la alta humedad en depresiones del suelo.

Se constataron variaciones del perfilado del suelo causadas por el paso de la combinada, el tractor y el autobasculante, así como el parqueo y viraje de los medios auxiliares en las cabeceras de los surcos, incidiendo con mayor intensidad el paso del autobasculante el cual no se ajusta al marco de siembra empleado.

La densidad aparente del suelo antes de la cosecha mostró promedios entre 0,90 y 1,32 g/cm³, en las tres unidades estudiadas donde se constató un incremento después del paso del sistema de máquinas para la cosecha, tanto en el surco como en el camellón con valores entre 0,98 y 1,37 g/cm³.

En la resistencia del suelo, después del tráfico de la cosechadora, tractor y autobasculante, se registró un incremento del promedio de resistencia de 1,02 golpes/dm.

RECOMENDACIONES

Emplear para el transporte intermedio de la caña, un autobasculante que se ajuste al ancho entre hileras evitando el tránsito sobre las cepas.

Evitar el viraje y aparqueamiento inadecuado de los diferentes equipos que participan en la cosecha mecanizada, con el objetivo de disminuir las afectaciones en el perfilado del suelo y la cepa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J.; M. CABALLERO; H. DÍAZ: *Definir el manejo adecuado de las labores de cultivo mecánico para diferentes condiciones de suelo, climáticas y tipos de cepas.*, ISAI “Camilo Cienfuegos”. Matanzas., No. 50pp., 1989.
- AGAFANOV, O.; F. ALONZO: *Influencia de la quema de la caña de azúcar y el corte mecanizado sobre las propiedades físicas del suelo*, pp., 1993.
- AGROINFORMACIÓN: *La Compactación de los suelos agrícolas [en línea]*, vol. no. Disponible en: http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp[14/06/2013 12:58:37.
- ALVARADO, A.; W. FORSYTHE: *Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de costa rica*, [en línea] Disponible en: www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm [Consulta].2005
- ANGELONE, S.; F. MARTINEZ; F. AIRASCA: *Determinacion del contenido de Humedad de suelos en Hornos Microondas.*, Universidad Nacional de Rosario, No. 2003.
- BETANCOURT, Y.: "Las propiedades físicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados en el norte de Villa Clara", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*: 2013.
- BETANCOURT, Y.; C. IGLESIAS: "Fundamentos del diseño de implementos para la preparación localizada de superficies acanteradas en caña de azúcar", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20: 5-10, 2011.
- BETANCOURT, Y.; C. IGLESIAS; A. GUTIÉRREZ; I. GARCÍA: "Nuevos parámetros de diseño del escarificador C-101 para la labranza primaria de superficies acanteradas.", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22: 68-73, 2013.
- BETANCOURT, Y.; M. OROZCO; MARINEZ; H. PÉREZ; R. MARÍN; R. VILLEGAS: *Fundamentos técnicos para la implementación del complejo tecnológico cosecha-transporte en condiciones de alta humedad de los suelos cañeros de Cuba.*, pp., 2015.
- BRAUNACK, M.; D. MACGARRY: "Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (Saccharumofficinarum) in Australia", *Soil&TillageResearch*, 86: 86-102, 2006.
- CAIRO, P.; O. FUNDORA. *Edafología, Ed.*, 2005.
- CAMACHO, J.; A. GONZALO: *EVALUACIÓN DE IMPLEMENTOS DE LABRANZA A DIFERENTES VELOCIDADES DE OPERACIÓN Y CONTENIDOS DE AGUA DEL SUELO.*, Tesis Ingeniería Agrícola, Universidad Nacionas De Colombia, 2006.
- CID, G.; T. LOPÉZ; F. GONZÁLEZ; J. HERRERA; M. E. RUIZ: "Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20: 42-46, 2011.
- CRUZ, M.; M. HERRERA; A. TABOADA; L. GARCIA: "Determinación de la geometría del perfil del suelo mediante el método de tratamiento de imágenes.", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24: 31-35, 2015.
- CUENCA, D.; J. A. DELGADO; C. DOMÉNECH; A. MIRAD. *Cálculo analítico de la presión de preconsolidación del suelo: aplicación a la Vega Baja del río Segura (Alicante).* Ed., 2010.

- CHICAS, R.; E. VANEGAS; N. GARCÍA: "Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23: 41-46, 2014.
- DELGADO, J. A.: *Remodelación del puente de rodaje del remolque autobasculante para el tiro de caña en condiciones de elevada humedad del suelo.*, Tesis Universidad Central Marta Abreu de Las VILLAS, 2004.
- DEMUNER, G.; M. CADENA; S. G. CAMPOS: "Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22: 68-71, 2013.
- FAO: *Revista sobre Agricultura orgánica promueve experiencias para la conservación de suelos*, [en línea] Disponible en: <http://www.fao.org/cuba/noticias/detail-events/en/c/340415/> [Consulta: 20/11/2015]. 2015
- FERNANDEZ, L.; A. GONZALEZ; A. LAU: "Volumen de poros en selos arcillosos de Holguín y Santiago de Cuba", *Revista Cubana De Física*, 12: 1992.
- FONSECA, M.: *Como la compactación del suelo afecta a las cañas de retoño.*, Ed., 1982.
- FRANCO, R.; J. TORRES; J. PANTOJA: " Impacto de la siembra a 1,75 m en la productividad de la caña de azúcar en el Ingenio Mayagüez", *Tecnicaña*: 5, 2009.
- FUNDORA, O.; P. CAIRO. *Edafología*, Ed., 2005.
- GALVIS, D.: ""Los sistemas de corte mecanizados de la caña de azúcar. Equipos de cosecha.""", *Revista Tecnicaña*: 26, 2010.
- GARCÍA, I.; M. SÁNCHEZ; M. L. VIDAL DÍAZ; Y. BETANCOURT; J. ROSA: "Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19: 51-56, 2010.
- GARCÍA, R.: *Desarrollo de una metodología para la medición de la rugosidad superficial del suelo.*, Tesis Edafología, Universidad Politécnica De Madrid., 2006.
- GONZÁLEZ, O.; M. HERRERA SUÁREZ; C. E. IGLESIAS; E. LÓPEZ: "Análisis de los modelos constitutivos empleados para simular la compactación del suelo mediante el método de elementos finitos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22: 75-80, 2013.
- GUTIERREZ, A.; F. MUJICA; L. GARCÍA; E. PINEDA; Y. BETANCOURT; J. GÓMEZ; I. RODRÍGUEZ; H. GARCÍA; O. ADAY: "Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de la caña de azúcar en los suelos arcillosos pesados con regadío superficial.", *Cuba & Caña, Suplemento especial*, No. 1., I: 2013.
- HENRRIQUEZ, C.; O. ORTIZ; P. VARGAS; D. GÓMEZ: "Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero", pp., 2011.
- HERNÁNDEZ, L.: *Metodos para el analisis físico de los suelos*, Ed., 2007.
- HERNÁNDEZ, Y.; H. MEDINA: "Estimación de la humedad del suelo mediante técnicas de asimilación de datos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21: 30-35, 2012.
- HERRERA, M.; C. IGLESIAS; O. GONZÁLEZ: "Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18: 2009.
- HUMBERT, R.: *El cultivo de la caña de azúcar* Ed., 1965.

- KAPLÁN, A.; S. LABELLA; L. RUCKS; A. DURÁN; A. CALIFRA: *GUIA PARA LA DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE SUELO*, pp., 2012.
- LÓPEZ, E.; S. MIQUEL; L. PLÁ: "El problema del transporte de la caña de azúcar en cuba", *REVISTA INVESTIGACIÓN OPERACIONAL*, 25: 2004.
- MANTILLA, L.: "Los sistemas de corte mecanizados de caña de azucar. Equipos de cosecha", *Revista Tecnicaña*: 2010.
- MARTIN, L.: "Carros jaula ferroviarios: determinación de un escalón en diámetro.", en *Ingenieria Mecanica-16*, pp., 2013.
- MARTÍN, N. J.; J. L. DURÁN. *El Suelo y su fertilidad*, Ed., 2011.
- MARTINEZ, M.; A. BANCHI; J. LÓPEZ: ""Análisis de opciones de trasbordo de caña picada.""", *Revista AgriMotor*, V: 2012.
- MARTÍNEZ, R.; Y. BETANCOURT; M. RODRÍGUEZ; L. VIDAL; S. GUILLÉN: "Evaluación Agrotécnica de la Combinada Cosechadora de Caña de Azúcar CASE IH 8800 y del Semirremolque Autobasculante de Fabricación Cubana en Suelos Arcillosos Pesados con Superficies Acanterada.". En, pp., 2015.
- MATOS, N.; C. IGLESIAS; E. GARCÍA: "Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha - transporte - recepción de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera Argentina", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23: 27-33, 2014.
- MAX, J.; R. PÉREZ; J. N. PÉREZ: "Evaluación del corte basal de la cosechadora C-4000 con cuchillas de tres filos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21: 20-30, 2012.
- MUELAS, R.: *Manual de Mecánicas del Suelo.*, Ed., 2010.
- NÚÑEZ, D.: *MALEZAS. MÉTODOS DE CONTROL EN LA AGRICULTURA*. Cienfuegos", U. d. M. C. (ed.). pp. 2011.
- OTERO, L.: "Revisión bibliográfica sobre aspectos bioecológicos del Don Carlos (Sorghum halepense) (L.) Pers.) de interés para su manejo en las plantaciones de cítricos y otros frutales", *Revista CitriFrut*, 26: 2009.
- PÁEZ, Y.; L. RIVERO; Y. GARCÍA; P. ALMARALES; A. TURRO: *RIESGO DE TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES POR MALEZAS Y PLANTAS ECONÓMICAS ASOCIADAS A LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA*, pp., 2006.
- PLACERES, Y.: *EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES TECNOLÓGICOS – EXPLOTATIVOS y ECONÓMICOS DE LA COSECHADORA CAÑERA CASE IH AUSTOFT A 8000 EN LA UEB PERUCHO FIGUEREDO*, Tesis Ingeniería Agrícola, Marta Abreu De Las Villas, 2015.
- PRIETO, O.: *Estudio del desempeño ambiental del recurso suelo. Estudio de caso, Municipio Encrucijada*, Tesis Facultad de Química Farmacia, Universidad Central Martha Abreu de Las Villas, 2010.
- REGUES, D.; N. LANA; M. GARCÍA; E. NADAL. *Aplicación de perfilometría en la estimación del transporte en carga de fondo en un torrente de montaña (cuenca de arnás, pirineo aragonés).*, Ed., 2010.
- RODRIGUES, L.; J. VALENCIA: "Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar (Saccharum officinarum)", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16: 1128-1136, 2012.
- RODRÍGUEZ, P.; J. PÉREZ; E. GONZÁLES: ""Sistemas de cosecha de la caña de azucar.""", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, I: 2002.

- RODRÍGUEZ, M.: *Fundamentación del uso de rodaje por semiesteras en las cosechadoras cubanas de caña de azúcar para trabajar en suelos de mal drenaje con condiciones de alta humedad.*, Tesis Departamento de Mecanización Agrícola Universidad Central Martha Abreu de Las Villas 1999.
- RUBIO, A. M.: *LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES* Tesis ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA, 2010.
- SAIMZ, C.; A. GUERRERO; P. SANDOZ; H. PERRIN; G. TRIBILLÓN; J. CALOTRONI: "Perfilometria de superficies por medio de doble modulacion espectral. Aplicacion al estudio de superficies bajo liquido.", *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 13: 1993.
- SALAMANCA, A.; S. SADEGHIAN: "La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelo de la zona cafetera colombiana", en, pp. 381-395, 2005.
- SOLER, H.; H. PÉREZ; Y. BETANCOURT: *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar*, pp., 2012.
- VIDAL, E.; A. PAZ: *Evolución del microrrelieve de la superficie del suelo medido a diferentes escalas*, pp., 2003.