

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



## TRABAJO DE DIPLOMA

**Evaluación agrotécnica del semirremolque autobasculante en el trasbordo de caña de azúcar en condiciones de alta humedad**



**Autor(a): Dayana Pérez Santos**

**Tutor(s): MSc. Maykel Cruz Díaz**

**Dr. C. Yoel Betancourt Rodríguez**

Santa Clara, 2016

## *PENSAMIENTO*

*“El camino es largo y desconocido, en parte. Conocemos nuestras limitaciones y hacemos el hombre del siglo XXI nosotros mismos. Nos forjaremos en la acción cotidiana creando un hombre nuevo con una nueva técnica”*



## **DEDICATORIA**

*Las cosas buenas siempre vienen acompañadas de personas buenas; es por eso que quiero dedicar mi trabajo de diploma con especial cariño y todo mi amor:*

*A mis padres Mayra y Oscar, por regalarme la vida y convertirme en la mujer que soy hoy.*

*A mis hermanos y mi sobrina, esa pequeñita que es la luz de mi vida.*

*A mis tíos, abuelos y demás familiares por estar siempre pendientes de mí y ayudarme en todo.*

*A mi Pipo, aunque no estés, te llevo en mi corazón y te regalo mi triunfo.*

*A mi tutor, MSc. Maykel Cruz Díaz, por su confianza y apoyo incondicional en cada proyecto a lo largo de mi carrera.*

*A mis compañeros y amigos, por compartir estos años de alegrías y experiencias inolvidables.*

# *AGRADECIMIENTOS*

*La gratitud enaltece a las personas y las hace merecedoras del respeto y el cariño de todos. Mi gratitud es para todos aquellos que forman parte de mi vida, en especial a los que han contribuido a hacer realidad este sueño y con él un paso adelante en mi formación como profesional;*

*A mis padres y mis hermanos, gracias por su amor y por hacer posible que llegara hasta este momento de mi vida.*

*A mis abuelos y tíos, que me regalan su cariño y su apoyo siempre.*

*A mis tutores, MSc. Maykel Cruz Díaz y Dr. C Yoel Betancourt por su ayuda incondicional y las atenciones para la realización de mi trabajo de diploma.*

*A la Revolución Cubana y a la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, por darnos la oportunidad de estudiar y convertirnos en hombres y mujeres de bien.*

## RESUMEN

Dadas las irregularidades detectadas en el cumplimiento de los parámetros agrotécnicos del semirremolque autobasculante, en el transporte de la caña de azúcar dentro del campo, en los suelos arcillosos pesados, se presenta el siguiente trabajo de diploma. La investigación se realizó en un suelo clasificado como Vertisol Pélico típico y en una cepa de primer retoño con rendimiento estimado de  $50 \text{ tha}^{-1}$ . En la cosecha participaron la combinada CASE IH 8 000 y el semirremolque cubano acoplado al tractor Maxxum CASE 150. Se determinó la ubicación del autobasculante sobre la hilera, la presión específica sobre el suelo, la deformación del cantero, los cambios de densidad aparente y de resistencia a la penetración antes y después del paso del autobasculante. Los resultados mostraron que el autobasculante cubano no cumple con los requerimientos agrotécnicos para las condiciones mencionadas, por las siguientes razones: sobrepasa la zona de protección de las plantas, lo que conlleva a que con este sistema de cosecha se trafique sobre el 100% del área; al no respetar la zona de protección del cultivo en uno de los canteros sobre los cuales transita aplica presiones superiores a 300 kPa, lo que disminuye la altura del cantero; compacta el suelo en la zona donde se desarrolla el 90% de las raíces, al incrementar significativamente la densidad aparente y la resistencia a la penetración. Se recomendó modificar el ancho de vía del semirremolque autobasculante fabricado en nuestro país, manteniéndole su sistema de rodaje, para el empleo en dichas condiciones.

## **ABSTRACT**

Given the irregularities detected in compliance with agro-technical parameters of the cantilever semitrailer transport of sugar cane in the field, on heavy clay soils, the following diploma work is presented. The research was conducted in a soil classified as typical Vertisol Pélico and in a strain of first child with estimated yield of 50tha-1. At harvest they participated combined CASE IH 8000 and the cuban semi-trailer coupled to the tractor Maxxum CASE 150. The location of the cantilever on the line was determined, the specific ground pressure, deformation of the stonemason, changes in bulk density and penetration resistance before and after passage of the cantilever. The results showed that the cuban auto flip does not meet the agro-technical requirements for the above conditions, for the following reasons: beyond the protection zone of plants, leading to this system of crop traffics on 100% of the area ; by not respecting the crop protection zone in one of the beds on which transits applied pressures above 300 kPa, which lowers the height of the stonemason; compact the soil in the area where 90% of the roots takes place, to significantly increase the bulk density and penetration resistance. It was recommended to change the track width of the cantilever semitrailer manufactured in our country, keeping your system running, for use in these conditions.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
1.1 Principales Características de la Caña de Azúcar.....	4
1.2 Distribución Global de la Caña de Azúcar .....	4
1.3 La Caña de Azúcar en Cuba .....	6
1.3.1 Sistemas de cosecha de la caña de azúcar en Cuba .....	8
1.4 Máquinas que intervienen en la cosecha mecanizada y el transporte intermedio de la caña de azúcar .....	11
1.4.1 Cosechadora Case IH 8 000 y 8 800 .....	11
1.4.2 Semirremolques Autobasculantes para el trasbordo de caña dentro del campo.....	12
1.5 Características de los suelos .....	14
1.6 Descripción de los parámetros a evaluar .....	16
1.6.1 Humedad del Suelo .....	16
1.6.2 Perfilado del Suelo. ....	17
1.6.3 Densidad Aparente. ....	17
1.6.4 Resistencia a la penetración o Compactación de los suelos. ....	19
CAPÍTULO II .....	21
MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
2.1 Metodología para la caracterización de la zona objeto de estudio .....	21
2.2 Metodología para la caracterización de las condiciones de campo .....	21
2.3 Metodología para la determinación de la distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque en la franja de seguridad.....	22
2.4 Metodología para determinar las variaciones en el microrrelieve del cantero en las áreas de estudio .....	23
2.5 Metodología para determinar la presión media específica en condiciones normales de trabajo	23
2.6 Metodología para la realización de las evaluaciones de densidad aparente y resistencia a la penetración .....	25
2.7 Metodología para el cálculo del ancho de vía máximo posible para el semirremolque .....	26
2.8 Metodología para el procesamiento de los datos estadísticos obtenidos en los diferentes experimentos .....	26

CAPITULO III .....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1 Caracterización de la zona objeto de estudio .....	28
3.2 Caracterización de las condiciones de campo .....	29
3.3 Resultado del cálculo de la distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque sobre el cantero .....	30
3.4 Resultados de la determinación de las variaciones del microrrelieve del cantero.....	31
3.5 Determinación de la presión media específica para las condiciones normales de trabajo .....	32
3.6 Resultado de la realización de las evaluaciones de densidad aparente y resistencia a la penetración .....	34
3.7 Resultados del cálculo del ancho de vía máximo posible para el semirremolque.....	37
CONCLUSIONES .....	38
RECOMENDACIONES .....	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

# I NTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

Desde que se introdujo la caña de azúcar a Cuba, el sector azucarero es, sin lugar a dudas, uno de los más importantes en la producción agroindustrial cubana de todos los tiempos. Además de ser una de las principales fuentes de ingreso a la economía del país.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo de elevada relevancia a nivel mundial. De sus tallos se extrae la sacarosa que es uno de los principales suplidores energéticos en la alimentación humana. Su origen se ubica en Asia, más exactamente en países como India, Malasia y China. Fue llevada a otros países, tropicales y subtropicales, por colonizadores y comerciantes. Llega a Cuba con los españoles durante la colonización (Rodríguez, 2011).

En la actualidad Cuba invierte cuantiosos recursos para el desarrollo, especialmente de la producción azucarera, mediante la implantación de nuevos sistemas de máquinas, agregados, montaje de fábricas, etcétera. Esto ha estado antecedido por un desarrollo científico-técnico, basado en un incremento en la formación de especialistas de mayor calificación, si tenemos en cuenta que la agricultura de los tiempos actuales exige una óptima explotación de sistemas mecanizados (Server *et al.*, 2002).

En Cuba la cosecha de la caña de azúcar es realizada por diferentes métodos o sistemas, el uso de uno o varios sistemas de cosecha en una región va a depender de una serie de factores como la topografía y condiciones del terreno, las características climáticas, nivel tecnológico, disponibilidad económica y contexto social, entre otros (Rodríguez, 2011). En la zona que se desarrolló el trabajo se emplea la variante de cosecha mecanizada, aunque son utilizadas también la cosecha manual y semi-mecanizada, utilizando inicialmente máquinas cosechadoras fabricadas en el país. De igual forma, se incluyen nuevas tecnologías de procedencia brasileña en aras de obtener mejores rendimientos en cosecha.

Estos sistemas de corte mecanizado incluyen, a su vez, el sistema de transporte denominado Tiro Partido o Traslado de caña (remolques o semirremolques autobasculantes tirados por tractores para el transporte dentro del campo y camiones con remolques para el tiro hacia el basculador) por aportar en general los siguientes beneficios: 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 (Betancourt, 2014).

Aun así, según González *et al.* (2004), el tráfico vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación a la reducción del espacio poroso. En tal sentido, en suelos arcillosos son mayores los riesgos de compactar el subsuelo a niveles que limiten la producción agrícola como mayor será también la persistencia del daño realizado.

De igual forma Rodríguez y Valencia (2012) señalan que 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 especial cuando se utilizan equipos que aplican altas presiones sobre el área de contacto suelo-llanta en superficies con alto contenido de humedad.

Dicho sistema se introdujo en Cuba inicialmente en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Jesús Rabí, de la provincia de Matanzas, con semirremolques autobasculantes de procedencia brasileña. A partir de ahí se comenzaron a construir en nuestro país y luego de las evaluaciones de campo realizadas, su aplicación se extendió a tres provincias, Matanzas, Granma y Villa Clara, ubicándose en esta última en las áreas del macizo cañero de la costa norte.

Los suelos del norte de Villa Clara tienen características específicas tales como escasa pendiente, alto contenido de arcilla del tipo Montmorillonita (2:1), escasa profundidad efectiva, mal drenaje interno y externo, alta plasticidad, adhesión y cohesión. Las peculiaridades antes señaladas condujeron a un manejo agrotécnico diferenciado en el cultivo de la caña, destacándose la plantación en canteros (González, 2015).

La utilización de la mecanización agrícola de la caña de azúcar en esta zona también demandó de la consideración de las características de esos suelos, entre otras causas para perfeccionar los órganos de trabajo de los aperos de labranza y adecuar el equipamiento para la cosecha y el transporte; en dicho empeño es de primordial importancia cumplir con los requerimientos agrotécnicos. A partir de este análisis y teniendo en cuenta las características y los fines explotativos de los equipos utilizados en el transporte intermedio de la caña de azúcar, se presenta el presente trabajo investigativo el cual tiene como:

**Problema Científico:**

¿Cumple el autobasculante de fabricación nacional con los requerimientos agrotécnicos para no afectar las propiedades físicas del suelo?

**Objeto de estudio:** Semirremolque autobasculante de fabricación nacional.

**Hipótesis:**

Por el no cumplimiento de los parámetros agrotécnicos del semirremolque de fabricación nacional, es posible que se afecten las propiedades físicas del suelo por el tráfico del autobasculante sobre el cantero.

**Objetivo General:**

Evaluar el cumplimiento de los requerimientos agrotécnicos del semirremolque autobasculante de fabricación nacional para el trasbordo de la caña de azúcar en condiciones de alta humedad.

**Objetivos Específicos:**

1. Realizar una caracterización de las condiciones de investigación.
2. Determinar la geometría del microrrelieve del suelo antes y después del paso del autobasculante.
3. Determinar la densidad aparente ( $D_a$ ) y la resistencia a la penetración ( $R_p$ ) en función de la profundidad y la humedad del suelo.
4. Proponer ancho de vía adecuado del autobasculante para su uso en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en condiciones de alta humedad.



# APÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Principales Características de la Caña de Azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), es una antigua fuente de energía para los seres humanos, fue empleada por primera vez en el Sudeste Asiático y en la India Occidental como reemplazo del combustible fósil para vehículos a motor. Alrededor del año 327 A.C. la caña de azúcar era un cultivo importante en la India. Fue introducida en Egipto aproximadamente en 647 D.C. y, casi un siglo más tarde, sería introducida en España (755 D.C.). Desde entonces, el cultivo de la caña de azúcar se extendió a casi todas las regiones tropicales y subtropicales. Los portugueses y los españoles la llevaron al Nuevo Mundo a comienzos del siglo XVI. Fue introducida en los Estados Unidos de Norteamérica (Luisiana) alrededor de 1741 (Praveen y Vered, 2015).

Botánicamente, la caña de azúcar pertenece a la tribu *Andropogonae* de la familia *Gramineae*, orden *Glumiflorae*, clase *Monocotyledoneae*, subdivisión *Angiospermae*, división *Embryophita siphonogama*. La sub-tribu es *Sacharae* y el género, es *Saccharum*, derivado del Sánscrito “sarkara = azúcar blanca”, que recuerda que la planta llegó desde la India a la región del Mediterráneo. En el mundo los países que cultivan la caña de azúcar están entre la latitud 36.7° N y 31.0°S del Ecuador, extendiéndose desde regiones tropicales a subtropicales (Praveen y Vered, 2015).

La caña de azúcar es un recurso natural renovable, constituye una fuente de azúcar, biocombustible, fibra, fertilizante y muchos otros productos y subproductos con sustentabilidad ecológica. El jugo de la caña de azúcar es utilizado en la producción de azúcar blanca, azúcar completo y azúcar centrifugado. Los principales subproductos de la industria azucarera son el bagazo y las melazas (Praveen y Vered, 2015).

### 1.2 Distribución Global de la Caña de Azúcar

Se cultivan aproximadamente 20 millones de hectáreas de caña de azúcar en todo el mundo. Como es un cultivo tropical, la gran mayoría se cultiva en América Latina, India y el Lejano Oriente. Muchos países en África cultivan individualmente pequeñas superficies (Fig. 1.1). Brasil, India, China, Tailandia y Pakistán cultivan más de un millón de ha. La superficie en Brasil

ha aumentado un 40% en la última década. Las áreas en India, Pakistán y Estados Unidos han permanecido bastante estables, pero la superficie de caña de azúcar en Cuba ha disminuido drásticamente en los últimos años (Paraquat, 2015).



Figura 1.1 Distribución de la caña de azúcar nivel mundial(Paraquat, 2015).

La caída de la producción azucarera en Cuba fue consecuencia del colapso de la Unión Soviética y del mercado garantizado que ésta representaba. El azúcar de caña es un importante producto de exportación para muchas islas del Caribe, pero se espera que colapse con la eliminación del actual sistema de proveedores preferenciales en la Unión Europea (Paraquat, 2015).

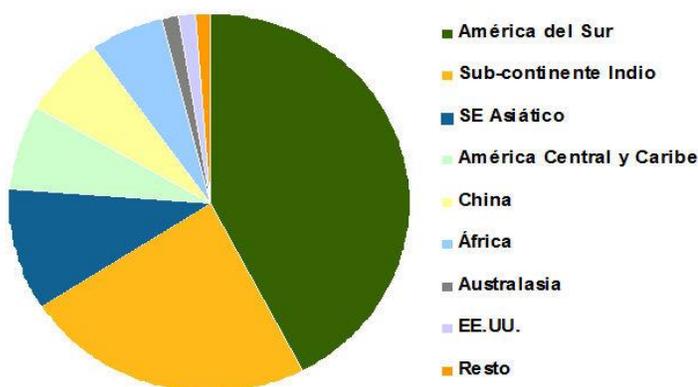


Figura 1.2 Principales países productores por Continentes (FAO, 2012).

Durante los últimos diez años, la producción mundial de caña de azúcar ha aumentado en un 27%, a más de 1.8 billones de toneladas. Esto puede atribuirse a un 22% de aumento en el área cosechada y a un 6% de aumento en los rendimientos. Entre los países líderes (Fig. 1.2), la

producción de caña de azúcar ha estado aumentando más en Brasil, China y Colombia. En la Tabla 1.1 se muestran algunos datos de las cosechas (Paraquat, 2015).

Tabla 1.1. Producción de caña de azúcar en los países líderes (por área cosechada) en 2012 (pronósticos de la FAO).

	<b>Área del país cosechada (en millones de ha)</b>	<b>Producción anual (en millones de t)</b>	<b>Rinde promedio (t/ha)</b>
Brasil	9.71	721	74.3
India	5.09	348	68.3
China	1.80	124	68.8
Tailandia	1.30	97	74.2
Pakistán	1.05	58	55.8
México	0.74	51	69.3
Australia	0.39	26	76.6
Cuba	0.36	14	39.9
Colombia	0.35	38	108.6
Sudáfrica	0.32	17	54.0

Según Hernández y Hernández (2013) existen una gran diversidad de especies y variedades de la caña de azúcar, esto, debido a la fusión de composiciones químicas que se han desarrollado en diversos países, cuya finalidad es de obtener plantas que desarrollen un mayor rendimiento, así como, una mayor resistencia a las diferentes zonas, climas, enfermedades y plagas donde se cultiva la caña de azúcar.

### **1.3 La Caña de Azúcar en Cuba**

Según Nova (2015) al cierre de 2011, las exportaciones de los productos de la agroindustria cañera representaron el 6.4% de las exportaciones totales de la economía cubana. Tomando en consideración el potencial anteriormente calculado, sólo por la vía de las exportaciones (2,650 millones de dólares), sin considerar el efecto de sustitución de importaciones, aquellas pudieran llegar a ocupar cerca del 30% de las exportaciones totales. La agroindustria de la caña de azúcar en Cuba ha iniciado un importante proceso de recuperación y se proyecta continuar en ese sentido. Ha iniciado desde 2010-2011 el incremento de las áreas cañeras. A finales de 2012, el área destinada a caña se encontraba en unas 750 mil ha y continúa creciendo (se aspira llegar al

millón de hectáreas). Los rendimientos agrícolas están en un franco proceso de recuperación, y al cierre de la zafra 2011-2012 se encontraban en 42 t/ha.

Cuba tiene la capacidad industrial para producir 4 millones de toneladas de azúcar de caña. El país está haciendo importantes inversiones en el sector azucarero, sobre todo a través de la adquisición de tractores, cosechadoras, equipos y maquinaria especializada. Por otra parte, algunos ingenios azucareros están siendo reactivados. El sector se ha abierto gradualmente a la inversión extranjera; proceso que se inició con la autorización de una empresa conjuntamente la colaboración Cuba-Brasil para hacer funcionar el molino de azúcar del ingenio ``Cinco de Septiembre`` en la provincia de Cienfuegos (González, 2015).

Tabla 1.2. Características de los suelos cultivados con caña de azúcar en Cuba.

<b>Concepto analizado</b>	<b>Características predominantes</b>
Relieve predominante	Llanuras bajas y onduladas poco a medianamente disecadas y llanuras calcificadas con pendientes menores de 8%.
Suelos principales	Rojos y amarillos de evolución ferralítica, Pardos Salinizados y Oscuros Plásticos (Vertisol e Hidromórficos) predominando los suelos arcillosos, con drenaje bueno a deficiente, ligeramente ácidos a neutros y con alta a mediana resistencia al laboreo y retención de humedad.
Clima	Tropical de sabana húmeda y semi-húmeda con periodo lluvioso y caliente entre mayo y octubre que alterna con otro seco cálido entre noviembre y abril.
Lluvia media anual	Entre 1,200 a 1,400 mm en la zona occidental y central, mientras en la zona oriental de 1,000 a 1,200 mm anuales.
Temperatura media	24-26 °C
Eventos meteorológicos extremos	Sequías intensas y huracanes tropicales con altas precipitaciones y vientos con más de 60 km/h <sup>-1</sup> , marejadas con penetraciones del mar en las áreas litorales bajas.
Otros riesgos	Afectación por roedores y ataques ligeros a moderados de plagas y enfermedades, competencia con malezas y otras especies.

Fuente: Sulroca Domínguez, 2011.

Según Praveen y Vered (2015) las condiciones ideales de suelo para el cultivo de la caña de azúcar (Tabla 1.2) son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm<sup>3</sup> con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática bajo los 1.5 a 2 m desde la superficie y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior.

### 1.3.1 Sistemas de cosecha de la caña de azúcar en Cuba

A nivel mundial la caña de azúcar se cortaba a mano limpiando cuidadosamente las cañas, las puntas o cogollos eran atados en manojos para su uso como forraje y los tallos de caña eran cargados a mano para ser transportados a la fábrica. Conforme avanza la expansión del cultivo y el desarrollo tecnológico, se cambió primero al alce mecanizado y más tarde al corte y alce mecanizado con cosechadoras combinadas de caña de azúcar. Este avance tecnológico ocasionó un aumento de la materia extraña a nivel de las fábricas, lo que causó problemas en la extracción de la sacarosa, por lo que se adoptó como práctica rutinaria la quema de los campos de caña antes de su cosecha. En cuanto a la cosecha mecanizada actualmente se utilizan cosechadoras que pueden realizar una labor combinada, es decir, estas despuntan los tallos de caña, los cortan por su base, seccionan los tallos en pequeños trozos, extraen impurezas y descargan la caña a la unidad de transporte (Rodríguez *et al.*, 2002). Según Vicini y Vicini (2010) la cosecha tiene varias modalidades, que han ido variando en su porcentaje relativo a través del tiempo.

Cosecha manual (Fig. 1.3): la más primitiva, rudimentaria y artesanal forma de cosechar, que se mantiene en algunas zonas de productores pequeños, de agricultura familiar.



Figura 1.3 Cosecha Manual de la caña de azúcar.

Cosecha semi mecanizada (Fig. 1.4): parcialmente mecanizada, corte mecánico y a veces despunte, y acondicionamiento manual y despunte también manual en otros casos; se carga con cargadoras a carros tolvas o cañeros en forma mecánica también.



Figura 1.4 Alce de caña en el corte semi mecanizado.

Cosecha mecanizada (Fig. 1.5): es 100% mecanizada, donde una máquina cosechadora autopropulsada, corta, despunta, troza, limpia y carga a transporte o tolva todo el material que va a ser trasladado al ingenio.



Figura 1.5 Sistema de máquinas para la cosecha mecanizada.

La cosecha totalmente mecanizada cuenta con modernas máquinas que operan con equipos autobasculantes (8 a 12 toneladas) para el trasbordo de la materia prima a unidades de transporte de alta capacidad de carga, traccionados por tractores y/o camiones. La expansión de este sistema estuvo fuertemente asociada a la sustancial reducción del costo de cosecha y su significativo

efecto en la rentabilidad del cultivo. 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, además de contribuir a la mejora de la calidad de la materia prima por una significativa reducción de las materias extrañas, 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).

Aun así 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. Así mismo, este sistema 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 (Galvis, 2010).

En la cosecha de la caña se emplea el sistema con Traslado o Transporte Intermedio para sacar la caña del campo y depositarla en medios de transporte que la llevan al central. Como transporte intermedio utilizan gran variedad de remolques tirado por tractores y autopropulsados de alta flotación y orugas con capacidad de carga entre 8 y 12 t, los recorridos con este transporte son menores a los 5 km; sus tolvas o cajas son auto volcables de descarga lateral a alturas entre 3,5 y 4,5 m. El 95% de la caña va al central en los vagones de ferrocarril desde líneas próximas al frente de corte y el resto en transporte automotor con capacidad de carga hasta de 40 t (Delgado, 2004).

## **1.4 Máquinas que intervienen en la cosecha mecanizada y el transporte intermedio de la caña de azúcar**

### **1.4.1 Cosechadora Case IH 8 000 y 8 800**

Las cosechadoras Case IH Austoft (Fig. 1.6) son, sin dudas, una de las tecnologías más desarrolladas del mundo para la recolección mecanizada de la caña de azúcar. Case IH es referencia mundial en tecnología de punta y productividad en mecanización agrícola. Su línea de productos, presente en más de 160 mercados de los cinco continentes, ofrece soluciones avanzadas de la siembra a la cosecha (Case IH serie A8 000, 2009).

El alto desempeño de las cosechadoras de caña Case IH es resultado de más de 50 años de investigaciones y desarrollo de productos y de millones de dólares invertidos para ofrecerle soluciones avanzadas al sector. Las innovaciones tecnológicas de sus cosechadoras proporcionan elevada productividad y disponibilidad, además de contribuir con la entrega de una materia prima de acuerdo a las especificidades de la industria (Placeres, 2015). Su superestructura de posventa cuenta con una extensa y experimentada red de concesionarios que actúa con contratos de mantenimiento y suministro de repuestos, centro de entrenamiento con unidades móviles para la capacitación de operadores y líderes de punta, además del mayor centro de distribución de América Latina.



Figura 1.6 Cosechadora Case IH 8 800.

Estas cosechadoras poseen un motor de 330 cv y pueden trabajar a una velocidad de hasta 12 km/h, con rendimiento promedio de hasta 70 ton/h, dependiendo de las condiciones del cultivo. La cosechadora de caña de azúcar de Case IH posee transmisión hidrostática independiente y

bombas con flujo variable. Un conjunto despuntador corta las hojas verdes del cañaveral, consiguiendo mantener el producto picado más limpio. El corte de base, compuesto por dos discos con 5 cuchillas cada uno, corta la caña de azúcar que cae en los rodillos alimentadores, llevando el producto para el interior de la máquina. Para ser picada, la caña de azúcar pasa por el picador rotativo que posee cuatro láminas de corte sustituibles. El sistema de extracción hace que la caña de azúcar pase por dos puntos de limpieza antes de llegar al trasbordo. La primera es realizada en el pie del elevador, y la otra antes de salir de la máquina, según Case IH serie A8 000, (2009). El elevador cuenta con un giro de 170 grados con accionamiento hidráulico a través del comando deflector de ajuste de carga. La serie A 8 000 puede ser equipada con ruedas o con orugas que disminuyen la compactación del suelo y facilitan el desplazamiento de la máquina en el cañaveral.

#### **1.4.2 Semirremolques Autobasculantes para el trasbordo de caña dentro del campo**

La actividad denominada trasbordo es realizada por equipamientos que realizan el transporte intermedio desde las cosechadoras de caña hasta los camiones (Fig. 1.7), subdividida en: recibimiento de materia prima de la cosechadora, transporte dentro de los campos y descarga en los camiones con la caña picada. Estos equipos poseen diferentes capacidades, siendo los más comunes 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 (Banchi *et al.*, 2012).



Figura 1.7 Transporte intermedio desde la cosechadora hasta los camiones.

El semirremolque autobasculante de caña picada (Fig. 1.8) fue diseñado para atender las más severas condiciones de trabajo en el trasbordo de caña picada. Con un proyecto de construcción simple, para facilitar las operaciones de mantenimiento y vigas estructurales dimensionadas para

soportar cargas estáticas y dinámicas presenta alta robustez y tecnología destacándose dentro de los demás trasbordos disponibles en el mercado (Trasbordo VTX 10 000., 2010)



Figura 1.8 Semirremolque autobasculante fabricado en Cuba.

Entre las principales ventajas que podemos destacar de este equipo, según, Trasbordo VTX 10 000., (2010) posee:

- Caída de abastecimiento con 4 articulaciones.
- Evita el pisoteo.
- Neumáticos de alta flotación.
- Robustez estructural.
- Capacidad de carga nominal de 12 t.
- Un elevador de carga reforzado.

Según Banchi *et al.* (2012) para efectuar el recibimiento de la materia prima el autobasculante se ubica al lado de la cosechadora en movimiento, en este acompañamiento se recibe la caña picada. Complementada su carga se traslada dentro del campo y se dirige a descargar en los camiones. De este modo, se posiciona al lado del camión y los cilindros hidráulicos suspenden las cestas metálicas y depositan la materia prima en los remolques de los medios de transporte que la harán llegar a la industria. Este es un proceso continuo, así es que a medida que un autobasculante se encuentra descargando en un camión o remolque, otro autobasculante colecta la caña de la cosechadora.

El autobasculante es robusto (Fig. 1.9), su carrocería está dotada de estructuras reforzadas para soportar la alta intensidad de sus operaciones. Estos equipos agrícolas pueden ser traccionados

por tractores de neumáticos o montados en chasis de camiones, complementando su carga. Las dos modalidades son aplicadas por las unidades productoras de modo único o combinadas (Trasbordo VTX 10 000., 2010).

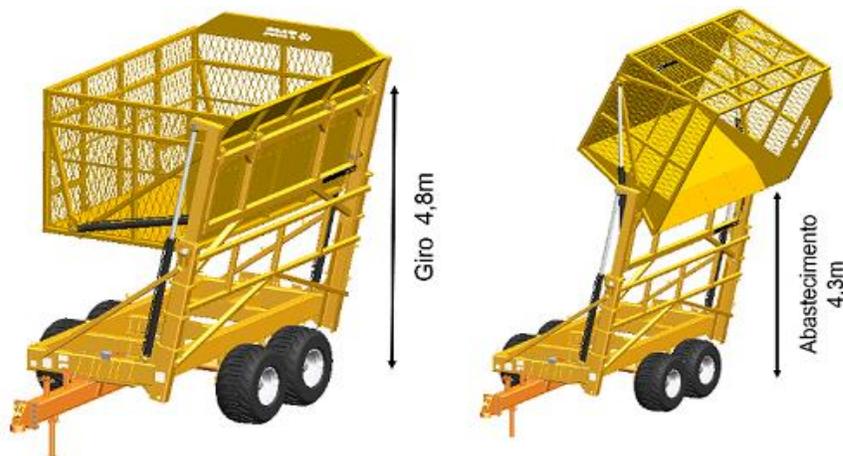


Figura 1.9 Estructura autovolcable del autobasculante TRACAN VTX 10 000.

Los neumáticos de alta flotación que poseen estos equipos autobasculantes posibilitan un mejor desplazamiento pues según lo planteado por Botta *et al.* (2010) la influencia de la presión en el área de contacto rueda/suelo sobre la compactación y la performance de un tractor agrícola es menor. Estos autores concluyen que la baja presión sobre el suelo ejercida por neumáticos anchos produce una reducción de la compactación superficial, una mejora en la tracción y una menor resistencia a la rodadura.

### 1.5 Características de los suelos

En la costa norte de la provincia de Villa Clara predominan los suelos hidromórficos y están ampliamente extendidos, los que han sido durante mucho tiempo intensamente laborados y se encuentran degradados física y químicamente; por lo que presentan problemas de degradación estructural, acidificación por el uso inadecuado de fertilizantes, salinización y compactación por el uso continuo de la mecanización en las cosechas de la caña de azúcar (Rodríguez, 2010).

Aunque la caña de azúcar es un cultivo conservador, las áreas destinadas para ella también necesitan de la protección del suelo, para mantener su fertilidad y conservar la humedad, especialmente en zonas onduladas. No obstante cuando se cultiva en estos, se necesitan medidas tradicionales de conservación, sin las cuales se deterioran con rapidez (Vázquez, 2003).

Al realizarse el estudio de la aptitud física de los suelos y los factores edáficos limitativos para el cultivo de la caña de azúcar, se determinó que una de las causas responsables de la caída de los rendimientos está relacionada con la pérdida de la fertilidad física de los suelos y la compactación es el mayor exponente. Según Cuellar y Santos (2010) los rendimientos del campo declinan en proporción directa con el número de veces que la caña ha sido cortada mecánicamente y que no hay duda que el problema de la compactación del suelo es una realidad y basándose en las cifras obtenidas las pérdidas que pueden esperarse por causa de la compactación del suelo son alarmantes.

En el norte de Villa Clara encontramos suelos de tipo Vertisol que se caracterizan según Hernández *et al.* (2015) por formarse a partir de sedimentos arcillosos ricos en esmectitas, con un espesor considerable, igual o mayores de 60 cm, y están bajo el proceso de Vertisolización, que da lugar a un horizonte principal de diagnóstico Vértico. Las características que distinguen a estos suelos (Fig. 1.10) son el espesor arcilloso, plasticidad, el color oscuro, la formación de bloques prismáticos mayores de 15 cm con caras de deslizamiento, además de la presencia de grietas y micro relieve gilgai.



Figura 1.10 Suelo Vertisol Pélico (Costa Norte de Villa Clara).

Estos suelos, en estado natural presentan serias limitaciones para la producción agrícola debido a que presentan un contenido de arcilla superior al 80% en la mayor parte de su perfil, bajo contenido de materias orgánicas, son suelos extremadamente plásticos con mala estructura y agregación, mal drenaje con una alta capacidad de absorción de agua y una mala distribución del

aire -agua, predominando el agua sobre el aire, quedando ésta en reducida porción del suelo, afectando así el desarrollo de las plantas (Placeres, 2015).

Tipo genético de suelo Vertisol Pélico: Son de perfil AC, ABC, ACg o ABCg. Dentro de este tipo se separan subtipos por el color oscuro, presencia de horizonte mullido, por la humificación, presencia de horizonte cálcico, de la gleyzación, de características estagnicas y la influencia del cultivo en el cambio de las propiedades del suelo (Hernández *et al.*, 2015).

## **1.6 Descripción de los parámetros a evaluar**

### **1.6.1 Humedad del Suelo**

El uso intensivo de maquinaria tiene efectos negativos sobre las propiedades físicas del suelo y en ocasiones provoca daños a los surcos de caña. Cuando la cosecha se realiza en condiciones húmedas los suelos pueden presentar contenidos de humedad cercanos a la saturación disminuyendo la capacidad portante del suelo, lo que provoca el enterramiento de los tractores y vagones, la compactación del suelo y daños directos sobre la cepa de la caña (Cuellar y Santos, 2010).

La humedad del suelo es una variable clave en muchas investigaciones agrícolas, hidrológicas y meteorológicas. 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 (Hernández y Medina, 2012).

Según Camacho y Rodríguez (2007) es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados.

Típicamente, la humedad puede obtenerse 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 los resultados 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).

Con respecto a esto Camacho y Rodríguez (2007) expone que el contenido de agua adecuando para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo; también concluyeron que la profundidad de trabajo aumenta a mayor contenido de humedad del suelo, disminuyendo la resistencia específica.

### **1.6.2 Perfilado del Suelo.**

El perfilado 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 la superficie del 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 adecuado que cumpla con los requisitos agrotecnológicos (Cruz *et al.*, 2015).

Según García (2006), la medición de la geometría de la superficie del suelo es trascendental para entender los procesos a los que se ven sometidos los mismos, de ahí que los mayores retos para llevar a cabo dicha medición residen en las dificultades para evitar la interacción con el terreno, la sensibilidad de los instrumentos de medida en las condiciones de campo y las escalas milimétricas que son necesarias. En este tipo de medición es importante que la tecnología empleada sea fiable y que represente con la mayor veracidad posible dicho parámetro.

### **1.6.3 Densidad Aparente.**

Densidad aparente ( $d_a$ ): es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal y como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinarla, se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelo, y se expresa el resultado en  $\text{kg/m}^3$ .

Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces. Esta se encuentra afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica del suelo. A medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso, disminuye la densidad aparente y viceversa. Internacionalmente la

medición de la densidad aparente se ha orientado a establecer su relación con otras características del suelo y con algunos parámetros biológicos (Salamanca y Sadeghian, 2005).

Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, incluyendo la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo, así como del manejo del mismo. En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable debido a variaciones en la cantidad / calidad del espacio poroso (Alvarado y Forsythe, 2005).

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo (Rubio, 2010). Afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate (Ingaramo *et al.*, 2003).

Este indicador está directamente relacionado con la estructura del suelo, y por lo tanto depende de los mismos factores de control. Este es un dato que se puede obtener con bastante facilidad, y por ello es un parámetro que puede estar disponible para los diferentes horizontes de un suelo. Aunque cabe destacar que el valor de la densidad aparente presenta limitaciones importantes, ya que no permite obtener información relacionada con el tamaño de los huecos, su continuidad o sobre las fuerzas que dieron lugar a una estructura específica. Estos aspectos tienen importancia para predecir el movimiento del agua en el suelo y los riesgos de degradación de los agregados. A pesar de esta condición y con excepción de los suelos con características vérticas, la compactación del suelo a menudo es medida a través de los incrementos de la densidad aparente (Alvarado y Forsythe, 2005).

Según Rubio (2010) la determinación de la densidad aparente es uno de los métodos más prácticos para evaluar la efectividad de las labores culturales y su impacto en la porosidad y en el mejoramiento o deterioro de la estructura, a la vez que puede ser importante para evaluar el grado

de compactación de los suelos. La importancia de una adecuada estimación del valor de esta propiedad del suelo deriva, por un lado, de la necesidad de expresar en términos de volumen (o superficie) las concentraciones de constituyentes del suelo. Uno de los métodos más sencillo y utilizado es el del cilindro metálico. El principal inconveniente que presenta el método del cilindro es la presencia de piedras, por lo que solo puede utilizarse adecuadamente en suelos poco pedregosos que, por lo menos en sistemas forestales, son los menos. Asimismo, cuando se toman muestras superficiales con una barrena que contiene los cilindros se corre el riesgo de compactar el suelo por la mera adherencia del mismo al deslizarse sobre las paredes de los cilindros (Rubio, 2010).

#### **1.6.4 Resistencia a la penetración o Compactación de los suelos.**

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 (Henriquez *et al.*, 2011).

La compactación del suelo es, básicamente, un proceso acumulativo de aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración, por una reducción de la macroporosidad, que causa efectos negativos sobre el desarrollo radicular, disminución de la actividad biológica e insuficiente aporte de oxígeno por mala ventilación del suelo; la tasa de infiltración disminuye y los campos se erosionan o permanecen largo tiempo inundados (González *et al.*, 2004).

Además de aspectos relacionados al tránsito de equipos, el suelo aporta factores de gran importancia por su susceptibilidad a la compactación y su capacidad para soportar esfuerzos según la textura, el contenido inicial de humedad y el esfuerzo de pre compresión, relacionaron matemáticamente estos factores y mostraron que a mayor contenido de arcilla mayor es la capacidad del suelo para soportar esfuerzos. En suelos arcillosos y limosos el contenido de agua es el factor más importante mientras que en suelos arenosos los parámetros mecánicos son menos dependientes de la condición inicial de humedad y más dependientes de la densidad aparente inicial. El cultivo y el diseño de campo también aportan elementos que se interrelacionan con los

equipos y generan factores medibles como el pisoteo directo sobre la cepa que depende de las dimensiones de los equipos, el entresurco, el ancho de los callejones y el ancho de la cepa (Saffih-Hdadi *et al.*, 2009.).

Según Iglesias *et al.* (2009) 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.

Los problemas de compactación de los suelos por la maquinaria agrícola son acuciantes en los países con una agricultura intensiva, adquiriendo importancia primaria por su impacto ambiental negativo. Este propio autor señala que la compactación se ha agudizado en el mundo debido a la intensificación de la mecanización, lo que trae consigo el incremento del tráfico de tractores, cosechadoras, remolques y otros (Cuellar y Santos, 2010).

Según lo planteado por González *et al.* (2004) el tráfico vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos bajo producción, siendo la textura y su contenido de humedad los aspectos más relevantes en relación a la reducción del espacio poroso. En tal sentido, estableció que en suelos arcillosos son mayores los riesgos de compactar el subsuelo a niveles que limiten la producción agrícola como mayor será también la persistencia del daño realizado.

Para cuestiones de estudio en la compactación del suelo Demuner y Cadena (2013) señalan que el penetrómetro es una de las herramientas más utilizadas en estudios de la calidad física determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias de comportamiento para el uso y preparación del terreno.



# APÍTULO II

## MATERIALES Y MÉTODOS

# CAPÍTULO II

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Metodología para la caracterización de la zona objeto de estudio

La investigación se realizó en áreas de una Unidad Básica de producción Cañera (UBPC), en la UEB Héctor Rodríguez de la provincia de Villa Clara. Utilizando la Norma Cubana 34 47 del 2003 para caracterizar la zona de estudio determinando el tipo de suelo predominante según la nueva clasificación de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015), así como la variedad de caña plantada y los rendimientos promedio del cultivo en la zona. Los equipos que participaron en la cosecha de la caña en las zonas evaluadas fueron la cosechadora CASE IH 8 000 y el Autobasculante tirado por el Tractor Maxxum Case IH 150 que se muestran en la Fig. 2.1.



Figura 2.1 Equipos participantes en la cosecha (cosechadora CASE IH 8 000 y el Autobasculante tirado por el Tractor Maxxum Case IH 150).

Las evaluaciones se realizaron de forma aleatoria en los campos 1 y 2 del bloque 21 de la UBPC, ubicando el área de estudio a no menos de 20 m de los bordes de los campos y a partir de la décima cepa desde la guardarraya, evitando las áreas con mayores afectaciones causadas por el viraje y el tráfico de la maquinaria durante la cosecha.

### 2.2 Metodología para la caracterización de las condiciones de campo

La distancia entre hileras, (m); altura (h), ancho de la base ( $A_b$ ) y ancho de la copa del cantero ( $A_c$ ), (Fig. 2.2), se determinaron empleando una cinta métrica con nivel de apreciación 1 mm.

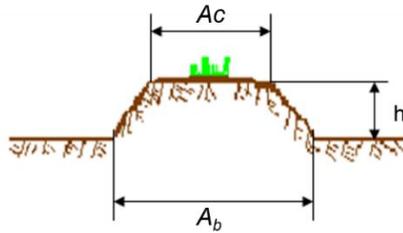


Figura 2.2 principales dimensiones determinadas en el cantero

Humedad en base al suelo seco (hbss), %, se determinó por el método Gravimétrico, tomándose las muestras de suelo (Fig. 2.3) cada 0,1 m hasta los 0,3 m de profundidad en el centro de la hilera. La masa húmeda y seca de las muestras se determinó en el laboratorio con balanza de nivel de apreciación 0,1 g.



Figura 2.3 Recepción de muestras para análisis de humedad en cantero (a) y (b) en campo de caña quemada.

La velocidad de traslación de los equipos durante la cosecha, se determinó en 50 m lineales con cronómetro de 1 s de apreciación, realizando 3 repeticiones.

### 2.3 Metodología para la determinación de la distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque en la franja de seguridad

La distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque en la franja de seguridad (D) (Fig. 2.4) se determinó partiendo de las dimensiones del sistema de rodaje del autobasculante, ancho de vía (B) y ancho del neumático (b), número de hileras que se ubican debajo del semirremolque (n), una en este caso; y los parámetros vinculados a la plantación en cantero, distancia de plantación (M) de 1,60 m y franja de seguridad exterior (Cext) de 0,40 m; se tiene que:

$$D = C_{ext} + \left[ \frac{(B + b) - M(n + 1)}{2} \right] \quad (1)$$

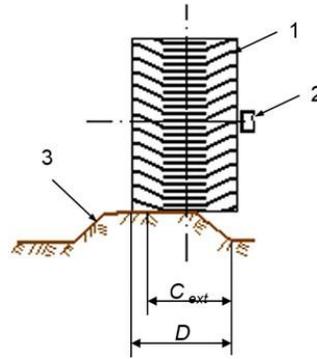


Figura 2.4. Distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque ( $D$ ) en la franja de seguridad ( $C_{ext}$ ).  
1- Neumático, 2-Eje y 3-Superficie acanterada.

## 2.4 Metodología para determinar las variaciones en el microrrelieve del cantero en las áreas de estudio

Perfilado del cantero. Mediante el empleo del nivel de burbuja y el perfilómetro con divisiones en el plano horizontal cada 5 cm y apreciación en la medición en el plano vertical de 1mm (Fig.2.5). Las evaluaciones se realizaron en un ancho total de 1,60 m, es decir de centro a centro de espacio entre hileras (camellón) antes y después del paso del autobasculante.



Figura 2.5. Determinación del perfilado del cantero antes (a) y después (b) de la cosecha mecanizada.

## 2.5 Metodología para determinar la presión media específica en condiciones normales de trabajo

En esta investigación se define como Condiciones Normales de Trabajo (CNT) a aquellas donde el semirremolque pone en contacto con el suelo toda el área de apoyo de los neumáticos, según diseño; y Condiciones Reales (CR) donde ocurre lo contrario, es decir solo una parte de la superficie de apoyo del neumático se pone en contacto con el suelo. El análisis realizado en esta evaluación se realizará considerando el peso total del autobasculante.

La presión media específica para condiciones normales ( $P_n$ ) fue determinada utilizando la siguiente expresión:

$$P_n = \frac{W_n}{A_n} \quad ,\text{kPa} \quad (2)$$

Dónde:  $W_n$ , Peso o carga sobre el neumático (kN) y  $A_n$ , Área de contacto del neumático con el suelo en condiciones normales,  $\text{m}^2$ .

Para la determinación de  $A_n$  se emplearon las expresiones siguientes propuestas por Sánchez (1996):

$$A_n = b_n * l \quad (3)$$

Siendo:  $b_n$  ancho de la huella, m; para condiciones normales de trabajo, la cual está en relación con el ancho constructivo del neumático ( $b_c$ ), se halla como:

$$b_n = b_c * 0.87 \quad (4)$$

El valor de  $l$ , ancho de la huella en condiciones normales de trabajo, m; se determina como:

$$l = 2 * \sqrt{\delta(d_c - \delta)}^2 \quad (5)$$

Dónde:  $\delta$ , Deformación del neumático, m; considerando una deformación del 20% respecto a la altura del neumático ( $h$ ), entonces:

$$\delta = 0.2 * h \quad (6)$$

Hallándose  $h$  por la expresión:

$$h = \frac{d_c - d_i}{2} \quad (7)$$

Siendo:  $d_c$  y  $d_i$ , Diámetros exterior e interior del neumático, m.

La presión media específica para condiciones reales ( $P_r$ ) fue determinada utilizando la misma expresión (2), pero en este caso:

$$P_r = \frac{W_n}{A_r} \quad ,\text{kPa} \quad (8)$$

Dónde: Ar, Área real de contacto del neumático con el suelo, m<sup>2</sup>.

El área real se determinó midiendo el ancho y la longitud de contacto del neumático sobre el cantero in situ, con cinta métrica de apreciación 1 mm.

## 2.6 Metodología para la realización de las evaluaciones de densidad aparente y resistencia a la penetración

Densidad aparente, gcm<sup>-3</sup>: Se determinó por el Método del Cilindro, utilizando cilindros de 50cm<sup>3</sup> (Fig.2.6). Se tomaron muestras de suelo cada 0,1 m y hasta los 0,3 m de profundidad en cada réplica, antes y después del paso del autobasculante. La masa húmeda y seca de las muestras se determinó en el laboratorio con balanza de nivel de apreciación 0,1 g.

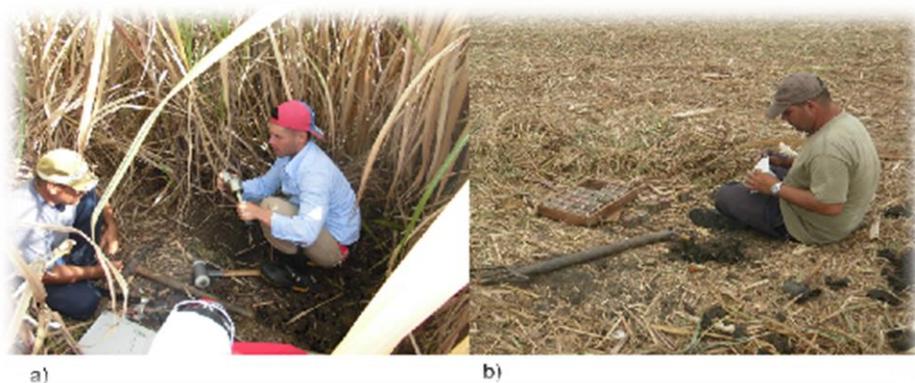


Figura 2.6 Determinación de la densidad aparente antes (a) y después (b) de la cosecha mecanizada.

Resistencia a la penetración, kgcm<sup>-2</sup>: Mediante el empleo de un Penetrógrafo con punta normalizada (ASAE S313, 3 FEB04), precisión de 1 kg, diámetro de la base del cono de 12,83 mm y punta cónica de 30<sup>0</sup> (Fig. 2.7). Se realizó la evaluación hasta los 0,3 m de profundidad, antes y después del paso del autobasculante.

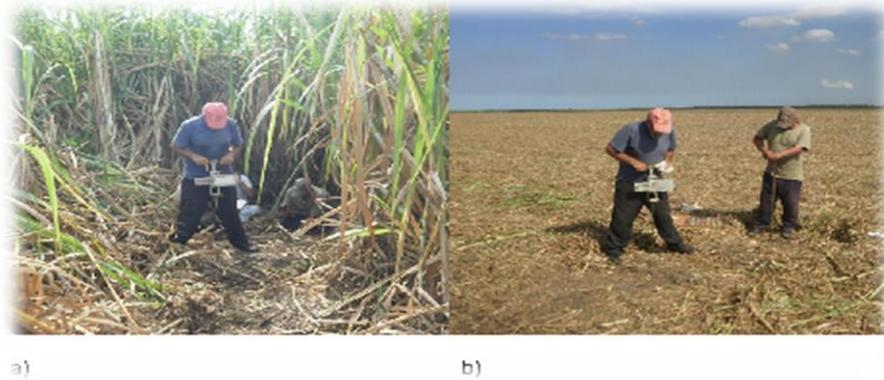


Figura 2.7 Determinación de la resistencia a la penetración antes (a) y después (b) de la cosecha mecanizada, nótese en esta última la toma de muestras para determinar humedad del suelo en el mismo punto del campo.

### 2.7 Metodología para el cálculo del ancho de vía máximo posible para el semirremolque

Se determinó tomando en cuenta la expresión propuesta por Chudakov (1977); además, considerando que la caña de azúcar tiene una zona o franja de seguridad de 0,40 m y está plantada a 1,60 m de distancia entre hileras.

$$B = M(n + 1) - 2C_{ext} - b \quad , \text{ m} \quad (9)$$

Dónde:

M-Distancia entre surcos, m;

n-Número de surcos bajo el semirremolque;

$C_{ext}$  -Zona de protección exterior de la planta, m;

b-Ancho del neumático, m.

### 2.8 Metodología para el procesamiento de los datos estadísticos obtenidos en los diferentes experimentos

El tamaño de la muestra de las variables en estudio y los datos obtenidos en los diferentes experimentos se procesó mediante el empleo del paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1. Realizando un análisis de regresión para determinar el modelo de mejor ajuste en la descripción de la deformación de la altura del cantero (DAC) en función de la humedad del suelo (H) para la profundidad evaluada (0-30 cm), considerando a DAC como variable dependiente y la humedad como variable independiente.

Se utilizó la prueba t-Students para muestras independientes como criterio para estimar las diferencias entre las medias muestrales, a un 95% de probabilidad, en la evaluación de la resistencia a la penetración y la densidad aparente antes y después del paso del autobasculante sobre el cantero.



# APÍTULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

# CAPITULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Caracterización de la zona objeto de estudio

Las áreas seleccionadas para realizar la investigación corresponden a la UBPC Tito González, perteneciente a la UEB Héctor Rodríguez en el municipio Sagua la Grande, provincia Villa Clara, en el periodo comprendido entre los meses de enero a marzo de 2015. El área se encontraba plantada en cantero con una cepa de primer retoño, rendimiento estimado  $50 \text{ tha}^{-1}$  de la variedad C 89-250. El suelo presente en la zona de estudio se encuentra clasificado como Vertisol Pélico típico, en la tabla 3.1 se muestran algunas propiedades físicas de estos suelos del norte de Villa Clara.

Tabla 3.1 Algunas propiedades físicas de los suelos.

Profundidad, cm	Arcilla, %	DA, $\text{gcm}^{-3}$	PT, %	CC,%hbss	Plasticidad,%hbss		
					LSP	LIP	IP
0-24	81.1	1.04	61.2	54.1	74.1	37.9	36.1
25-50	82.0	1.09	60.5	55.9	97.0	35.5	61.6

**Leyenda:** DA densidad aparente; PT, Porosidad total; CC, Capacidad de campo; LIP, Límite inferior de plasticidad; LSP, Límite superior de plasticidad; IP, Índice de plasticidad.

Se utilizó la variante de cosecha mecanizada y el sistema de transporte de trasbordo de caña dentro del campo, utilizando los equipos que se muestran en la Tabla 3.2 con sus principales características.

Tabla 3.2. Algunas características técnicas del equipamiento utilizado en la cosecha.

Equipo	Marca y Modelo	Peso total, kg	Medidas de los neumáticos	
			Delantero	Trasero
Combinada	CASE IH	15 000	400/60-5.5	23.1-26

Autopropulsada	8000			
Tractor	Maxxum CASE IH 150	10 000 <sup>+</sup>	16.9-28	24.5-32
Autobasculante	-	16 000 <sup>*</sup>	600/50-22.5	

**Leyenda:** + Peso bruto máximo admitido según especificaciones del fabricante.

\* Peso total cargado del autobasculante según estimaciones.

Dado que el autobasculante es el único equipo de los antes señalados que el sistema de rodaje trafica sobre el cantero, la zona donde se realizaron las evaluaciones se ubica sobre la hilera de caña. En la Fig. 3.1 se muestran las dimensiones principales del sistema de rodaje del autobasculante.

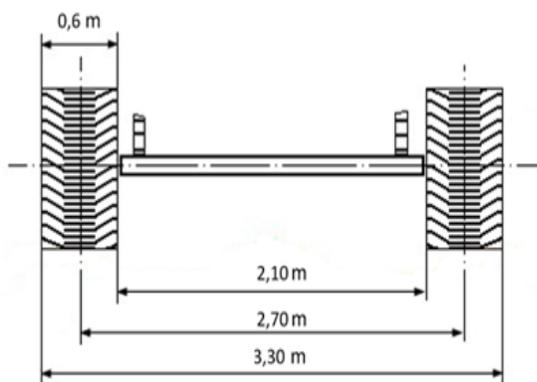


Figura 3.1 Principales dimensiones del sistema de rodaje del autobasculante.

### 3.2 Caracterización de las condiciones de campo

Los valores estadísticos media y desviación estándar de las principales características vinculadas al cantero, que describen las condiciones de investigación se muestran en la Tabla 3.3. Se debe destacar que la distancia entre hileras se corresponde con lo recomendado en los Instructivos para este cultivo (INICA, 2012); (Gutiérrez *et al.*, 2013) a 1,60 m; no así en el caso de la altura del cantero que se halló inferior al valor mínimo recomendado de 20 cm, según Gutiérrez *et al.* (2013), pero similar a lo obtenido en otras investigaciones por Betancourt *et al.* (2011). El ancho de la base y de la copa del cantero se corresponden con los valores reportado para esas condiciones (Betancourt *et al.*, 2011). Por lo antes expuesto se concluye que las condiciones de investigación se definen como típicas.

Tabla 3.3 Principales características vinculadas al cantero.

Distancia entre hileras*, m	Altura del cantero, cm	Ancho de la base del cantero	Ancho de la copa del cantero, cm
1,60±0,02	16,29±0,94	0,86±0,03	47,43±6,40

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

Por otra parte, la velocidad de traslación de los equipos durante la cosecha fue de  $5,5 \text{ kmh}^{-1}$ .

### 3.3 Resultado del cálculo de la distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque sobre el cantero

La distancia promedio que sobrepasa el neumático del semirremolque en la franja de seguridad (D) es de 45 cm, con una desviación estándar de  $\pm 25 \text{ cm}$ ; es decir, en superficies acanteradas ocurre lo siguiente: si el equipo se dispone de forma simétrica D es aproximadamente igual a 45 cm, el autobasculante se sitúa como en la Fig. 3.2a; si se coloca asimétricamente, en uno de los rodajes D es mayor o igual a 20 cm e inferior a 45 cm y en el otro será mayor a este último valor (Fig. 3.3b), llegando hasta alrededor de los 70 cm. Es decir que se colocaría el neumático completamente sobre la superficie del cantero. Esto conlleva a que se afecten seriamente las cepas, así como su desarrollo próximo, demostrando la importancia de realizar un seguimiento posterior a la cosecha para evaluar los posibles daños ocasionados.

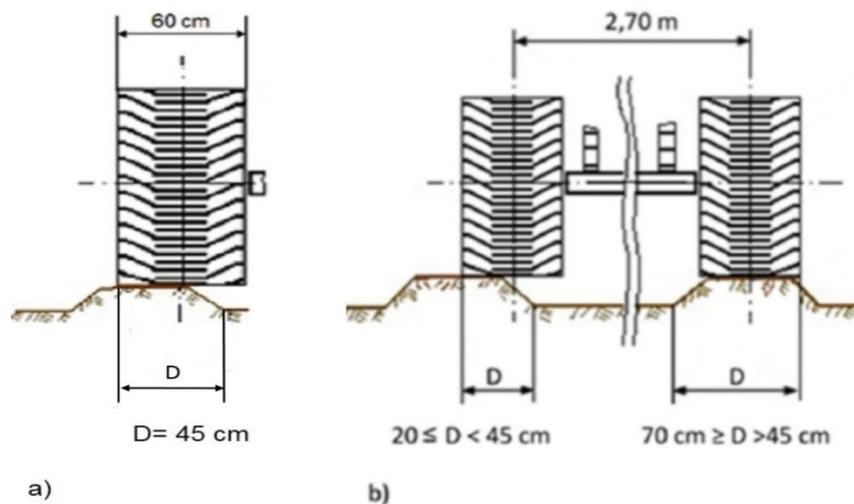


Figura 3.3 Distancia que sobrepasa el neumático del semirremolque en la franja de seguridad (D). a) En posición simétrica y b) Situado asimétricamente.

### 3.4 Resultados de la determinación de las variaciones del microrrelieve del cantero

En la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en Cuba, el sistema de rodaje de la cosechadora y el equipo de transporte con semirremolque, ya sea tractor o camión, transita dos veces por la zona de tráfico, los espacios entre hileras, aspecto que condiciona la deformación del microrrelieve del suelo en dicha área, alejado de la cepa de caña, representado en ambos extremos de la curva DC (Después de la Cosecha) por  $Z_t$ , (Fig. 3.4).

En el caso particular del sistema de trasbordo con el autobasculante objeto de investigación, que trafica sobre el cantero, los cambios de microrrelieve se originan dentro de la franja de seguridad del cultivo, es decir sobre la cepa de caña, tal y como se demuestra en la Fig.3.4, representado por  $Z_c$ , donde la deformación como promedio es de 4 a 6 cm en la copa del cantero, representando una disminución de su altura entre 25 y 35%.

Otro aspecto importante a señalar que se deriva de lo presentado en la Fig.3.4 es que con el sistema de cosecha que emplea el autobasculante se transita por el 100% del área cañera, a diferencia de que con los sistemas utilizados en el norte de Villa Clara solo se trafica entre el 40 y el 56% del área por respetar en mayor o menor medida la franja de seguridad del cultivo.

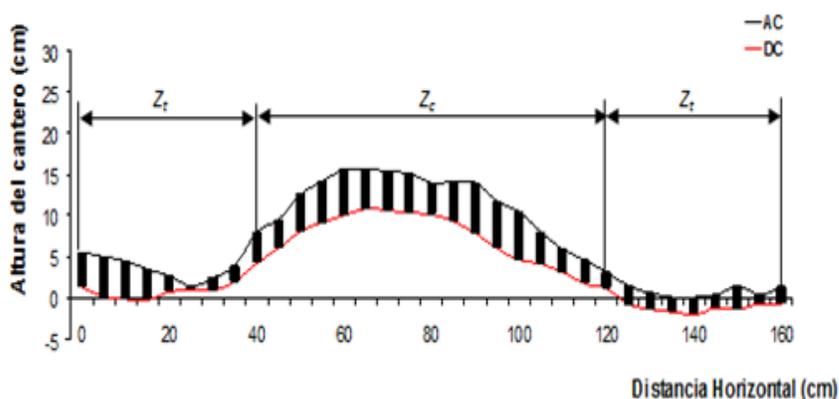


Figura 3.4 Variación en el microrrelieve del suelo por la cosecha mecanizada con trasbordo de caña. Las barras verticales indican la reducción del perfil en la zona de tráfico ( $Z_t$ ) y en ambas franjas de seguridad ( $Z_c$ ).

### 3.5 Determinación de la presión media específica para las condiciones normales de trabajo

El grado de disminución o reducción de la altura del cantero por el tráfico del autobasculante está relacionado con varios factores, entre ellos está el peso del autobasculante en el momento del tráfico, la velocidad de traslación, la ubicación del semirremolque sobre el cantero y la humedad del suelo. Este último factor en particular, ejerce gran influencia sobre la deformación del cantero tal y como se observa en la Fig. 3.5, donde con el incremento de la humedad del suelo desde 39 a 51 %hbss la disminución de la altura del cantero (DAC) va desde alrededor de 3 cm hasta los 11 cm, respectivamente; es decir llegando a reducir la altura del cantero a valores superiores al 65% en superficies acanteradas con alturas similares a las reportadas en este trabajo.

Este resultado se debe, por una parte, a que los suelos arcillosos pesados como los del norte de Villa Clara disminuyen la resistencia a la compresión con el aumento de la humedad del suelo, por lo que con mayor humedad, según el intervalo evaluado, se deforma más el cantero; por la otra, al tráfico sobre el montículo de suelo, sin apoyar uniformemente toda el área de contacto del sistema de rodaje sobre la superficie del terreno, incrementando la presión sobre el suelo y por consiguiente su deformación.

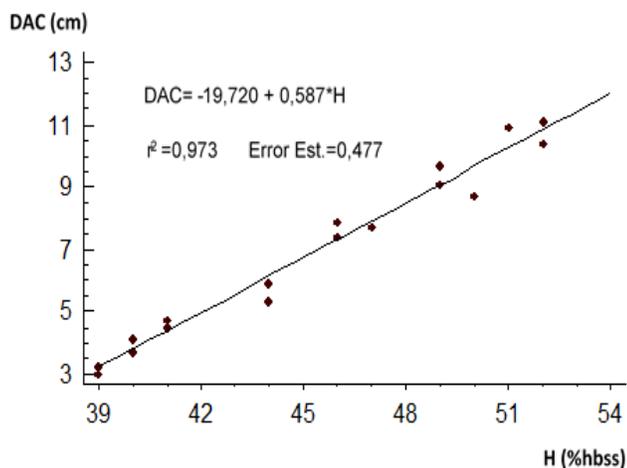


Figura 3.5 Deformación de la altura del cantero (DAC) en función de la humedad del suelo (H).

El empleo del autobasculante en superficies acanteradas, al no respetar la zona de protección del cultivo desaprovecha las bondades del sistema de rodaje que posee, cuatro neumáticos con cubierta extra ancha diseñados para reducir las presiones específicas sobre el suelo y por ende la compactación; más bien en condiciones extremas, con área inferior a 0,27 m<sup>2</sup> en uno de los canteros sobre los cuales transita, ejerce presiones similares al promedio de ambos puentes

(delanteros y traseros) de los equipos que no están dotados para transitar dentro de los campos cañeros y que hoy se utilizan en el transporte cañero en Cuba (Fig. 3.6), como el Camión Zil 130, el Remolque RC 10 (de capacidad 10 t, tirado por el camión KAMAZ 53212) y el Remolque RR 6 (de capacidad 6 t, tirado por el Zil 130), con peso promedio entre ambos ejes, de 305 kPa, 370 kPa y 309 kPa; respectivamente.

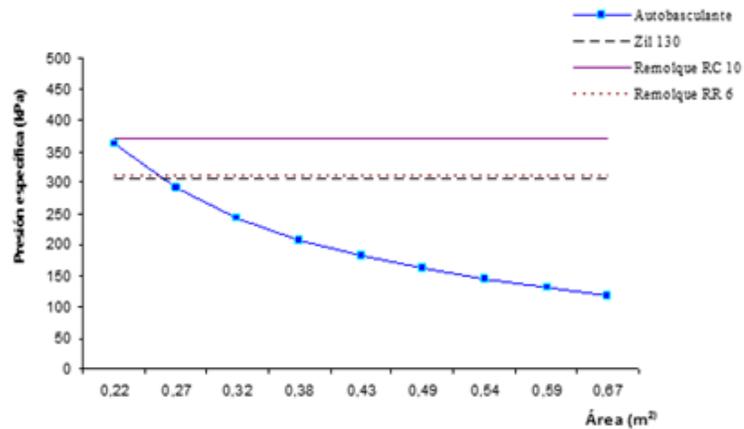


Figura 3.6 Presión específica sobre uno de los surcos en función del área de apoyo de los neumáticos del autobasculante y la ejercida en los entre surcos por los medios de transporte.

Cuando la disposición del autobasculante sobre el cantero es asimétrica ( $D < 45$  cm) la presión ejercida es tal que forma crestas en la superficie en una pasada (Fig. 3.7), con grandes deformaciones en el cantero. Durante el segundo pase las mismas pueden desaparecer o formarse en el lado opuesto al surgido inicialmente.



Figura 3.7. Formación de crestas por el tráfico del autobasculante sobre el cantero en una pasada. a) Sobre superficie cubierta de residuos y b) Restos de cosecha retirado.

Lo planteado hasta aquí puede corroborarse con lo mostrado en la Fig. 3.8, donde se observa que una vez pasada la cosechadora el cantero se encuentra bien definido (Fig. 3.8a), adecuadamente conformado; pero con un pase del autobasculante comienza a deformarse (Fig. 3.8b), alcanzando su máxima deformación después del segundo pase (Fig. 3.8c), Obsérvese como se pierde el perfil del cantero.

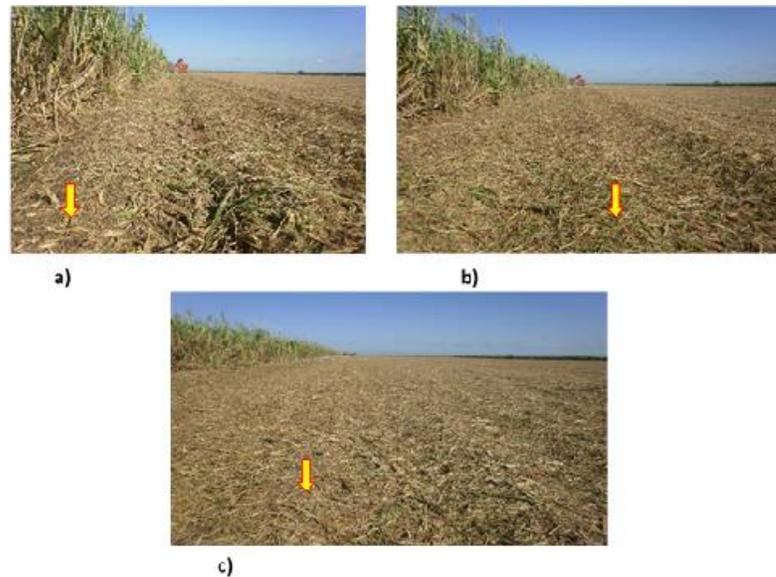


Figura 3.8 Transición del perfil del cantero por la cosecha mecanizada. a) Inmediato al paso de la cosechadora, b) después de un pase del autobasculante y c) Posterior a la cosecha.

### **3.6 Resultado de la realización de las evaluaciones de densidad aparente y resistencia a la penetración**

El tráfico del autobasculante sobre el cantero no solamente deforma el perfil del montículo que alberga la cepa de caña, sino también origina un aumento significativo de la densidad aparente ( $D_a$ ) en el horizonte superficial (Fig. 3.9).

La mayor compactación del suelo después del tráfico del autobasculante se encontró en el perfil de 0 a 10 cm con humedad promedio de 40% hbss en los primeros 30 cm, incrementándose la densidad en un 7% ( $0,07 \text{ gcm}^{-3}$ ). Cuanto se transita a humedad de 51% hbss la compactación del suelo llega hasta los 20 cm de profundidad, con incrementos de la densidad aparente ( $D_a$ ) de 0-10 cm similares a los antes expuestos y algo inferiores en la capa de 10 a 20 cm.

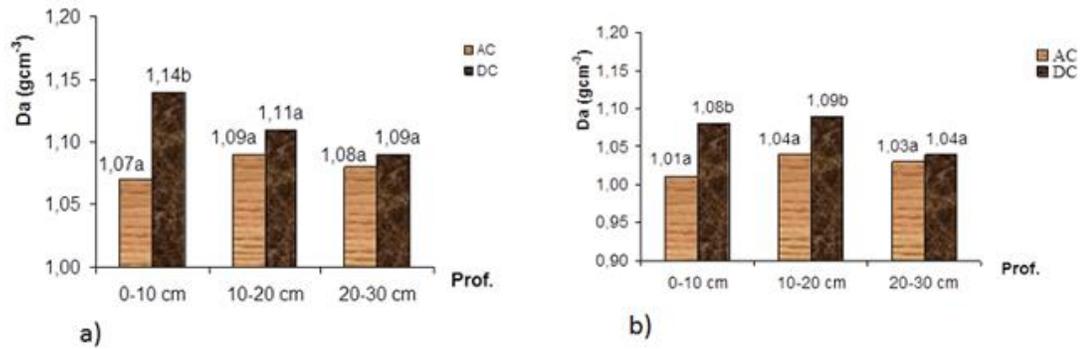


Figura 3.9. Variación de la densidad aparente ( $D_a$ ) en función de la profundidad, para humedad del suelo en el perfil de 0-30 cm con 40% hbss (a) y 51% hbss (b).

**Leyenda:** AC-Antes de la cosecha; DC-Después de la cosecha o del paso del autobasculante sobre el cantero; EE-Error estándar, Prof.-Profundidad.

Los resultados antes mostrados se deben a que la compactación de estos suelos aumenta con el incremento de humedad hasta un valor límite, hasta ese punto la reducción de la tensión capilar y el esfuerzo de compactación o reordenamiento de las partículas se hace más efectivo, es decir el agua actúa como un “lubricante”, según lo citado por Rodríguez (1999). Pasado de ese contenido de humedad comienza a ocurrir lo contrario pues el espacio vacío se reduce y ya en humedades próximas a la de saturación, para que haya compactación debe haber drenaje del agua contenida en el suelo, fenómeno con efectos muy limitado por lo relativamente breve que resultan los esfuerzos provocados por el paso de un vehículo. Por otra parte, al aumentar el contenido de humedad se reduce la resistencia a la compresión que ofrece el suelo como antes se expresó, lo cual explica el incremento significativo de densidad aparente ( $D_a$ ) hasta los 20 cm en 51% hbss.

La resistencia a la penetración ( $R_p$ ) se incrementa significativamente como promedio en  $9 \text{ kgcm}^{-2}$  (883 kPa) en los primeros 10 cm del suelo después del paso del autobasculante sobre el cantero a humedad de 40% hbss (Tabla 3.4). En 51% hbss la  $R_p$  fue significativa hasta los 20 cm, con menor incremento.

Los resultados de la evaluación de la resistencia a la penetración en la hilera de caña se manifestaron de forma similar que la densidad aparente del suelo, aspecto que está condicionado por la estrecha relación existente entre ambos indicadores. En este sentido, según Nacci y Pla

(1992) y Rodríguez y Valencia (2012), la resistencia es la sumatoria de varias propiedades físicas y físico-mecánicas del suelo como la densidad aparente, la humedad y la resistencia al corte.

En Colombia, Rodríguez y Valencia (2012) también reportaron tráfico sobre el surco de caña en suelos de textura media y fina por el empleo de medios de transporte con ancho de vía no adecuados a la distancia de plantación, llegando a pisar hasta el 66% de las cepas con un ancho entre 0,4 y 0,5 m, incrementándose la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo en dicha zona.

Por otra parte, según Braunack y Mcgarry (2006) la diferencia entre la distancia entre hilera y la trocha de los equipos es una causa potencial para que ocurra compactación sobre el surco, aspecto que se corrobora con los resultados de esta investigación. Lo antes expuesto puede ser mejor apreciado si se observa lo presentado en la Fig. 3.10.

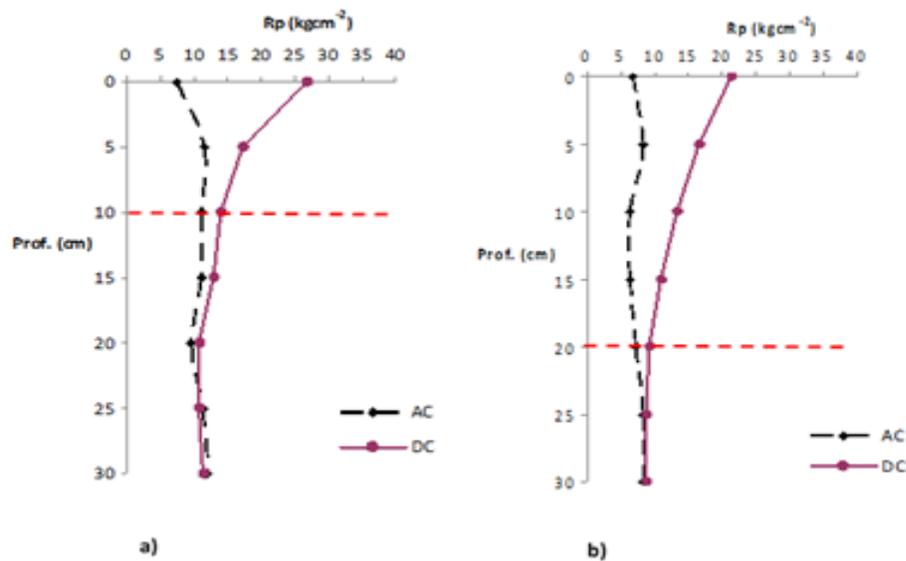


Figura 3.10. Variación de la resistencia a la penetración ( $R_p$ ) en función de la profundidad, para diferentes contenidos de humedad del suelo en el perfil de 0-30 cm. a) 40 %hbss; b) 51 %hbss.

**Leyenda:** AC- Antes de la cosecha, DC- Después de la cosecha, (---) profundidad, desde la superficie, a partir de la cual la resistencia a la penetración ( $R_p$ ), después del paso del semirremolque sobre el cantero mostró diferencias significativas respecto a antes del tráfico de este equipo.

Si se tiene en cuenta que el 90% del desarrollo radicular de la caña de azúcar plantada en cantero se encuentra entre 35 y 40 cm a ambos lados de la cepa y en profundidad, entonces el empleo del autobasculante compacta justo en la zona donde se desarrollan las raíces de la caña. Cabe destacar que en dicha zona no se realizan operaciones de cultivo pos cosecha.

El anexo 1 muestra la tabla con los valores de las evaluaciones realizadas a profundidades de 0-30 cm para los valores de humedad 40% y 51% hbss.

En el anexo 2 se presenta la superficie del terreno después de diferentes sistemas de cosecha en suelos arcillosos pesados.

### 3.7 Resultados del cálculo del ancho de vía máximo posible para el semirremolque

Al tomar en cuenta que 1,60 m es la distancia establecida para la plantación de la caña de azúcar, con una zona de protección de 0,40 m, manteniendo los mismos neumáticos del sistema de rodaje, 1,80 m es el ancho de vía recomendado para el semirremolque autobasculante (Fig. 3.11). Se debe señalar que esta propuesta va dirigida solamente para cumplir uno de los requerimientos agrotécnicos de este tipo de equipo, su capacidad de paso o traficabilidad entre surcos.

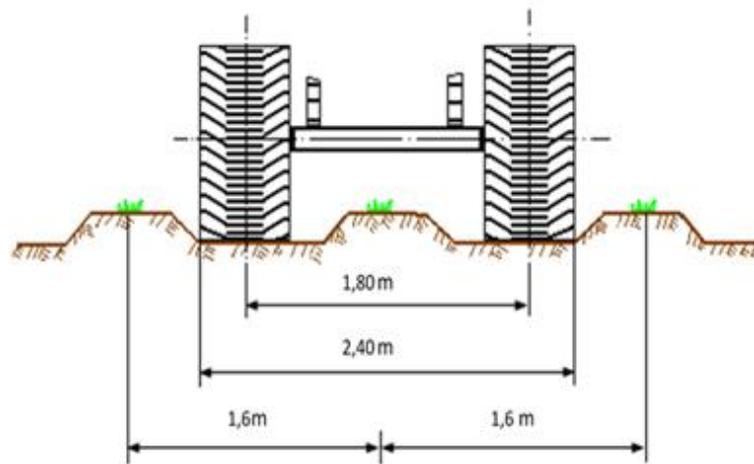


Figura 3.11 Propuesta de ancho de vía para el sistema de rodaje del autobasculante objeto de investigación.



# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

1. El autobasculante objeto de investigación no cumple con los requerimientos agrotécnicos para el trasbordo de caña dentro del campo en los suelos arcillosos pesados con superficies acanteradas.
2. El neumático del autobasculante sobrepasa la zona de protección de las plantas, ubicándose a 45 cm tomando como referencia el extremo de la base del cantero, con una desviación de  $\pm 25$  cm, lo que conlleva a que se trafique sobre el 100% del área.
3. El autobasculante aplica presiones específicas superiores a 300 kPa en uno de los canteros sobre los cuales transita con lo cual disminuye la altura del cantero hasta en 11 cm (65%).
4. El autobasculante compacta el suelo en la zona donde se desarrolla el 90% de las raíces de la caña, al incrementar significativamente la densidad aparente y la resistencia a la penetración hasta 20 cm del horizonte superficial, en humedades próximas al 51% hbss.
5. La propuesta de ancho de vía recomendada para el tren de rodaje del autobasculante es de 1,80 cm, lo cual se corresponde con los requerimientos necesarios para su tráfico en las condiciones de alta humedad.

# ECOMENDACIONES

## **RECOMENDACIONES**

1. Modificar el ancho de vía del semirremolque autobasculante a 1,80 m, manteniéndole su sistema de rodaje, para su empleo en el trasbordo de caña dentro del campo, en los suelos arcillosos pesados con superficies acanteradas.
2. Realizar un seguimiento a los campos de caña de azúcar donde se utilizó el autobasculante con el fin de observar el desarrollo de las cepas y los posibles daños ocasionados a las mismas.

# EFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, A.; W. FORSYTHE: "Variación de la densidad aparente en ordenes de suelos de Costa Rica", *Agronomía Costarricense*: 2005.
- BANCHI, A.; J. LÓPEZ; C. XAVIER; M. MARTINS: "Análisis de operaciones de trasbordo de caña picada.", *Revista AgriMotor*: 6, 2012.
- BETANCOURT, Y.: "Evaluación agrotécnica del semirremolque autobasculante de fabricación cubana en el trasbordo de caña de azúcar en suelos arcillosos pesados con superficies acanterada. ". En, pp., 2014.
- BETANCOURT, Y.; C. IGLESIAS; M. RODRÍGUEZ; E. MARTÍNEZ: "Caracterización de la superficie acanterada para el diseño de implementos que participen en la preparación localizada de suelo en caña de azúcar. ", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, No. 20: 2011.
- BOTTA, G.; D. JORAJURIA; L. DRAGHI: "El esfuerzo de rodadura en función de diferentes contrapesos y tamaños de neumáticos": 2010.
- BRAUNACK, M.; D. MCGARRY: "Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia", *Soil & Tillage Research*, 86: 86-102, 2006.
- CAMACHO, J.; G. RODRÍGUEZ: "Evaluación de los implementos de labranza a diferentes velocidades de operaciones y contenidos de agua del suelo.", *Agricultura Técnica de Chile*: 2007.
- Case IH serie A8 000. Ed.*, 2009.
- 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.
- CUELLAR, I.; J. SANTOS: "Apuntes sobre la compactación del suelo". En, pp., 2010.
- CHUDAKOV, D.: *Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles.*, Ed., 1977.
- DELGADO, J. Á.: *Remodelación del puente de rodaje del remolque autobasculante para el tiro de caña en condiciones de elevada humedad del suelo*, Tesis Departamento de Mecanización de la Producción Agropecuaria, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Villa Clara, Cuba, 2004.
- DEMUNER, G.; M. CADENA: "Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 22: pp. 68-71, 2013.
- GALVIS, D. E.: "Los sistemas de corte mecanizados de la caña de azúcar. Equipos de cosecha.", *Revista Tecnica*, No. 26: 2010.
- GARCÍA, R.: *Desarrollo de una metodología para la medición de la rugosidad superficial del suelo*, Tesis (Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias en la especialidad Suelo), Departamento de Edafología, Universidad Politécnica De Madrid, 2006.
- GONZÁLEZ, M.: *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes.*, Ed. Bildner Center for Western Hemisphere Studies, 2015.
- GONZÁLEZ, O.; M. HERRERA; M. RODRÍGUEZ; E. LÓPEZ; M. SANTOS; J. Á. DELGADO: "Semirremolque autobasculante con neumáticos de alta flotación para el transporte de la caña de azúcar.": 2004.

- GUTIÉRREZ, A.; M. F. R.; G. I.; P. E.; B. Y.; G. J. R.; R. I.; G. H.; A. O.; M. M.; G. R.; G. S.: "Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de la caña de azúcar en los suelos arcillosos pesados con regadío superficial", *Revista Cuba & Caña*, No. 1: 2013.
- HENRIQUEZ, C.; O. ORTIZ; K. LARGAESPADA; P. PORTUGUEZ; M. VARGAS; P. VILLALOBOS; D. GOMEZ: "Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero", *Agronomía Costarricense*: 2011.
- HERNÁNDEZ, A.; J. M. PÉREZ; D. BOSCH; N. CASTRO. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015.*, Ed., 2015.
- HERNÁNDEZ, H.; F. J. HERNÁNDEZ: "La caña de azúcar en su contexto histórico, Variedades de caña de azúcar", en *EL SECTOR CAÑERO EN NAYARIT DESDE UNA PERSPECTIVA ORGANIZACIONAL Y AMBIENTAL*, pp., 2013.
- HERNÁNDEZ, Y.; H. MEDINA: "Estimación de la humedad del suelo mediante técnicas de asimilación de datos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21: 30-35, 2012.
- IGLESIAS, C.; O. GONZÁLEZ; M. HERRERA: "Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18: 2009.
- INGARAMO, O.; A. PAZ; M. DUGO: "Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreo del suelo, en el NO de la Península Ibérica.", *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*: 2003.
- INICA: *Instructivo técnico para el manejo de la caña de azúcar*. INICA (ed.). pp. 179. 2012.
- NACCI, S.; I. PLA: "Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país.", *Revista Agronomía Tropical, Maracay Venezuela*: p. 115-132, 1992.
- NOVA, A.: "Importancia económica y estratégica de la agroindustria cañera cubana.", en *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes.*, pp., 2015.
- PARAQUAT: *Centro de Información del Paraquat*, [en línea] Disponible en: <http://paraquat.com/spanish/banco-de-conocimientos/producci%C3%B3n-y-protecci%C3%B3n-de-cultivos/cultivo-de-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar>[Consulta].2015
- 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 Departamento de Ingeniería Agrícola, Marta Abreu de las Villas, Villa Clara, Cuba, 2015.
- PRAVEEN, V.; E. VERED: [en línea] Disponible en: <http://www.sugarcane crops.com/s/introduction/>[Consulta].2015
- RODRÍGUEZ, A.: *Selección de indicadores de la calidad de los suelos hidromórficos de la costa norte de Villa Clara.*, Tesis (Maestría), Departamento de Ingeniería agrícola, Marta Abreu de las Villas, Vila Clara, Cuba, 2010.
- RODRÍGUEZ, L. A.; J. VALENCIA: "Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16: p.1128-1136, 2012.
- RODRÍGUEZ, M.: *Fundamentación del uso de rodajes 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 Ciencias Técnicas, La Habana, Cuba, 1999.
- RODRÍGUEZ, P.; J. PÉREZ; E. GONZÁLEZ: "Sistemas de cosecha de la caña de azúcar.": 2002.
- RODRÍGUEZ, P. M.: "Sistemas de cosecha de la caña de azúcar: Ventajas y desventajas": 2011.

- RUBIO, A.: *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales.*, Tesis escuela Universitaria de Ingeniería técnica agrícola de Sevilla., 2010.
- SAFFIH-HDADI, K.; G. DEFOSSEZ; Y. RICHARD; J. C. CUI; A. M. TANG; A. CHAPLAIN: "A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density.", *Soil & Tillage Research*, 105: p.96-103, 2009.
- SALAMANCA, A.; S. SADEGHIAN: "La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana.", *Revista Cenicafé*: 2005.
- SÁNCHEZ, V.: *Dinámica y mecánica de Suelos.* , Ed., 1996.
- SERVER, P.; R. DIÉGUEZ; J. C. CALLEJAS: "Distribución del transporte para el tiro de la caña de azúcar aplicando la técnica de investigación de operaciones", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Nro. 11: pp. 9-12, 2002.
- Trasbordo VTX 10 000.* pp. 2010.
- VÁZQUEZ, L.: *Estudios sobre la efectividad de la dolomita en el mejoramiento de los suelos oscuros plásticos.*, Tesis Departamento de Agronomía, Marta Abreu e las Villas, Villa Clara Cuba, 2003.
- VICINI, L. E.; C. L. VICINI. *Mecanización del Cultivo de Caña de Azúcar; una mirada desde 1949 hasta 2050.*, Ed., 2010.



## ANEXOS

### Anexo 1

Tabla 1. Resistencia a la penetración en el perfil de 0 a 30 cm para diferentes contenidos de humedad del suelo.

Humedad del suelo, hbss	Profundidad, cm	Condición	Media, kgcm <sup>-2</sup>	Error estándar	Valor de P
40%	0	AC	7,5	±0,791	1,37E-02
		DC	26,8	±1,901	
	5	AC	11,5	±3,354	0,013
		DC	17,3	±0,866	
	10	AC	11,1	±0,748	0,045
		DC	14	±0,975	
	15	AC	11	±0,736	0,303
		DC	12,8	±1,310	
	20	AC	9,7	±1,124	0,531
		DC	10,6	±0,927	
	25	AC	11,3	±1,051	0,684
		DC	10,7	±0,800	
30	AC	12	±1,514	0,689	
	DC	11,4	±0,485		
51%	0	AC	6,7	±0,940	5,00E-05
		DC	21,2	±1,590	
	5	AC	8,2	±1,210	1,17E-03
		DC	16,6	±1,208	
	10	AC	6,2	±0,561	1,90E-04
		DC	13,3	±0,943	
	15	AC	6,2	±0,561	1,60E-04
		DC	10,8	±0,406	
	20	AC	7,1	±0,579	0,014
		DC	9,2	±0,339	
	25	AC	8,3	±0,831	0,686
		DC	8,7	±0,464	
30	AC	8,2	±0,752	0,609	
	DC	8,7	±0,561		

**Leyenda:** AC-Antes de la cosecha; DC-Después de la cosecha o del paso del autobasculante.

**Observación:** La profundidad cero significa la resistencia inicial, en la superficie, que ofrece el suelo a la penetración de la punta del Penetrógrafo.

## Anexo 2

Imágenes de un área donde cortaron dos sistemas de cosecha diferentes, Figura 3 UBPC Gregorio Pedroso, UEB Perucho Figueredo. a) Superficie del campo después de la cosecha mecanizada sin emplear el semirremolque (Combinadas KTP -2M más MTZ-80 tirando el remolque RR 6 o con el tránsito del Zil 130 por el campo) y b) empleando el semirremolque (CASE 8000 más el BELARUS 1523 tirando el semirremolque autobasculante). Obsérvese la pérdida del cantero debido al tráfico del autobasculante sobre la hilera de caña. En la Figura 4 c) y d) se muestran un área (UBPC Playa las coloradas, UEB Héctor Rodríguez) donde participaron los mismos sistemas pero en caña quemada.

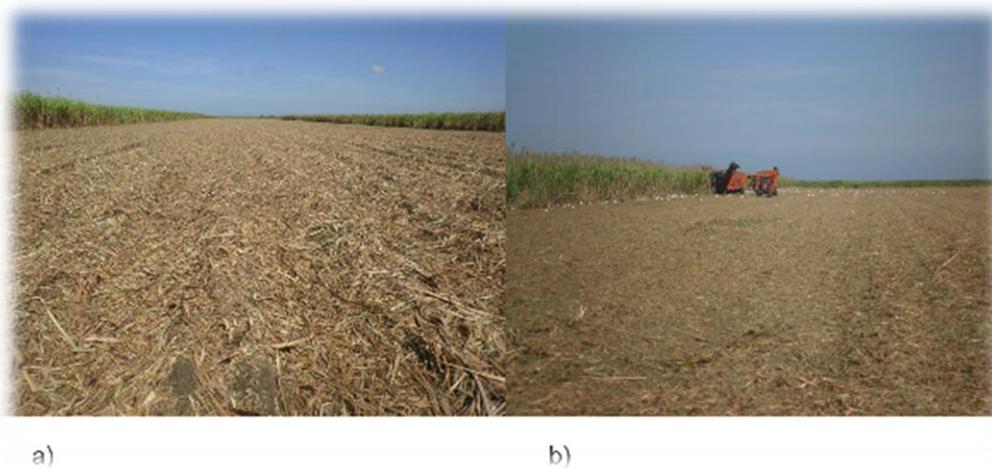


Figura 3 Cosecha en áreas de la UBPC Gregorio Pedroso, UEB Perucho Figueredo



c)

d)

Figura 4 Área de caña quemada, UBPC Playa las coloradas, UEB Héctor Rodríguez)