

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS PARA LA
MECANIZACIÓN DEL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR, CON ENFOQUE
AGROECOLÓGICO Y DE SOSTENIBILIDAD.**

Autores: Dr C. José Antonio González Marrero *

MSc. Luis González **

MSc. Alexis Pérez **

* Universidad Las Tunas (Cuba)

**Instituto Universitario de Tecnología de Yaracuy. (Venezuela)

40

RESUMEN

En el trabajo se propone un sistema de máquina e implementos para la mecanización de la caña de azúcar con un enfoque agroecológico y de sostenibilidad que garanticen la disminución o prevención de los efectos negativos que produce el uso de la maquinaria sobre el medio ambiente y en especial sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Se fundamenta desde el punto de vista medioambiental y de sostenibilidad, las máquinas e implementos que se proponen para la mecanización de los principales procesos tecnológicos que incluye el cultivo, así como aspectos agrotécnicos y tecnológicos explotativos que se deben cumplir para minimizar o prevenir las afectaciones al suelo y al cultivo y lograr la máxima eficiencia económica y energética posible en el uso de la maquinaria agrícola.

Palabras claves: Mecanización, agroecología, sostenibilidad, caña de azúcar, medio ambiente, energía.

INTRODUCCIÓN

En la época de la colonia en América la explotación del cultivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) comienza de una forma artesanal. Los procesos tecnológicos de producción incluían la preparación del suelo con yuntas de bueyes, siembra y labores culturales de forma manual, cortar con machete sin quemar la caña y transportar los tallos a los trapiches utilizando la tracción animal para la elaboración del azúcar.

La mecanización del cultivo de la caña de azúcar humaniza el trabajo y garantiza la realización de las labores en los periodos agrotécnicos establecidos y su

calidad, así como el ahorro de recursos humanos. No obstante, la mecanización del cultivo ha tenido efectos medioambientales negativos como la degradación, compactación y la erosión del suelo que conlleva a que los sistemas de producción sean insostenibles desde el punto de vista ambiental y económico.

La compactación de suelos es uno de los factores de mayor incidencia en la degradación de suelos y la disminución de los rendimientos agrícolas de los cultivos. El tránsito de maquinaria, equipos e implementos agrícolas sobre la superficie del suelo son los de mayor incidencia en los procesos de compactación de los mismos (Pla y Nacci, 2001).

La aplicación continua de cargas provenientes del peso de la maquinaria agrícola sobre el suelo origina gradualmente un deterioro estructural, lo que se manifiesta principalmente en menor disponibilidad de aire y agua para las plantas, menor penetración radical, menor acceso a los nutrientes, menor infiltración, mayores riesgos de erosión hídrica y en algunos casos en reducción de la productividad de suelos y cultivos (Nacci *et al.*, 2002).

El trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta de un sistema de máquinas e implementos para la mecanización del cultivo caña de azúcar, con enfoque agroecológico y de sostenibilidad encaminado a minimizar o preservar los suelos agrícolas, lograr alta productividad y eficiencia productiva y económica en las unidades productivas que garanticen la sostenibilidad de las mismas.

DESARROLLO

PROPUESTA DEL SISTEMA MECANIZADO PARA EL CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR CON UN SENTIDO AGROECOLÓGICO

1. PROCESO TECNOLÓGICO DE PREPARACIÓN DEL SUELO O LABRANZA.

En el ámbito mundial las nuevas tendencias en el diseño y construcción de aperos de labranza apuntan al desarrollo de órganos de trabajo del tipo escarificadores que posibilitan el corte vertical y horizontal del suelo, es decir pueden o no estar dotados de saetas laterales (Deere, 2013; Case, 2013; Agromet, 2013 y New Holland, 2013). Estos órganos escarificadores se soportan por brazos rectos, curvos, e inclinados indistintamente. Su geometría está en dependencia de

concepciones del diseño del fabricante, del tipo de labor a realizar y de las condiciones del suelo a laborar, aunque se conoce que los órganos que poseen brazos curvos consumen menos energía que los que poseen brazos rectos (Cruz, 2014).

En la actualidad han tomado mucho auge los aperos que están provistos de saetas laterales pues los mismos garantizan el corte horizontal del suelo de forma tal que se alteren lo menos posible las cualidades físicas del suelo, se logre una mayor calidad en la preparación para la siembra y se disminuyan los riesgos de la conformación de un piso de labor o aradura. Las dimensiones, geometría y disposición de las saetas están en función de las características de la labor a realizar, el cultivo a establecer y las condiciones del suelo a laborar. El desarrollo de las tecnologías de labranza conservacionista en el ámbito internacional ha propiciado la introducción de un nuevo apero con características especiales en sus órganos de trabajo, denominados Paratill o Paraplow; Ecoltier o Cultivie. Los mismos están dotados de brazos inclinados o curvos que garantizan el corte del suelo de una forma natural y sin la necesidad de inversión del prisma. Este apero combina las cualidades más deseadas de los arados de vertederas en cuanto a la mullición o fragmentación del suelo, con las ventajas que poseen los órganos escarificadores de la no inversión del prisma de suelo y la reducción de la compactación producto de las presiones verticales que ejerce el órgano de trabajo sobre el suelo. Dentro de las ventajas de este apero se debe señalar que los mismos son capaces de descompactar el suelo sin destruir su estructura, levantar y fracturar el suelo a lo largo de sus planos naturales de falla, evitan las mezclas de la capa superficial con el subsuelo, reduce el número de terrones, entierran los residuos de cosechas anteriores lo cual es de gran importancia para la labranza conservacionista del suelo (Bigham & Brothers Co, 2008). Contribuyen además a la infiltración y absorción del agua en el suelo, estimula el desarrollo de las raíces y permite la colocación de fertilizantes en zonas más profundas (Cruz, 2014).

Según Cruz (2014) la Tecnología del INICA se fundamenta en la utilización de los escarificadores C-101, C-102, C-304 accionados por tractores de la clase traccional 30 kN. Dichos aperos combinan una serie de operaciones que permiten

realizar simultáneamente el descepe, mullido, descompactación y surque en un solo pase, reduciendo así el número de pases de la maquinaria por el suelo, lo que conlleva a una menor compactación del mismo, reducción del tiempo de labor y ahorro de recursos. Esta tecnología se sustenta en el laboreo localizado, el cual constituye una variante de labranza reducida, o sea, realiza la labranza en franjas para la plantación de la caña de azúcar. En cada pasada prepara una hilera dejando conformado un surco con las condiciones óptimas para el desarrollo de la caña de azúcar (Betancourt *et al.*, 2007; Betancourt *et al.*, 2008; Parra, 2009; Betancourt *et al.*, 2011; Betancourt *et al.*, 2012; Betancourt *et al.*, 2013). Este tipo de laboreo favorece la mejora de las propiedades físico mecánicas y la fertilidad de los suelos, lo que permite el incremento de los rendimientos.

Leyva (2014) diseñó un implemento denominado Multilabrador, que es capaz de realizar en una sola operación de manera simultánea el descepe, mullido, descompactación y surque, pues la misma está compuesta de una serie de órganos (tambores fresadores, escarificadores vibratorios y surcadores) que trabajan al unísono. Esta máquina es accionada por un tractor de 30 KN. En cada pasada se preparan dos hileras, dejando conformados dos surcos, listos para recibir la semilla.

Dentro de los principales resultados alcanzados por los autores (Bouza, 2003; Velarde y Córdoba, 2004; Leyva, 2009; Albóniga *et al.*, 2011; Betancourt *et al.*, 2013), citados por Cruz (2014), se desprende que las tecnologías sin inversión del prisma del suelo permiten aumentar la productividad en las labores de descepado, cruce, surcado y cultivo, reduciendo los costos de producción, además se disminuyen el tiempo total de preparación del suelo de 15 a 20 días, plazo más breve que con el laboreo tradicional (de 45 a 60 días) permitiendo un mejor aprovechamiento de la fertilidad del suelo, ya que son prácticas conservacionistas que protegen el suelo de los agentes degradantes.

El efecto de descompactación se puede lograr con herramientas de labranza vertical cuyos órganos activos pueden ser curvos o rectos, vibratorios o rígidos.

Los órganos activos rectos y rígidos permiten una menor remoción del rastrojo superficial al tener un menor ancho de ataque del suelo (Cruz, 2014).

Según Leyva (2009), citado por Cruz (2014), aproximadamente el 50% del costo de producción agrícola y el 60% del gasto total de energía, corresponden a las labores de preparación o labranza, demandándose máquinas que lo simplifiquen y eleven la productividad (Álvarez, 2000; Leyva, 2009; Betancourt *et al.*, 2010; Friedrich, 2013).

Por lo anterior, para la labranza se proponen:

- Implementos de labranza que no inviertan el prisma de suelo o de labranza vertical.
- Máquinas e implementos con diferentes órganos que realicen labores u operaciones combinadas.
- Implementos que realicen el laboreo localizado o en franjas.

Para el laboreo primario se proponen implementos de labranza vertical como:

- ❖ Cincel rígidos o flexibles (tiller)
- ❖ Escarificadores
- ❖ Subsoladores
- ❖ Paraplow o Paratill
- ❖ Cultivie o Ecoltier

Y para realizar el laboreo secundario, si se hace necesario, se pueden utilizar implementos de labranza vertical tales como:

- ❖ Cultivadores de cincel o púas
- ❖ Vibrocultivadores
- ❖ Cincel rígidos o flexibles

Los siguientes equipos logran los requerimientos de ecocompatibilidad:

- ❖ Equipo de labranza de Conservación SLC-T-3220, SDC-1703, SLC-3220, que son implementos con diferentes órganos que incorporan los residuos, roturan y preparan el terreno para la siembra.

- ❖ MF-SD03. Subsolador labranza de conservación: rotura terrenos con gran cantidad de residuos.
- ❖ MF-RCL20 y MF-RCT20. Las dos secciones delanteras de rastra permiten incorporar los residuos, evitando que se atoren en los timones. Las dos secciones traseras de rastra permiten cortar los terrones. Timones (órganos labradores) con solera de desgaste y punta reemplazable. Puntas de labranza de conservación opcionales, para lograr roturar el terreno con menos movimiento de la capa superior, realizando el corte horizontal del suelo sin el volteo de la capa arable.
- ❖ Paratill Tye 4T; *PARAPLOW* PW3100 Kongskilde; *PARAPLOW* M-0963227; Paratill Super Bong; *PARAPLOW* Howard PW 2100, PW 3106, PW 3108; Paratill Dolby; *Ecoltier* Distrimaq; Paratill Paraplow Apache 5400; Subsolador discompact Jympa DB-S; Jympa 2F; paraplow Budassi entre otros.
- ❖ Escarificadores alados (multiarados M-140, M-160, M-250, M-580 de IAgric. De acuerdo al tipo de labor a realizar se conforman variantes con diferentes combinaciones de partes y piezas dispuestos sobre el bastidor).
- ❖ Escarificadores C-101, C-102, C-304 (Tecnología INICA, combinan una serie de operaciones que permiten realizar simultáneamente el descepe, mullido, descompactación, y surque en un solo pase).
- ❖ Multilabradora UDG-3.2 (Tecnología desarrollada por la Universidad de Granma, máquina combinada que está destinada fundamentalmente para el laboreo mínimo de los suelos pesados para caña de azúcar, así como, para la realización de labores de cultivo, tales como la descompactación, escarificado y control de malezas, en una sola operación de manera simultánea realiza el descepe, mullido, descompactación y surque de dos hileras).
- ❖ Chiseles AGROMET, John Deere, Kuhn, Galucho; Escarificadores CASE, New Holland y otros equipos de labranza vertical de probada efectividad técnica, económica y ecológica.

1.1. Requisitos agrotécnicos y tecnológicos fundamentales para los equipos de labranza conservacionista.

- El suelo debe poseer una humedad óptima de trabajo.
- El terreno debe estar libre de obstáculos como piedras, troncos, zanjas, etc.
- El nivel de malas hierbas no debe ser alto. En caso de serlo, realizar una chapea previa o combinada.
- Utilizar cuchillas corta rastrojos cuando el nivel de estos lo amerite para evitar embotamientos de los órganos de trabajo.
- Los equipos deben de estar en buen estado técnico y correctamente regulados según las condiciones concretas de trabajo.
- Utilizar tractores con la adecuada potencia según las necesidades energéticas del equipo.
- Trabajar a las velocidades más altas posibles según las condiciones de los campos y los requerimientos energéticos y de calidad de trabajo de los equipos.
- Utilizar en los equipos, siempre que sea posible, la ubicación en delta de los órganos de trabajo labradores.
- Utilizar en los tractores neumáticos de balón ancho, radiales, de baja presión, con presiones de inflado adecuadas y en lo que se pueda de tecnología VF.

2. PROCESO TECNOLÓGICO DE PLANTACIÓN O SIEMBRA MECANIZADA.

Para la siembra mecanizada se propone realizar el corte de la semilla con combinada, trasladarla en tráileres auto basculante y plantarlas con sembradoras semiautomáticas o automáticas. En el caso de que la sembradora no realice el tapado de la semilla, realizar esta labor con un equipo tapador fertilizador.

Las sembradoras que se utilicen para garantizar el enfoque agroecológico y de sostenibilidad, es necesario que se realicen a la vez: la apertura de los surcos con órganos con puntas descompactadoras, la distribución de la semilla, la aplicación de los fertilizantes y productos sanitarios, el tapado de los surcos y acabado del suelo, así como posean sistemas de rodaje de alta flotación para disminuir la compactación del suelo.

El corte de la semilla para las sembradoras se hará con una cosechadora mecánica de caña con las siguientes adaptaciones:

- Recubrir con cauchos los rodillos colectores y alimentadores
- Sustituir los rodillos picadores de 4 cuchillas para 2 cuchillas
- Colocar una placa lisa en el piso del elevador
- Colocar una placa de protección en el rodillo tumbador
- Usar pirulitos nuevos sin revestimiento con soldadura
- Cauchos en el rodillo levantador

Algunas máquinas sembradoras de caña que cumplen con estos presupuestos son:

Sembradora de caña picada automática ECOAGRÍCOLA MODULLUS P.: El equipo se destaca por su funcionalidad y alto desempeño operativo. Para optimizar y reducir los costos en la siembra, el equipo realiza las operaciones de la siembra del cultivo a la vez: apertura de los surcos, distribución de fertilizantes/ abonos en los plántones, aplicación de insecticida, cobertura de los surcos y por último, el acabado del suelo. Para atender las diversas opciones de espaciamientos de la siembra existentes ofrece dos opciones de sembradora: con dos líneas (180CV) o cuatro líneas (280 CV).

Sembradora de caña PC 1102: realiza todas las operaciones a la vez en dos líneas, es decir, hace surcos, fertiliza, efectúa la distribución de las plántulas, aplica insecticida, cubre y hace la compactación de los tocos. El vagón tiene capacidad para 6 t plántulas. Posee cintas transportadoras horizontales para transportar las plántulas hasta las cintas transportadoras dosificadoras. Las cintas transportadoras son accionadas por reductores individuales para cada uno, convirtiendo las operaciones de acabado mucho más versátiles.

Sembradora de caña troceada PCP 6000: Surca, distribuye abono, distribuye semilla, aplica insecticida, acomoda la semilla, tapa el surco y hace uso de un rodillo compactador. Tiene un volumen de tolva de 24 metros cúbicos lo que permite una carga de 6 t de semillas. Tiene una división central que evita la acomodación de los trozos en cualquiera de los lados de la tolva. Dos

transportadores distribuidores de semillas con 16 tablillas cada uno colocados alternadamente que permite mejor uniformización de la distribución de los trozos. Para el abonado tiene una tolva con capacidad de 1.250 kg. Para los surcos maneja distancias ajustables para 1,40m y 1,50m, y para la fumigación lleva un tanque de 600 l con acción de pulverización a través de bombas de pistón.

NQAS Excelsa. Sembradora de caña de azúcar de dos surcos versátil y práctica. Surca, trata la semilla, fertiliza, siembra y tapa de manera simultánea. Su estructura ligera pero resistente pesa solo 4.000 kg teniendo una capacidad de 4 toneladas de semilla. Por su alce hidráulico y su corta longitud permite hacer giros en los estrechos callejones de las plantaciones.

Plantadora de caña Doble TT Neozaf 8022: Siembra automática de semilla de caña troceada. Trabaja con computadora a bordo y dosificación de las plántulas y los fertilizantes. Incluye el sistema Split Flow para una aplicación uniforme del material entre dos ranuras. También provoca una baja compactación del suelo debido al menor peso estructural y neumáticos de súper flotación. El sistema de implantación de un surco opera en versiones de doble línea o de línea simple. Permite la regulación electrónica de la densidad de siembra, con entrega variable de semillas por surco. El sistema de siembra se complementa con una tolva de 7,8 toneladas de capacidad (dependiendo de la densidad de la caña semilla), con dispositivo transportador. Presenta una altura de carga de 3,80 metros, sistema de carga con autovuelco lateral o trasero y rodados de alta flotación. El equipamiento de fertilización dispone de dos tolvas para fertilizantes (900 Kg de capacidad total) y dosificadores FertiSystem a rosca sinfín. El dispositivo de pulverización incluye tanque de 500 litros, bomba eléctrica con regulador de presión y picos cambiables. El equipamiento se completa con rodados de los reguladores de profundidad y circuito electro-hidráulico con tablero de comando desde el puesto del operador en la sembradora. Demanda una potencia de 140/160 HP, con una velocidad de trabajo de 8/12 Km/hora y una capacidad de trabajo de 1 hectárea/hora.

Sembradora de caña Doble TT Neozaf 6000: Plantadora mecánica de caña trozada con capacidad para implantar una hectárea por hora, con la conformación de 60 surcos/hora con sólo dos operarios, bajo costo de mantenimiento y gran

versatilidad para adaptarse a diferentes condiciones de explotación. Realiza siete tareas en una sola pasada, ya que abre un surco (en línea simple o doble), descarga la caña cortada, aplica fungicida o promotores de crecimiento, fertiliza con sólido, tapa el surco, compacta la tierra movida y realiza un chorreado de fertilizante líquido. De esta manera, no solo optimiza los costos operativos, sino minimiza el paso excesivo sobre la trocha del surco, evitando una excesiva compactación del suelo. Puede alcanzar una velocidad de trabajo de 10/12 km/hora, con una velocidad media de trabajo de 7 km/h. Opera con una tolva central con capacidad para 3 toneladas, dos tolvas para fertilizantes (500 kg), discos abridores y rodados de alta flotación.

Plantadora de Cana Picada - PCP 6000 Automatizada DMB: Surca, suministra la semilla, la tapa, compacta, fertiliza y aplica productos fitosanitarios. Tiene un Centro Lógico programable instalado, donde todas las operaciones de la plantadora son programadas electrónicamente y accionadas a través de una interfaz de usuario instalada en la cabina del tractor. Todas las operaciones son monitoreadas a través de 5 cámaras que envían las imágenes a un monitor instalado en la cabina del tractor. La plantadora es traccionada por tractor en el rango de potencia de 200 hp, a través del enganche de 3 puntos. Tiene 2 surcadores con desarme automático, con espaciamiento regulable a 0,90, 1,40 y 1,50 metros y regulación de profundidad a través de las ruedas estabilizadoras. Abonadora con caja de acero inoxidable con capacidad para 1.250 kg de abono con sensor de nivel, cuya distribución se realiza a través de rosca sin fin, o cinta (opcional) accionada por motor hidráulico. Posee 2 esteras para distribución de las semillas en los surcos que permiten calibrar la cantidad de trozos por metro lineal. Posee también un conjunto aplicador de insecticidas contra plagas de suelo con tanque de 600 litros de capacidad y bomba de pistón accionada por motor hidráulico. También cuenta con rodillos compactadores. Opcionalmente puede ser equipada también con un kit para baño de fungicida de los esquejes. Posee neumáticos Super Flotation.

Plantadora PCI-4000 Generación III: Realiza todas las operaciones de siembrade una sola vez, incluyendo la aplicación de insecticidas contra plagas del

suelo. Planta 2 líneas a la vez, con rendimiento en torno a 5 ha por día. Es traccionada por tractor con sistema de enganche de tres puntos, con una potencia mínima sugerida de 140 hp. La plantadora está equipada con 2 surcadores con alas convencionales que permiten hacer los surcos similares a la plantación manual. Los surcadores poseen regulación de espaciamiento, profundidad y anchura del surco. Tiene dos abonadoras tipo caja individual de polietileno con capacidad para 370 litros cada una. La alimentación es hecha manualmente por 4 personas que abastecen a la plantadora con caña entera, que es almacenada en una carreta acoplada detrás de la plantadora. Posee 2 cajas picadoras con bicas alimentadoras con regulación de altura y compuestas de un sistema de rodillos de goma y cuchillos que tiran de la caña y la pican en toletes de cerca de 51 centímetros que se distribuyen uniformemente en el surco. También posee un conjunto aplicador de insecticidas contra plagas de suelo. La plantadora también está equipada con 2 tapadores oscilantes compuestos por 4 discos cóncavos con regulación de altura y ángulo de trabajo y 2 rodillos compactadores que realizan un perfecto recubrimiento de los tallos.

Plantadora automática de caña picada CIVEMASA- PACC- 2L: Realiza todas las operaciones de siembra a la vez. Tiene los surcadores equipados con puntas descompactadoras con discos corta rastrojos en la parte delantera. Entre sus características tecnológicas encontramos su sistema de accionamiento individual de esteras metálicas a través de un comando electrónico y válvula proporcional, además posee corrección automática de la cantidad distribuida de semilla y fertilizantes, controlado electrónicamente de acuerdo con la velocidad del tractor. Posee sistema de accionamiento individual de las esteras a través del mando electrónico y válvula proporcional, lo que proporciona para el usuario de la plantadora la opción de trabajar con sólo una estera en caso de remate de plantación y alterar la velocidad de las esteras separadamente sin tener que parar la plantadora. Equipada con un deflector central ubicado entre las dos esteras accionado por cilindro hidráulico con recorrido de 90°, con la función de no permitir el atoramiento entre las esteras, pues posee un sistema automático de vaivén, o sea, oscila para los dos lados automáticamente con el simple accionar de un botón

en el panel. Todas las operaciones de control del equipo se efectúan por un sistema electrónico. Posee un sistema de rodaje de alta flotación.

Sembradora de caña BRN PC 7500. Realiza todas las operaciones de siembra a la vez. Está equipada con 2 surcadoras revestidas con una placa de polietileno para mejor conformación del surco. Garantiza un espaciamiento de siembra regulable para 900/1.400/1.500 mm. Tiene una capacidad de carga de 7.500kg. Posee 2 depósitos de fertilizantes con capacidades de 500 kg cada uno y un tanque de fungicida con capacidad de 500 l. Necesita una potencia mínima para tracción de un tractor 4 x 4 de 180 hp. Trabaja a una velocidad entre 4 y 6 km/h.

2.1. Requisitos agrotécnicos y tecnológicos fundamentales para las sembradoras de caña de azúcar.

- El suelo debe de estar adecuadamente preparado a la profundidad establecida y poseer una humedad óptima de trabajo.
- El terreno debe estar libre de obstáculos como piedras, troncos, zanjas, etc.
- Utilizar cuchillas corta rastrojos delante de los surcadores si existe un determinado nivel de rastrojo.
- Las puntas descompactadoras de los surcadores, deben tener un adecuado estado técnico.
- La sembradora debe de estar en buen estado técnico y correctamente regulada.
- Trabajar a las velocidades más altas posibles según las condiciones de los campos y los requerimientos energéticos y de calidad de trabajo de los equipos.
- Realizar el abastecimiento de la sembradora fuera de los campos.

3. EQUIPOS PARA LAS LABORES CULTURALES

Las labores culturales incluyen el cultivo, la fertilización y el control mecánico y químico de plagas y enfermedades. En el cultivo se realizan operaciones de desyerbe entre hileras y a la redonda de las plantas, el aporque y el desbroce, corte y eliminación de malezas. Las operaciones se nombran desyerbe o desbroce

mecánico cuando se eliminan las plantas indeseables con medios mecánicos solamente, y deshierbe o desbroce químico, o aplicación de herbicidas, cuando se produce con máquinas que aplican productos químicos. El cultivo descompacta las capas superiores del suelo, facilita la aireación y la infiltración del agua.

Estas labores se componen de:

- Cultivo de descompactación
- Cultivo de deshierbe
- Cultivo de deshierbe y acondicionamiento
- Control de malezas y otras plagas y enfermedades con químicos.
- Control de malezas a guardarrayas
- Fertilización mineral y orgánica

Los tractores utilizados para ejecutar estas labores deben estar diseñados con un enfoque ecológico y de sostenibilidad entre los que se destaquen: sistemas de rodaje de alta flotación y adherencia, tracción delantera y trasera, sistema automático de bloqueo del diferencial, conexión o desconexión de forma automática de la transmisión delantera, sistema de enganche y ATF delantero y trasero, consumo específico de combustible bajo del motor, motores equipados con la tecnología de reducción catalítica selectiva (SCR) y el ADBLUE y otras características, así como realizar el trabajo con determinados requisitos agrotécnicos y tecnológicos que eviten o prevengan las afectaciones al suelo (González Marrero y García, 2016).

Para realizar estas labores se ha probado la efectividad de los siguientes equipos que presentan un enfoque ecológico en su diseño estructural y tecnológico:

Cultivador Abonador para Caña JM3720SH JUMIL. Realiza simultáneamente tres operaciones distintas: la subsolación, la fertilización y el cultivo con desterronamiento.

Subsolador Abonador Cultivador Múltiple Ligero. SACM/LT TATU MARCHESAN. Realiza simultáneamente tres operaciones distintas al igual que el anterior.

Surcador abonador ligero SA/L. TATU MARCHESAN: Surcado y abono simultáneas en áreas de preparación convencional. La descompresión en profundidad facilita el desarrollo del sistema radicular y el aprovechamiento de la humedad.

Subsolador Abono Cultivador Múltiple SACMT. TATU MARCHESAN: Realiza simultáneamente tres operaciones distintas: la subsolación, la fertilización y el cultivo desterronamiento.

Cultivador-fertilizador CIVEMASA: Cultivador Abonador indicado para el cultivo de caña cruda y caña quemada. Los subsoladores están equipados con desarme automático tipo "Y". Posee cajas de polietileno para fertilizantes con sistema de distribución través de la rosca sin fin en acero, con accionamiento por motor hidráulico con válvula reguladora de flujo o con accionamiento mecánico por cadena.

Cultivador-fertilizador doble TT: El principio básico es que en una sola pasada pica e introduce los rastrojos y fertiliza. Las 8 secciones de discos permiten pasar el rastrojo de un cuerpo a otro picándola cuatro veces en la misma pasada. Es un equipo que permite economizar hasta un 50% el costo operativo del cultivo de la caña ya que se realiza el trabajo surco de por medio.

Sulcador pantográfico DMT: Subsola, cultiva, surca y fertiliza con cuchillas delanteras corta rastrojos.

Cultivador triple operación DMT: Implemento de múltiple uso: abona, subsola y cultiva en una única pasada, versátil con ajuste de espaciamiento.

Cultivador Nuevo San Francisco DMT: Es un equipo de gran versatilidad, que permite hacer la fertilización y el cultivo sin la necesidad de cambiar los kits para la realización del trabajo. Compuesto por 2 discos planos de corte que cortan la paja, 2 subsoladores dobles equipados con 4 puntas que realizan la descompactación con desarme automático.

Cultivador fertilizador CIMA F-350: Es un equipo de suspensión que cultiva, fertiliza y descompacta a la vez.

Abonadora CC 300, 150 AGRODYNE: Abona tres surcos por pasada, al centro de cepa o en una costilla. No requiere quema previa de rastros permite disminuir el costo de cultivo al reducir las labores mecánicas y el uso de agroquímicos.

También se pueden utilizar el surcador-cultivador-fertilizador IIMA-Baldan, el cultivador-fertilizador Gaspardo HL-4 o el Baldan CVAC-COP, ya que han tenido muy buenos resultados en las pruebas realizadas en otros cultivos.

Máquinas distribuidoras de materia orgánica: La aplicación de abonos orgánicos se puede realizar con cualquier marca de este tipo de equipo, siempre y cuando estas posean sistemas de rodaje de alta flotación.

Máquinas para la protección fitosanitaria: Para aplicar estos productos biológicos o químicos se han desarrollado equipos aéreos y terrestres, que permiten su manejo adecuado y su efectiva aplicación, de manera sólida o líquidas. En las máquinas terrestres, se proponen pulverizadoras integrales o de suspensión con los más altos anchos de trabajo posibles ya que esto disminuye el tránsito sobre los campos. Según la edad del cultivo y la altura alcanzada es necesario utilizar tractores de alto despeje. Si se utilizan máquinas de arrastre, es necesario que estas tengan neumáticos de alta flotación. En el mercado existen diversas marcas que cumplen con los enfoques de ecocompatibilidad y sostenibilidad.

3.1. Exigencias agrotécnicas y tecnológicas esenciales para los equipos utilizados en las labores culturales.

- Es de vital importancia para no afectar el suelo y garantizar la calidad de las labores que éste posea una humedad óptima de trabajo.
- Los campos deben de estar libre de obstáculos como piedras, troncos, zanjas, etc.
- El cultivo, con el objetivo de eliminar malas hierbas debe ejecutarse con un tamaño adecuado de estas para garantizar la calidad del trabajo.
- Utilizar cuchillas corta rastros delante de cada órgano de trabajo para evitar embotamientos de los mismos.

- Los equipos deben de estar en buen estado técnico y correctamente regulados según las condiciones concretas de trabajo.
- Utilizar tractores con la adecuada potencia según el tipo de equipo y labor a realizar.
- Trabajar a las velocidades más altas posibles según las condiciones de los campos, la potencia del tractor utilizado y las exigencias agrotécnicas del equipo para lograr la calidad del trabajo.
- Utilizar en los tractores neumáticos de balón ancho, radiales, de baja presión, con presiones de inflado adecuadas y en lo que se pueda, de tecnología VF.

4. EQUIPOS PARA LA COSECHA Y TRANSPORTE

El corte mecanizado se recomienda para campos con rendimientos agrícolas mayores de 50 t/ha, considerando el costo y gastos de combustible por tonelada de caña cosechada.

Los sistemas de rodaje de los equipos de cosecha deben ser de alta flotación para reducir la compactación. Se deben tomar todas las medidas organizativas y tecnológicas para disminuir el tránsito de los equipos sobre el campo durante la cosecha.

Por ello se debe tener un estricto control del recorrido de los equipos, de la humedad del suelo – rastrojo, los tipos de neumático – orugas empleados, el inflado de los neumáticos y el lastrado.

En campos con alto grado de humedad y deficiente drenaje se deben utilizar combinadas con tren de rodaje de semiesteras.

Las siguientes combinadas cañeras cumplen con los requisitos de sostenibilidad:

Massey–Fergusson MF201CANE COMMANDER

TOFT 6000

CLAAS-2000

KTP-3000

CASE IH A-7000 con neumáticos

CASE IH serie AUSTOFT modelo A-7700 con oruga

CASE IH A-8000 con neumáticos, y la A - 8800 con esteras.

CAMECO 2500 de esteras

CAMECO 3510 de gomas

CAMECO 3510 de esteras

Transportación

La caña se transporta de dos maneras hacia el central: “tiro directo” al basculador, con el empleo de equipos de transporte automotor o tractotrenes según la distancia de tiro y el “tiro combinado” (intermodal). (López *et al.*, 2004).

El proceso de trasbordo que consiste en un tractor cargador y remolques o semirremolques auto basculantes que lleva la caña hasta el medio de transporte que trasladará la caña hasta el central o centro de acopio, fue creado para minimizar la compactación del suelo, y de esta forma, aumentar la productividad media (Martínez *et al.*, 2012). 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).

Algunas marcas y modelos de camiones de probada eficiencia son los siguientes: Camiones Volvo VM, Scania, Super-Kamaz, ZIL-130, HINO, Mercedes-Benz Actros 3344 y Unimog U500, Sinotruk, Ford.

4.1. Exigencias agrotécnicas y tecnológicas fundamentales para la cosecha-transporte mecanizada de la caña de azúcar.

- Los suelos de los campos deben tener una humedad adecuada.
- Los equipos deben tener un buen estado técnico, regulaciones técnicas y tecnológicos adecuadas a las condiciones concretas de trabajo.
- Las áreas para corte mecanizado estarán libres de obstáculos, bien trazadas, libres de malezas y bejucos, acondicionadas para el corte mecanizado, que hagan factible la explotación económica de las combinadas.
- El corte de la combinada quedará a nivel del suelo, o a lo sumo 2 cm por encima de este.
- Todas las cuchillas se mantendrán bien afiladas, de tal manera que garanticen un corte limpio, sin desgarrar el tallo de caña ni arrancar la cepa.

- No se admitirán pérdidas en la cosecha que sobrepasen los estándares internacionales establecidos para esta labor, medidas estos valores en caña fresca, inmediatamente después del corte.
- Se recomienda trabajar integralmente para lograr los estándares internacionales en el corte mecanizado de la caña, haciéndolo con una productividad de 1 tonelada por minuto, con un gasto de 1 litro de combustible por tonelada de caña, y una productividad por zafra no inferior a 60000 toneladas por máquina.
- Se prohíbe los colmos, que ocasionan derrames de caña en el campo y los caminos.
- Los varales o estacados y mallas de camiones y carretas deben estar en buen estado técnico, para evitar las pérdidas de caña.
- Los caminos principales para el tiro de caña serán reparados al inicio de la zafra, que garanticen menos pérdidas de tiempo, de caña y roturas en los transportes.
- El número de remolques o carretas por tractor de tiro responderá a las condiciones particulares de cada lugar y recomendaciones establecidas, de tal manera que siempre se permita el mayor número de t/km tiradas por equipo con el menor consumo de combustible y otros gastos.

BIBLIOGRAFIA

- Albóniga, R. A.; C. Domínguez; C. E. Iglesias Coronel y A. Fernández: "Diseño de brazos de subsolador dinamométricos para la ejecución de ensayos en canal de suelos", *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 49-52, 2011.
- Álvarez, D. A.: "Reducir costos y ganar calidad ", *Cañaveral*, (2): 3- 8, 2000.
- Betancourt, Y. y C. Iglesias: "Fundamentos del diseño de implementos para la preparación localizada de superficies acanterada en caña de azúcar", *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 5-10, 2011.
- Betancourt, Y.: *Fundamentación Tecnológica del Empleo de la Labranza Primaria Localizada en Superficies Acanteradas con Cobertura de Residuos Vegetales en Caña de Azúcar*, Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Doctor

en Ciencias, Ingeniería Agrícola, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, UCLV, 2011.

Betancourt, Y.; C. E. Iglesias Coronel; M. Rodríguez y E. Martínez: "Caracterización de la superficie acanterada para el diseño de implementos que participen en la preparación localizada de suelo en caña de azúcar", *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 46-48, 2011.

Betancourt, Y.; C. E. Iglesias Coronel; M. Rodríguez; A. Gutiérrez y I. García: "Nuevos parámetros de diseño del escarificador C-101 para la labranza primaria de superficies acanterada", *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2): 68-73, 2013.

Betancourt, Y.; C. E. Iglesias Coronel; M. Rodríguez; A. Gutiérrez y E. Martínez: "Modificación del escarificador C 101 para la labranza primaria localizada de los suelos arcillosos pesados en caña de azúcar", *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1): 31-33, 2012.

Betancourt, Y.; I. García; D. López; A. Cabrera y M. Rodríguez: "Efectos de la tecnología de preparación de suelos pesados sobre la brotación de malezas en caña de azúcar", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17: 78-81 2008.

Betancourt, Y.; I. Rodríguez y P. Pineda: "Las propiedades químicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18: 46-48 2009.

Betancourt, Y.; M. Rodríguez; A. Gutiérrez; E. Velarde y I. García: "Evaluación del mullido y el perfil descompactado de diferentes tecnologías de laboreo mínimo en suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara ", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16: 70-73, 2007.

Betancourt, Y.; P. Cairo; A. Gutiérrez; I. García y A. García de la Figal: "Las propiedades físicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19: 7-10, 2010.

Bigham & Brothers CO. *Why use conservation tillage Bigham Brothers [en línea]* Disponible en: <http://www.bighambrothers.com/whycon.htm> [Consulta: 16 de mayo 2013].

Bouza, B.: Labranza mínima con multiarado en caña de azúcar. Memorias de 8va Convención METANICA 12-17 julio 2003, pp. 10, La Habana. 2003.

Bouza, H.: "Instructivo técnico del Multiarado M-250 cañero", IIMA: 1997.

Case IH (2008) *Cosechadoras de Caña de Azúcar serie 7000*, Manual de Características Técnicas, Brasil.

Chisel AGROMET, 2013 [en línea] abril 2013 disponible en: <http://www.agromet.net/bota.htm> [consulta: el 10/3/2008].

Cruz, M.: *Diseño de un nuevo apero para la labranza conservacionista en caña de azúcar*, Tesis presentada en Opción al título académico de Máster en Ingeniería Agrícola, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, UCLV, 2014.

Escarificadores CASE [en línea] abril 2013 disponible en <https://webparts.pvassociates.net/cnh/selectedparts.php>[consulta:15/05/2008] [consulta:12/9/2013].

Friedrich, T.: Agricultura de Conservación. La intensificación sostenible de la producción agrícola UCLV, pp. 64. 2013.

González Marrero J. A.; Y. García: Los tractores en una agricultura agroecológica y sostenible. Revista digital de Medio Ambiente "Ojeando la Agenda", n° 41. Mayo del 2016. ISSN 1989-6794.

John Deere [en línea] septiembre 2013 disponible en: http://www.deere.com/es_MX/ag/productos/maquinarias/equipo_de_labranza/roturadores_913_915.html [consulta: 6/09/2013].

Leyva, O.: *Fundamentación de una tecnología para laboreo mínimo de suelos vertisoles basada en la aplicación de una máquina compleja en caña de azúcar*, 146pp., Tesis en opción (al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), Universidad Agraria de La Habana, Habana, 2009.

López, E.; S. Miquel; L. Plá: "El problema del transporte de la caña de azúcar en cuba", REVISTA INVESTIGACIÓN OPERACIONAL, 25: 2004.

Martínez, M.; A. Banchi; J. López: ""Análisis de operaciones 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 Auto basculante de Fabricación Cubana en suelos arcillosos pesados con superficies acanterada.". En, pp., 2015.
- Nacci, S., Ramos, C. e I. Pla. Dynamics of the soil physical properties in vineyards highly mechanized of the Anoia-Alt Penedes. Region. (Catalunya, Spain). In: J.L. Rubio et al. (eds.). Man and Soil at the Third Millenium. Edit. Geoforma. Logroño, España. 2002.
- New Holland [en línea] agosto 2013 disponible en [http://www.newholland.com.mx/P%C3%A1gina_Agricola/Implementos\(Temporale\)/Multiarado.htm](http://www.newholland.com.mx/P%C3%A1gina_Agricola/Implementos(Temporale)/Multiarado.htm) [consulta: 10/05/2013].
- Pla, I. y S. Nacci. Impacts of mechanization on surface erosion on mass movements in vineyards of the Anoia-Alt Penedés Area (Catalonia, Spain). In: Scott et al. (eds.). Sustaining the Global Farm. Purdue Univ. West Lafayette, IN. pp. 812-816. 2001.
- Velarde, E. y R. Córdoba: Posibilidades de los escarificadores de acción escalonada en el laboreo sostenible de suelos cañeros. En: I Conferencia Científica de Ingeniería Agrícola de la Habana, pp., Habana. La Habana Cuba: AGRING 2004.