

Aperos de labranza ecocompatibles para un desarrollo local sostenible

Dr C. José Antonio González Marrero *
* Universidad Las Tunas (Cuba)

RESUMEN

En el artículo se exponen los principales aperos utilizados en la llamada labranza conservacionista o eco compatible que garantizan un desarrollo local sostenible sobre la base del cuidado al medio ambiente y la eficiencia económica, así como algunos resultados de pruebas e investigaciones, características de trabajo y determinados elementos para el uso y manejo adecuado de estos. Se describen algunas características técnicas y de trabajo de tipos y marcas de aperos utilizados en este tipo de labranza.

Palabras claves: labranza, arado, ecología, sostenibilidad

ABSTRACT

The article presents the main tools used in the so-called conservation tillage or eco-compatible that guarantee sustainable local development based on environmental care and economic efficiency, as well as some test results and research, work characteristics and certain elements for the proper use and management of these. Some technical and working characteristics of types and marks of tools used in this type of tillage are described.

Keywords: tillage, plow, ecology, sustainability

INTRODUCCIÓN

La FAO define como su primer objetivo estratégico la *Intensificación Sostenible de la Producción Agrícola (ISPA)*, que se ha definido como el incremento de la producción a partir de la misma área de tierra al tiempo que se reducen los efectos negativos para el medio ambiente y se aumenta la contribución al capital natural y el flujo de servicios ambientales. Para alcanzar dicho objetivo, aprobó el empleo del “enfoque ecosistémico” en la gestión agrícola. Un punto de partida importante para la intensificación sostenible de la producción -y un pilar de la ISPA -es la conservación de la estructura del suelo y de su contenido de materia orgánica, mediante la limitación de la alteración mecánica del suelo en el proceso de arraigo del cultivo y de su posterior gestión (Pandey, 2012 Citado por Shkiliova L, R. Fundora, 2014).

La aplicación de las técnicas de la agricultura de conservación contribuye a la intensificación sostenible de la producción, mediante la reducción al mínimo de la alteración del suelo y la retención de los residuos de los cultivos en la superficie. La mecanización se debe desarrollar

mediante un proceso de apropiación y adaptación a las condiciones donde se utilizará la maquinaria, teniendo en cuenta los enfoques tecnológicos en la agricultura, la correcta selección y uso de los equipos para evitar efectos degradantes en el medio ambiente, especialmente en el suelo, sin olvidar aspectos como la educación y la extensión. (Shkiliova L, R. Fundora, 2014).

La preparación o labranza de suelos, es un conjunto de operaciones que se realizan con equipos mecánicos, con el fin de darle al suelo las condiciones óptimas para que puedan germinar las semillas y propiciar el posterior desarrollo de las plantas, restableciéndole al mismo las apropiadas condiciones físicas, biológicas, químicas, hidrofísicas y físico-mecánicas, logrando así un mejor desarrollo de las semillas y de las plantas cultivadas. 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.*, 2010a; Friedrich, 2013).

Actualmente en el ámbito internacional se emplean varias tecnologías de preparación de suelos que van desde el laboreo total hasta la labranza cero. La tendencia fundamental se dirige hacia la labranza conservacionista, con el fin de garantizar la no inversión del prisma, la cobertura de paja y la remoción de la menor área de suelo posible. (Cruz, 2014)

De forma general, aunque existen variaciones en función del tipo de suelo y las condiciones locales, las técnicas de labranza de conservación disminuyen de forma drástica la erosión. En diversos estudios (FAO, Fernández-Quintanilla, 1998) citados por (AEC/SV, 2008), se demuestra como a partir de un 30 % de cobertura de suelo la erosión disminuye, y como con un 60 % prácticamente desaparece. (Mejías *et al.*, 2013)

La evolución de la labranza de conservación o siembra directa en los diferentes países ha sido diferente, dependiendo de las condiciones y de los incentivos y programas de los gobiernos locales. La labranza cero con bases científicas, como alternativa a la labranza convencional, nació en la década de los 40's con el descubrimiento del 2,4-D y otros herbicidas hormonales, que permitieron a los agricultores controlar las malezas de hoja ancha sin recurrir a cultivadoras o al azadón. El descubrimiento de la atrazina a fines de la década de los 50's y de los herbicidas de contacto en la década de los 60's ampliaron la base química de la agricultura de la labranza de conservación y produjeron oportunidades de estudio y desarrollo únicos en la historia de la labranza (OEIDRUS, 2011).

La compactación de suelos es uno de los factores de mayor incidencia en la degradación de suelos agrícolas caracterizándose por la reducción del tamaño, continuidad y cantidad de poros del suelo. Este tipo de degradación física puede originarse por dos vías: en forma natural debido a ciclos de humedecimiento y secado del suelo o artificialmente mediante la aplicación de

cargas pesadas. Esta última fuente es la de mayor contribución a los procesos de compactación en los suelos altamente productivos y mecanizados, siendo consecuencia del tránsito de maquinaria, equipos e implementos agrícolas sobre la superficie del suelo (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).

Según González *et al.*, (2009) la principal causa de degradación física del suelo es la compactación provocada por: presión sobre el suelo, peso sobre los sistemas de rodaje, número de pases, velocidad de desplazamiento, patinaje y realización de labores en condiciones inadecuadas de humedad y que la principal causa de compactación del suelo es el tránsito durante el tiempo que el suelo permanece a una humedad cercana a la humedad crítica de compactación.

En una agricultura sostenible, la labranza de conservación garantiza atenuar o prevenir el daño, conservar o mejorar las propiedades físico químicas del suelo, así como aumentar la eficacia del empleo del agua, lo que redundará en el aumento de los rendimientos con respecto a la labranza convencional.

Las tecnologías de labranza que se pueden definir como conservacionistas son: labranza reducida, labranza mínima, labranza cero o siembra directa (Cruz, 2014).

La labranza reducida, consiste en la reducción del número de operaciones durante el laboreo, con respecto a la labranza convencional. De esta manera se propicia que quede una determinada cantidad de rastrojo o restos de cosecha sobre la superficie, siempre y cuando no se invierta el prisma del suelo de modo tal que se entierren o mezclen los residuos con la masa de suelo (Bouza, 2003; Agrisem, 2006; Aguilera, 2007; Olivet, 2010)

La labranza mínima, en su concepción general se basa en la reducción del número de labores lo cual posibilita que se acorten los plazos de ejecución de cada labor y se incida menos sobre el suelo. Esta tecnología está respaldada por el empleo de aperos capaces de realizar más de una labor al unísono, eliminando la inversión del prisma del suelo. Las labores se pueden combinar con el uso previo de herbicidas para la eliminación y secado de cultivos precedentes o restos de cosecha. Propicia además la aireación del suelo, con un menor mezclado de los restos de cosecha con el suelo. Actualmente es muy utilizada pues la misma al introducir el menor número de equipos durante el laboreo, propicia una menor alteración de las propiedades hidrofísicas, químicas y biológicas del suelo. En sentido general quedan más residuos vegetales

en la superficie del suelo, por tanto, el riesgo de erosión es menor (González, 2003; Alt, 2005; Aguilera, 2007; Betancourt *et al.*, 2010a).

La Labranza cero o siembra directa, como tecnología se fundamenta en la no labranza de la superficie del suelo, pues se siembra directamente depositando la semilla tras un corte del suelo a las profundidades requeridas por el cultivo. Por lo general se emplean máquinas equipadas con una cuchilla que puede ser un disco circular o zapata de corte. Estos discos también tienen como función el corte de los restos de cosecha, de forma tal que no penetren en la hendidura o cavidad donde se va a colocar la semilla (Silveira, 2007; Friedrich, 2013). Posteriormente se tapa la semilla y una rueda compacta el lecho de siembra para permitir su contacto con el suelo húmedo. Esta tecnología exige conservar la cobertura vegetal del suelo, la cual en mucho de los casos se controla con herbicidas antes de la siembra, o mediante el pase de un rodillo que compacta los restos de cosecha para acelerar su secado (Derpsch *et al.*, 2000). De igual forma se requiere fertilizar debido a que la mineralización natural de los nutrientes del suelo se torna muy lenta.

Las nuevas tendencias en las tecnologías de preparación de suelos se sustentan en la mayoría de los casos en el empleo de órganos de corte vertical y horizontal tipo escarificadores, que pueden poseer o no saetas laterales, (Deere, 2013; Case, 2013; Agromet, 2013 y New Holland, 2013). Estos órganos escarificadores se soportan por brazos que pueden ser rectos, curvos, e inclinados (Paratill, Paraplow, Ecoltier, Cultivie) 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).

El artículo tiene como objetivo exponer los principales aperos utilizados en la llamada labranza conservacionista, así como algunos resultados de pruebas e investigaciones, características de trabajo y determinados elementos para su uso y manejo adecuado.

DESARROLLO

Los principales tipos de aperos utilizados para el laboreo primario de labranza vertical son los siguientes:

- Subsoladores
- Cíncel
- Escarificadores
- Paraplow
- Paratill
- Cultivie

- Ecoltier

Y para el laboreo secundario:

- Cultivadores
- Vibrocultivadores
- Cinceles vibratorios
- Rastras o gradas de púas o ganchos

Los aperos de laboreo de labranza vertical los podemos clasificar como:

- ❖ Arcos o montantes (soporte, brazos o timón) Flexibles
 - Cinceles, vibrocultivadores, cultivadores
- ❖ Arcos o montantes Rígidos
 - Montante recto (subsoladores, escarificadores)
 - Montante inclinado
 - Angulado
 - Paratill, Paraplow
 - Curvo
 - Cultivie, Ecoltier

Algunas marcas o modelos de los aperos anteriores de probada eficacia son los siguientes:

De labranza reducida

- ❖ Descompactador (paraplow) diseñado por las firmas Howard Rotavator Company y la División de Protección de Plantas del I.C.I. Tiene como objetivo este apero descompactar la tierra levantándola ligeramente, lo que provoca su fisuración natural. En el subsuelo rompe las capas compactas restaurando su natural estado con sus grietas y poros. El elemento de trabajo es un brazo inclinado, 45° sobre el nivel del suelo, que acaba en una reja o formón. Asimismo, delante de cada brazo se encuentra un disco ondulado que corta la vegetación y los residuos a fin de que no se embocen los brazos. En la parte posterior de cada uno de ellos se halla una placa, cuya inclinación, respecto del plano medio definido por cada brazo, permite ahuecar más o menos el suelo, según sus características y contenido de humedad. Los brazos se montan sobre un bastidor triangular de manera similar a los cuerpos de un arado. Cada elemento requiere una potencia del tractor de 30 CV, para una profundidad máxima de 35 cm. La anchura de trabajo es de 0,5 m por brazo, y se pueden montar entre 3 y 8. La labor realizada deja cubierto el terreno por los residuos existentes inicialmente. Puede, por lo tanto, efectuarse la siembra previa eliminación química de las malas hierbas.
- ❖ *Otros como:* Paraplow PW3100 Kongskilde; Paraplow M-0963227; Paraplow Durou; Paraplow Howard PW 2100, PW 3106, PW 3108; Paraplow Budassi; Paratill Paraplow Apache 5400; Paratill de arrastre Dolbi modelo PD 800 de ocho timones; Paratill Tye

curved leg subsoiler; Paratill Tye 4T; Paratil Super Bong; Paratill Dolby; Gebraucht-Durou-Cultivie-850; *Ecoltier* Distrimaq; Subsolador discompact Jympa DB-S, Jympa 2F, Durou cultivie 850 gebraucht, Cultivie Guilbart, Agram, Doble TT, Descompactador Seguéis DV/DR, Gascon IRIS y AKER, Agrome de V, Paratill Kongskilde paragrubber ECO, Gascon CH-2F, Gascon DSB y DSF, SP Civemasa; Descompactador Bellota, Distrimag Ecoltier, Ecoltier 5400 Apache 205 y 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).
- ❖ Chiseles AGROMET, John Deere, Kuhn, Galucho, Bonford Superflow modelo estándar de 7 cuerpos móviles; Escarificadores CASE, New Holland y otros equipos de labranza vertical de probada efectividad técnica, económica y ecológica.

De labranza mínima

- ❖ Equipo de labranza de Conservación AGRiC SLC-T-3220, SDC-1703, SLC-3220, que son implementos con diferentes órganos (rastras y subsolador) que incorporan los residuos, roturan y preparan el terreno para la siembra. Un solo implemento incorpora los residuos, rotura y prepara el terreno para la siembra. Las dos secciones delanteras de rastra permiten incorporar los residuos, evitando que se atoren en los timones y las dos secciones traseras de rastra permiten cortar los terrones las cuales están provistas de limpiadores para mantener los discos libres de material. Poseen brazos con solera de desgaste y punta reemplazable. Además, poseen puntas de labranza de conservación con aletas (similares a los multiarados o ecorados) 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.
- ❖ Equipos Massey Ferguson MF-RCL20, MF-RCT20, MF-SD03. 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 (con aletas), 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.
- ❖ Subsoladores Great Plains modelos: SS0300, SS1300, SS1700, SS1800, SS2000. Es una herramienta de Labranza Vertical que puede ser usado como arado convencional. En sistemas de arado convencional, puede eliminar las capas de compactación “piso de arado”

creadas por el paso previo de arados, rastras o cultivadoras. En un sistema de Mínima Labranza puede ser usado primero como una herramienta para preparar el terreno y luego para mantenerlo. Mantiene una estructura uniforme del terreno, y ayuda a la conservación de los organismos en la tierra, además de aliviar y reducir la compactación superficial hecha por el paso de tractores y otros equipos. Se puede equipar con 2 tipos de timón: de rearme automático y recto.

- ❖ Multilabrador 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).

Algunas recomendaciones para el adecuado uso y manejo de los aperos anteriores se exponen a continuación:

Bajo la Agricultura de Conservación los subsoladores y descompactadores deben trabajar bajo residuos de cultivos, por ello en la parte delantera de los brazos o timones se deben poner discos de corte de rastrojos. No deben elevar terrones a la superficie del suelo, requiriendo una labranza ulterior, para ello los cuerpos deben estar doblados hacia un lado (paraplow, paratill). Además, debe ser considerado solo como apero restaurador excepcional.

Schuler & Wood (1992) establecen que el subsolado puede ser utilizado para remover capas compactadas, cuando éstas limitan el rendimiento. Ellos recomiendan tener presentes los siguientes puntos: (1) Subsolar solamente cuando el suelo se encuentre seco a fin de que sea correctamente fracturado y (2) subsolar un poco por debajo de la zona compactada.

El arado de cincel es considerado como un implemento de mínima labranza debido a que deja restos vegetales en la superficie del suelo. El mismo realiza labores primarias de preparación de suelo (aradura, mullición), se identifica con la labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo sin invertir ni mezclar las distintas capas de su perfil, convirtiéndolo en un protector del suelo. Cuando el suelo se compacta debido al tráfico de la maquinaria o pastoreo de los animales, conviene efectuar una labor de "estallamiento", o sea romper, quebrar y abrir el suelo aumentando con esto su porosidad. El implemento apropiado para efectuar esta operación básica es el arado cincel (Carrasco, Riquelme, 2002).

Si se trata de arar un suelo con residuos abundantes, conviene utilizar una rastra de disco o una desmalezadora rotativa, antes del arado cincel o escarificadores.

Cuando el suelo está muy compactado, especialmente en suelos arcillosos, conviene pasarlo dos

veces, la primera pasada a una profundidad superficial y la segunda en forma trasversal, a la primera, rompiendo a la profundidad que se desea. De esta manera se suprimen los camellones que quedan en la primera pasada y al mismo tiempo se evita que las puntas sigan las mismas ranuras del suelo producidas anteriormente. La velocidad de trabajo puede ser de 5 a 9 km/h. Si el objetivo es sólo obtener un barbecho con el suelo desmenuzado y cubierto de camellones, para reducir la erosión provocada por el viento, conviene trabajar con el arado a la mayor velocidad; si la intención es dejar un suelo en condiciones de sembrar, se debe trabajar a velocidades lentas (Carrasco, Riquelme, 2002).

Dentro de los implementos de labranza vertical, los cinceles angulados demandan menos energía que los cinceles curvos (Raper, 2005a). De acuerdo con Raper y Bergtold (2007), se puede hacer mucho para disminuir el costo de operaciones con labranza vertical vía reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría y arreglo de los implementos, profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo.

Cuanto más ancho y más curvo es el cuerpo, la perturbación del suelo y la cobertura de restos vegetales será mucho más lograda (Duiker, 2007). Por otra parte, Serveson (2006) encontró que el arado de cincel con cuerpos curvos dejó entre 20 y 50 % de residuos en la superficie del suelo.

Simmons (2006) con el uso de arados de cincel con cuerpos rectos, registró una cobertura de restos vegetales ente 35 y 75% para materiales no frágiles, y entre 30 y 60% para los frágiles; los resultados obtenidos con arados de cincel con cuerpos curvos fueron de 25 a 65% para los materiales no frágiles y de 10 a 30% para los frágiles.

Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad del suelo en el momento de la labor, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad y la velocidad de trabajo así como, la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Spoor y Godwin, 1990; Fielke, 1996; Tong y Ballel, 2006; Godwin y O'Dogherty, 2007).

El uso adecuado del arado de cincel es función de la distancia entre cuerpos y el ordenamiento de los cuerpos en el bastidor. Los métodos con espaciamiento entre cuerpos de 25 cm; en general, dieron los mejores resultados. Mediante el empleo del arado de cincel, con adecuada calibración en el conjunto tractor-implemento y la posición y distancia entre los cuerpos, se podría obtener un control agronómicamente satisfactorio de malezas sin enterrarla, dejándola como material de cobertura. El mejor control de malezas (mayor residuo en la superficie) se

logró en función de la posición de los cuerpos en V separados a 25 cm. El arado de cincel dejó más del 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos (Hossne García, Álvarez, 2007).

Bowen (1981) expuso que, para una gran cantidad de implementos con púas fijas, púas flexibles, cinceles y subsoladores; los grados de desmenuzamiento están en función del espacio entre cuerpos, profundidad de trabajo, tipo y ancho del diente y las condiciones del suelo. Este autor concluyó que el espacio entre cuerpos no debe ser mayor de 1,5 veces la profundidad y el fragmentado del suelo se puede lograr cuando el contenido de humedad es adecuado.

Cadena *et al.* (2012) obtuvieron los mejores resultados con base en los indicadores: calidad de agregados, consumo de combustible y resistencia específica del suelo (17.3 mm, 22.9 L/ha y 27.4 kN/m respectivamente) en el tratamiento en el que se trabajó con una combinación de distancia entre subsuelos (órganos de trabajo) de 0.30 m, trabajando los cinceles frontales a 0.30 m y el cincel trasero a 0.40 m de profundidad en V.

Por otra parte, McKyes (1985) describe que para cinceles existe una profundidad de trabajo crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que ésta depende del ancho del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar en profundidades mayores a la crítica, es recomendable el uso de aletas laterales en la punta del cincel, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo (McKyes, 1985).

Kumar y Thakur (2005), señalan que la resistencia específica del suelo pudo disminuir hasta 26.92 % utilizando cinceles rectos con alas en comparación con cinceles convencionales rectos trabajando por encima de una profundidad crítica de 0.30 m en un suelo limo arcilloso.

Para cinceles y subsoladores es importante considerar el ángulo de ataque, ya que para un valor cercano 0,436 rad (25°) se presentan bajos valores de fuerza de tracción (Aluko y Seig, 2000), así como la menor resistencia específica (Magalhães y Souza, 1990; Chaudhuri, 2001).

Otros autores señalan que la inclinación de los brazos o timones a 45° con respecto a la horizontal en el sentido del movimiento del conjunto y el ordenamiento o configuración de los cuerpos labradores en delta o V en el bastidor, disminuyen la resistencia a la tracción.

Con el desarrollo de las tecnologías de labranza conservacionista se ha desarrollado y generalizado un apero con características especiales en sus órganos de trabajo, denominados “Partill y Paraplow”. Los mismos están dotados de brazos o timones inclinados angulados que garantizan el corte del suelo de una forma natural y sin la necesidad de inversión, si los brazos o montantes son inclinados curvos se les denomina “Ecoltier o Cultivie”. Este apero combina las bondades 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 reducción de la compactación producto de las presiones verticales del órgano de trabajo. (Cruz, 2014).

El descompactador (Paraplow) es un apero desarrollado a finales de los años setenta por la empresa Howard Rotavator conjuntamente con la División de Protección de Plantas de ICI, hoy Sygenta. Fue diseñado con la idea de regenerar los suelos afectados por la compactación originada tanto por la ausencia de labores, como por la acción de los equipos mecánicos, principalmente en las tareas de recolección. Este problema surgió en Inglaterra precisamente como consecuencia de la práctica continuada de la siembra directa donde la infiltración se reducía considerablemente como consecuencia de la reducción del volumen de poros del suelo. A todo ello se añadía la falta de aireación del mismo con los problemas derivados tales como la asfixia radicular.

Aperos de similares características fueron desarrollados años después en Francia, Estados Unidos y otros países de tecnología avanzada. El Paraplow de Howard Rotavator se compone de un bastidor similar al de los arados de vertedera sobre el que se montan un número de brazos comprendido entre 3 y 8, según los modelos. Cada brazo dispone de dos tramos rectos, el primero es perpendicular al plano del suelo, mientras que el segundo presenta una inclinación de 135° con relación al tramo anterior.

En la parte delantera del brazo se disponen unas placas de desgaste intercambiables cuya misión es cortar el suelo, mientras que en el extremo se coloca un formón que actúa rasgando el terreno inicialmente para facilitar la acción de corte antes citada. Detrás del formón se puede montar una pequeña aleta de inclinación regulable encargada de fragmentar más o menos el suelo según dicha inclinación. Los brazos se montan paralelos entre sí sobre un bastidor que se asemeja mucho al de los arados. En la parte posterior de dicho bastidor se dispone de una rueda que permite limitar la profundidad de trabajo y mantener la horizontalidad del apero.

El Paratill descompacta el suelo sin destruir su estructura, simplemente lo remueve logrando en mayor medida que no se alteren sus propiedades. Este apero posee un brazo o soporte con un ángulo de inclinación de aproximadamente 45° con respecto a la horizontal que le posibilita levantar suavemente el suelo y fracturarlo a lo largo de sus planos naturales de falla, dejándolo caer ya mullido en la posición original. El levantamiento suave del suelo permite no mezclar la capa superficial con el subsuelo, crear terrones, o enterrar los residuos de cosechas anteriores, lo cual es de gran importancia para la labranza conservacionista del suelo (Bigham & Brothers Co, 2008).

El paratill tiene la particularidad de romper una mayor zona del perfil del suelo comparado con los subsoladores rectos y dejar más residuos vegetales en la superficie (Busscher *et al.*, 2006;

Unger, 1993). La descompactación mediante paratill genera cambios positivos en las propiedades edáficas (Unger 1993). Sin embargo, son contradictorios los resultados que existen en cuanto a su perdurabilidad en el tiempo y su impacto en el rendimiento de los cultivos (Álvarez *et al.*, 2009).

El patinaje, la velocidad de avance y el número de pasadas del tractor inciden sobre el nivel de compactación. El patinaje aumenta la compactación debido al esfuerzo de corte adicional cerca de la superficie. La velocidad de avance influye sobre el hundimiento de las ruedas, que puede ser hasta un 20% superior a bajas velocidades. Ensayos realizados a velocidades de avance de 1 a 12 Km/h muestran un 50% más de compactación para las velocidades bajas (Bragachini, 2003).

Con respecto al número de pasadas, el segundo y sucesivos pasajes de una rueda sobre la misma zona producen una compactación inferior a la causada por la primera. La presión de contacto del suelo y la carga total son los dos principales factores al considerar la capacidad potencial de compactación de una maquinaria determinada. La presión de contacto sobre el suelo incide sobre la compactación superficial, mientras que la carga total afecta la compactación subsuperficial. Todas las causas analizadas hasta ahora se refieren principalmente a la compactación de la capa arable. El subsuelo generalmente resulta menos susceptible a la compactación. Influyen sobre la compactación del subsuelo el peso total de los vehículos, la rueda de cola con contrapeso, el arado de disco, el corte horizontal de algunos implementos, etc. La combinación de estas causas, conjuntamente con una elevada tasa de humedad y un bajo contenido de materia orgánica, favorece la formación de una capa compactada ("piso de arado") que impide el normal drenaje del agua y desarrollo de las raíces de los cultivos (Bragachini, 2003).

El estudio de la compactación causada por el tractor es de suma importancia, ya que este vehículo es el más usado en la agricultura, debido a su versatilidad para acoplar implementos de labranza, sembradoras, fumigadoras, entre otros. Las causas en la degradación del suelo por el simple tránsito de este vehículo son de gran magnitud, como fue encontrado por autores como Jorajuria & Draghil (2000), quienes afirman que, en tractores ligeros, diez pases del tractor es el número crítico a partir del cual se pierden las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos, especialmente para humedades por encima de la capacidad de campo. Además, la compactación causada puede persistir entre 3 y 11 años en suelos con contenidos de arcilla entre 6% y 85% (Alakuku, 1996).

Botta *et al.* (2009) manifiestan que el segundo y siguientes pases de tractor causan menor compactación que el primero, siendo el quinto pase responsable de la compactación en la capa superficial del suelo concordando con numerosos estudios citados por dicho autor.

Por su lado Yavuzcan *et al.* (2005); Smith *et al.* (2005) y Hilbert & Pincu (2002) concluyen que, en condiciones de elevada humedad, el tráfico debe reducirse al mínimo indispensable y los vehículos deben portar ruedas que les permitan limitar su presión de inflado. Una medida para minimizar estos efectos sin restringir la libre utilización de las máquinas, estaría dada por una adecuada selección de neumáticos y presiones de inflado de acuerdo a las cargas dinámicas soportadas (Hilbert & Pincu, 2000).

Gil & Valera (2001) recomiendan quitar el lastre cuando no sean necesarios grandes esfuerzos de tracción, para limitar así la carga sobre los rodamientos y a su vez disminuir el consumo de combustible, sugiriendo adicionalmente aprovechar al máximo el tractor en cada pase, empleando enganches traseros y delanteros para realizar más de una operación a la vez.

El tipo de neumáticos y su presión de inflado juegan un papel importante en cuanto a compactación del suelo, pues se debe tener en cuenta que el suelo no solo soporta el peso propio de la máquina, sino también fuerzas de tracción y vibraciones. La acción de los neumáticos provoca hundimiento, patinamiento y por ende mayor compactación del suelo (Smith *et al.*, 2005).

Nagaoka *et al.* (2003) encontraron ventajas al usar neumáticos radiales en relación a los diagonales por presentar menores valores en la resistencia a la penetración en Latosoles.

Botta *et al.* (2001) encontraron que los neumáticos con lastre registran mayores hundimientos, esfuerzo a la rodadura y aumentos de densidad aparente con tan solo un pase de tractor en un Tipic Argiudol.

Diversas soluciones son planteadas para reducir el efecto de los neumáticos en la compactación del suelo, como operar con bajas presiones de inflado incrementando así el área de contacto con el suelo, usar una distribución de carga no homogénea y reducir el contacto rueda-suelo (Hamza & Anderson, 2005); Por otro lado, autores como Alakuku *et al.* (2003) afirman que el uso de distribuciones de carga desiguales favorece sólo la superficie del suelo del efecto de compactación.

Keller & Arvidsson (2004) aconsejan para reducir la compactación del subsuelo utilizar doble neumático con bajas presiones de inflado. Arvidsson & Keller (2007) recomiendan estudiar la distribución de las tensiones en los neumáticos para reducir la carga ejercida en el suelo por éstos.

Los neumáticos de gran diámetro permiten aumentar el largo del área de contacto. Los radiales se deforman, aumentando la superficie de contacto en un 15-20%. Los neumáticos anchos, además de aumentar el área de contacto, permiten presiones de inflado muy bajas, aún inferiores a 0,4 kg/cm². Esto reduce la compactación de las capas superficiales y la profundidad de las

huellas en especial en suelos muy flojos como la cama de siembra. La compactación de los estratos superficiales está causada por la presión específica (que está estrechamente correlacionada con la presión de inflado), mientras que la compactación de los estratos más profundos (a más de 30-50 cm.), está determinada solamente por la acumulación total de la carga, independientemente de la extensión de la superficie en la que se distribuye. En lo referente a la presión de inflado, numerosos estudios coinciden en establecer el límite máximo en $0,8 \text{ kg/cm}^2$, para evitar la elevada compactación de los estratos superficiales de los suelos trabajados. Con respecto al peso por eje, el límite máximo para no causar problemas de compactación severa en suelos secos se encuentra en las 5 toneladas/eje.

El conocimiento de estos factores puede ser un indicativo acerca de cómo proceder en condiciones críticas, brindando soluciones específicas como la reducción temporal de presiones de inflado, regulación en las velocidades de operación y utilización de neumáticos radiales de perfil bajo, entre otros (Alakuku *et al.*, 2003). También utilizar neumáticos de gran diámetro y balón y de tecnología VF, tractores de doble tracción, sistema de rodaje con ruedas duales o de semiesteras o esteras, así como tractores con enganche delantero y trasero de implementos para realizar varias labores al unísono.

Otros métodos preventivos para limitar la compactación, o sus efectos negativos, son la reducción del tráfico de vehículos y una correcta y uniforme distribución de los residuos de cosecha. En el primer caso es necesario contar con equipos combinados que permitan realizar el mayor número de labores en una sola pasada y organizar las actividades de modo que en lo posible, ciertas operaciones se realicen fuera del lote (Ej.: la descarga de la cosechadora debe hacerse en las cabeceras), evitando el tránsito de tractores y tolvas dentro del campo. (Bragachini *et al.* 2003). También se recomienda utilizar aperos de gran ancho de trabajo preferiblemente con tractores con rodaje de alta flotación

Para algunos autores el contenido de humedad es el principal factor que afecta el proceso de compactación del suelo. Incrementos del contenido de humedad presente en el suelo combinados con operaciones de preparación causan una disminución en la capacidad portante del suelo, incrementos en la deformación y densidad aparente, disminución en la macroporosidad y disponibilidad de aire, haciéndose necesario la estimación de un contenido de humedad óptimo para el laboreo, en el cual se disminuya al máximo su incidencia en la compactación (Trauther & Arvidsson, 2003; Mohamed *et al.*, 2004; Hamza & Anderson, 2005).

Arvidsson *et al.* (2004) encontraron que el contenido de agua adecuado 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. Durante las labores agrícolas es deseable que la humedad del suelo sea inferior al

límite plástico (LP); varios autores consideran que el contenido de humedad más apropiado es de 0,8 a 0,95 LP (Keller, 2004).

CONCLUSIONES

- Los aperos utilizados en la labranza conservacionista permiten atenuar o prevenir el daño, conservar o mejorar las propiedades físico químicas del suelo, aumentar la eficacia del empleo del agua, disminuir el consumo de combustibles y lubricantes, una mayor productividad o capacidad de trabajo, así como una mayor eficiencia y eficacia económica con respecto a la labranza convencional.
- El arado de cincel con órganos rígidos y flexibles, los escarificadores, los subsoladores, el paraplow, el paratill, el cultivie y el ecotier, así como los equipos que realizan labores combinadas, son los más utilizados en la labranza conservacionista.
- La eficacia ecológica, económica y tecnológica de la labranza conservacionista está estrechamente relacionada con el uso adecuado y racional de los tractores utilizados como fuentes energéticas, así como con las características constructivas y técnicas de estos.

BIBLIOGRAFIA

- AGRISEM: "Equipo para agricultura sostenible. La referencia en aperos para mínimo laboreo ", AGRISEM Internacional: 74, 2006.
- AGROMET, 2013 [en línea] abril 2013 disponible en: <http://www.agromet.net/bota.htm> [consulta: el 10/3/2008].
- AGUILERA, R. O.: "Tecnologías de preparación de suelos aplicando la Agricultura Conservacionista para diversos cultivos. ", III conferencia científica Agring: 2007.
- Alakuku L., Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organics soils, Finlandia: Soil & Tillage Research, 37: 211-222, 1996
- Alakuku L. et al., Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. Finlandia: Soil & Tillage Research, 73:145– 160, 2003
- ALT, R. Es hora de la cero labranza [en línea] Disponible en: <http://www.australosorno.cl/site/edic/20030326060525/pags/2003032606204.html> [Consulta: 10 de mayo 2013].
- Aluko, O.B., and D.A. Seig, An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting, Soil Tillage Research, 57:143-157, 2000
- Álvarez, C. R.; M Torres Dugan; E. R. Chamorro; D' Ambrosio & MA Tabeada,

- Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos, *Ciencias del suelo* 27 (2): 159 -169, 2009
- Álvarez, D. A., Reducir costos y ganar calidad, *Cañaveral*, (2): 3- 8, 2000.
- Arvidsson J. y Keller T., Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure, *Soil & Tillage Research*, 96: 284–291, 2007
- Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson, Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents, *Soil Tillage Research*, 79:221-231, 2004
- Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson, Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents, *Soil Tillage Res.* 79: 221-231, 2004
- Asociación española agricultura de conservación / Suelos vivos (AEAC/SV 2008)
<http://www.agriculturadeconservacion.org>, 2008 Fecha de consulta: agosto de 2012.
- 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>, 2008 [Consulta: 16 de mayo 2013].
- Botta G., Jorajuria D., Draghi L., Esfuerzo a la rodadura en función de diferentes contrapesados y tamaño de neumáticos, *Agro Ciencia – Universidad Nacional de Luján, Argentina*, 2001
- Botta G., Tolon A., Bellora F., Effect of the number of tractor passes on soil rut depth and compaction in two tillage regimes, *Soil & Tillage Research* 103, 381–386, Argentina, 2009
- Bouza, B.: Labranza mínima con multiarado en caña de azúcar. Memorias de 8va Convención METANICA 12-17 julio 2003, pp. 10, La Habana, 2003.
- Bragachini M.; Bongiovanni R.; Ljubich M.; Gil R.; Bonetto L.; Birón A., Sistemas de traslado de equipos para reducir la compactación, INTA, Rivadavia 1439 (1033). 1-47. Buenos Aires, Argentina, 2003
- Cadena Zapata, M.; S. Campos; A. López; A. Zermeño, Configuración de herramientas de labranza vertical para reducir demanda de energía, *Terra Latinoamericana*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, vol. 30, núm. 3
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325509004>, 2012
- Carrasco J., Riquelme J., El arado de cincel. Implemento que ayuda a conservar los suelos, mejora la porosidad, elimina el pie de arado, INIA, Serie La Platina No 88, agosto, 2002

- Chaudhuri, D., Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills, A review. J. Agric. Eng. Res., 79:125-137, 2001
- 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.
- Derpsch R, Florentín M, Moriya K., Importancia de la siembra directa para alcanzar la sustentabilidad agrícola, Proyecto Conservación de Suelos MAG - GTZ, DEAG, San Lorenzo, Paraguay, 2000
- Duiker, S. W., Tillage management. Crop Management Extension Group (CMEG) Penn State, College of Agricultural Sciences, Penn State Cooperative Extension, 2007
- Escarificadores CASE [en línea] abril 2013 disponible en <https://webparts.pvassociates.net/cnh/selectedparts.php>[consulta:15/05/2008] [consulta:12/9/2013].
- FAO, Capítulo 10-Comparación de costos en diferentes sistemas de labranza. www.fao.org/ag/AGSe/7mo/66/cap10.pdf, 2005 Revisado 12 de junio del 2014.
- Fielke, J. M., Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil, J. Agric. Eng. Res. 63: 61-72, 1996
- Friedrich, T., Agricultura de Conservación, La intensificación sostenible de la producción agrícola UCLV, pp. 64, 2013.
- Gil J. & Valera D., Estudio de la compactación del suelo por los neumáticos. España, Vida Rural 164: 60-62, 2001
- González Cueto O.; Iglesias Coronel C.; Herrera M., Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18, 2: 57-63, 2009
- González Marrero J. A.; Y. García, Los tractores en una agricultura agroecológica y sostenible, Revista digital de Medio Ambiente “Ojeando la Agenda” ISSN 1989-6794, n° 41, Mayo del 2016,.
- Hilberth J. & Pincu M., Compactación y rodadura producida por tres dotaciones de neumáticos, Instituto de Ingeniería Rural – INTA – CIA, Argentina, 2002
- Hossne García, A. J. y Enmanuel A. Álvarez C., Influencia de la posición y número de los cuerpos del arado de cincel en un suelo de sabana de Venezuela. Revista UDO Agrícola 7 (1): 209-220, 2007
- Hossne García, A. J.; E. A. Álvarez. Influencia de la posición y número de los cuerpos del arado de cincel en un suelo de sabana de Venezuela, Revista UDO Agrícola 7 (1): 209-220, 2007.

John

Deere

http://www.deere.com/es_MX/ag/productos/maquinarias/equipo_de_labranza/roturadores_913_915.html , 2013 [consulta: 6/09/2013]

Jorajuria D. & Draghi L., Sobrecompactación del suelo agrícola parte I: influencia diferencial del peso y del número de pasadas, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4 (3):445-452, Argentina, 2000

17

Keller T. & Arvidsson J., Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil, Suiza: *Soil & Tillage Research*, 79, 191–205, 2004

Keller, T., Soil compaction and soil tillage studies in agricultural soil mechanics, Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Uppsala, Suecia, 2004

Keller, T., J. Arvidsson, and A. R. Dexter, Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil, *Soil Tillage Res.* 92: 45-52, 2007

Kumar, A. and T. C. Thakur, An investigation into comparative test of conventional and winged subsoilers, ASAE paper no.051061, ASAE Annual International Meeting, Tampa, FL, USA, 2005

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.

Magalhães, P.S.G., e W.R. Souza, Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças. 2:1033, XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, Sociedad Brasileira de Ingeniería Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil, 1990

McKyes, E., Soil cutting and tillage. *Developments in agricultural Engineering*, Elsevier Science Ltd. Amsterdam, The Netherlands, 1985

Mejías Brito J.; J.A. Martínez; I. Macías. Impacto ambiental de la introducción de un prototipo agrícola para la labranza de conservación, *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, Vol 6, N° 16, febrero 2013.

Mohamed A., Medina H., Frometa M., Itza C., Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba, Cuba: *Soil & Tillage Research* 76, 95–103, 2004

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.

Nagaoka A., Lancas A., Castro P., Lopez A., Guerra S., Resistência do solo à penetração, após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se um equipamento para ensaio dinâmico. 2003, Brasil: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p.387-393, 2003.

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].

OEIDRUS. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable México. Estudio Bibliográfico sobre Labranza Mínima, Ce-ro y de Conservación. Consultado en: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca/estudios/agricolas/labranza.pdf. Fecha de consulta: 14/12/2011.

OLIVET, Y. E.: Efecto de tres sistemas de labranza en las propiedades físicas y en el consumo energético para el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) en un Vertisol, 154pp., Tesis en opción (al grado científico de Doctor en Ciencias Técnica Agropecuarias), UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Madrid, España, 2010.

Pandey, S. Ahorrar para crecer. Recuperado el 24 de febrero del 2014. En <http://www.fao.org/ag>, 2012.

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.

Raper, R. L., Subsoiler shapes for site-specific tillage, *App. Eng. Agric.* 21: 25-30, 2005

Raper, R. L. and J. S. Bergtold, In row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation, *Appl. Eng. Agric.* 23: 463-471, 2007

Schuler, R. T. and R. K. Wood, Soil compaction. In *Conservation Tillage Systems and Management*, Ch~ 9, 42-45, Ames, Iowa: MidWest Plan Service, 2002

Shkiliova L.; R. Fundora. La mecanización en la Intensificación Sostenible de la Producción Agrícola (ISPA). *Revista La Técnica* ISSN: 1390-6895, N° 13, pp. 32 – 43. diciembre 2014

SILVEIRA, J.: Propuesta de desarrollo de equipos para la agricultura de conservación. *Memorias de Conferencia Internacional AGROMEC 2007*, 6-8 de julio 2007, pp. 15, Palacio de Las Convecciones, La Habana, 2007.

Simmons, F. W., Soil management and tillage systems. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. 142 pp, 2006

Smith J., Hilbert J., Aucana M., Clasificación de vehículos en función del grado de compactación ejercida sobre suelo agrícola. Argentina: Instituto de Ingenieria Rural – INTA – CIA, 2005

Spoor, G. and R. J. Godwin, Soil loosening requirements, implements and techniques, HGCA Research Review, No.19, UK, 1990

19 Tong, J. and Z. M. Ballel, Effect of the rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: A computer simulation. Soil Tillage Res. 88: 55-64, 2006

Trautner A. & Arvidsson A., Subsoil compaction caused by machinery traffic on a Swedish Eutric Cambisol at different soil water contents, Suiza: Soil & Tillage Research, 73, 107–118, 2003

Yavuzacn H., Matthies D., Aurnhammer H., Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. Turquía: Soil & Tillage Research, 84, 200–215,2005