

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



TRABAJO FINAL DE CARRERA

**DESCOMPACTADORES ANGULADOS LATERALES.
PRESTACIÓN DE DIFERENTES DISEÑOS Y
CONFIGURACIONES ESPACIALES.**

ALUMNO: Ponce, Mariano Julio

LEGAJO: 26561/1

DIRECTOR: Ing. Agr. Matilde Mur

CO-DIRECTOR: Ing. Agr. Roberto H. Balbuena

Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal

2014

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
ANTECEDENTES	7
HIPÓTESIS FUNDAMENTAL	13
HIPÓTESIS	13
OBJETIVOS	13
<i>Objetivos generales</i>	13
<i>Objetivos específicos</i>	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
<i>Lugar del ensayo</i>	14
<i>Maquinaria utilizada</i>	16
<i>Diseño experimental</i>	21
<i>Variables experimentales</i>	22
<i>Resistencia a la penetración (RP)</i>	22
<i>Área trabajada (AT)</i>	24
<i>Esfuerzo de tracción (ET)</i>	25
<i>Resistencia específica (RE)</i>	26
<i>Área de elevación (AE)</i>	26
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
<i>Área trabajada</i>	27
<i>Área de Elevación</i>	33
<i>Esfuerzo de tracción</i>	39
<i>Resistencia específica</i>	44
<i>Resistencia a la penetración</i>	47
CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56

RESUMEN

El proceso de compactación del suelo es una de las formas de degradación física más comunes que se presenta mediante la densificación y reducción de la porosidad del mismo, asociado con cambios en su estructura y, generalmente, un aumento de la resistencia mecánica y una reducción en la conductividad hidráulica. Frente a la problemática planteada existe como alternativa desde la mecanización, la utilización de descompactadores con diferentes características de diseño. En este trabajo se evaluó el desempeño de dos diseños de montantes, angulado lateral de lámina curva y angulado lateral de lámina recta en un suelo argiloso típico (tratamientos), en dos disposiciones: mismo plano de acción y distinto plano de acción (subtratamientos). Las variables evaluadas fueron: resistencia a la penetración, área trabajada, área de elevación, esfuerzo de tracción y resistencia específica. Para el área trabajada los montantes de lámina curva obtuvieron valores mayores con diferencias significativas respecto a los rectos. Para la resistencia específica, los angulados curvos obtuvieron los menores valores, siendo significativos respecto a los rectos en ambas disposiciones. Para las variables área de elevación y el esfuerzo de tracción no existió significancia ni entre los montantes ni entre las disposiciones. Para la resistencia a la penetración los resultados fueron más variables, pero ambos diseños de montantes en las dos alternativas de disposiciones se diferenciaron de la situación testigo. Como consecuencia los montantes angulados curvos labraron más área y fueron energéticamente más eficientes. La roturación del suelo por los montantes angulados laterales posee una fuerte simetría lateral con respecto a la posición de la reja, similar a la que caracteriza a los implementos de montantes rectos. Además se encontraron efectos de roturación por debajo de la profundidad de labor.

Palabras clave: escarificador; labranza vertical; descompactación; resistencia específica; área trabajada.

INTRODUCCIÓN

El sistema productivo agropecuario argentino de carácter extensivo ha experimentado principalmente en los últimos veinte años, un cambio en el proceso de mecanización de implantación de los cultivos tanto para la producción de granos como de forrajes. Lo antedicho se evidencia en la disminución del área sembrada bajo la forma de “labranza convencional” con implementos como arado de reja y vertedera, rastra de discos, entre otros y el aumento de la “siembra directa”, que implica la remoción del suelo solo en la línea de siembra (microlabranza), llegando al 81% del área total sembrada en Argentina en la campaña 2010-2011 (INTA, 2011).

La “ausencia de labranza de suelo” (siembra directa), la presencia de maquinaria agrícola cada vez de mayor peso, entre ellos los acoplados tolva con una capacidad de carga de hasta 343 kN, el tránsito en condiciones de suelo húmedo, la falta de rotación con cultivos adecuados (escaso aporte de residuos de cosecha por ausencia de gramíneas), el alto contenido de limo en algunos suelos y el bajo porcentaje de materia orgánica del horizonte superficial del suelo, generan un aumento en la compactación superficial y sub-superficial del mismo (Elisei et al., 2012).

Si bien los suelos en producción bajo sistemas de no labranza frecuentemente ofrecen una mayor capacidad portante (Domínguez et al., 2000) y, en consecuencia, una mayor resistencia a la deformación y a la compactación por el tránsito de vehículos, la ausencia de labranzas implica que no existan acciones que permitan atemperar periódicamente sus efectos, principalmente a nivel subsuperficial, por lo cual se convierte en un proceso acumulativo (Claverie & Balbuena, 2005).

Con respecto al peso de las máquinas agrícolas, Jorajuría (2005) concluye que más de 49 kN por eje compactan el suelo en forma subsuperficial más allá del tipo de rodado, similar a los resultados encontrados por Botta et al., (2009), carga superada por muchos tractores, cosechadoras, sembradoras y fundamentalmente acoplados graneleros o tolvas actuales.

El proceso de compactación del suelo es una de las formas de degradación física más comunes (Casagrande et al., 2009) que se presenta mediante la densificación y reducción de la porosidad del mismo, asociado con cambios en su estructura y, generalmente, un aumento de la resistencia mecánica y una reducción en la conductividad hidráulica (Raper & Mac Kirby, 2006).

El deterioro por compactación trae consecuencias tales como la creación de un ambiente escaso en el desarrollo y crecimiento radical, reducción de la infiltración y por lo tanto un aumento del escurrimiento superficial y de las posibilidades de erosión (Raper & Mac Kirby, 2006), reducción del agua disponible para la raíces, generación de ambientes con escasa concentración de oxígeno (reductores) y, además, una disminución de la movilidad de los mismos en el perfil de suelo (Koostra & Stombaugh, 2003).

Los procesos naturales de recuperación de los suelos deteriorados por compactación, tales como ciclos de humectación-deseccación, congelamiento-descongelamiento, actividad biológica, generación de poros por acción de raíces, incorporación de materia orgánica por la rotación de cultivos, no son suficientes (Jorajuría, 2005), debido a los ciclos productivos consecutivos a los cuales son sometidos los suelos.

Frente a la problemática planteada existe como posible solución desde la mecanización, la utilización de escarificadores o descompactadores con diferentes características de diseño, principalmente en lo que se refiere al montante y a la reja.

Las características inherentes a la labor de descompactación han determinado que prácticamente la totalidad de los implementos estén equipados con montantes rígidos, a diferencia de los de arcos flexibles que alcanzaron una gran difusión desde mediados de la década del 70, debido a que al profundizar, el ángulo de ataque de la reja aumenta por el mayor esfuerzo al que es sometido el montante, y la flexibilidad del mismo, generando incrementos importantes en el esfuerzo de tiro, con mayor roturación del suelo y desuniformidad en la profundidad de labor (Claverie & Balbuena, 2005).

Algunos diseños de implementos descompactadores pueden introducirse en los sistemas de siembra directa ya que pueden trabajar sin afectar de forma importante la superficie del suelo, permitiendo la posterior labor de una máquina de siembra directa. Además, son capaces de dejar gran cantidad de residuos en superficie manteniendo la cobertura del suelo necesaria para atemperar procesos de erosión (Balbuena et al., 2009).

Estos implementos efectúan una labor de escarificado del suelo, por lo que, si bien realizan principalmente una remoción vertical, también producen importantes efectos laterales de roturación en relación al ancho del órgano (Payne, 1956). Principalmente pueden caracterizarse por una baja translocación de los estratos del

suelo, una cobertura de residuos vegetales posterior a su pasaje variable de acuerdo al diseño, configuración y operación del implemento, su versatilidad y facilidad de operación en comparación con otros implementos de labranza (Claverie & Balbuena, 2005).

Los diseños de montantes más comunes en el mercado de la maquinaria agrícola son los rectos, denominados cinceles de arcos rígidos, subsoladores, escarificadores. Los de montante inclinado, son generalmente conocidos por la marca comercial de mayor difusión. Entre ellos encontramos los montantes angulados de lámina recta, como Paratill y Paraplow, y los angulados de lámina curva, como Cultivie y Escoltier (Claverie & Balbuena, 2005).

Los escarificadores son máquinas agrícolas de fácil operación y regulación debido a la simetría de sus órganos activos, o de no ser así, se presentan mediante una configuración en el bastidor que le otorga simetría al conjunto, por lo que no se generan componentes laterales que dificulten su desplazamiento.

Los principios de trabajo y roturación del suelo de los escarificadores para descompactación fueron descritos por Spoor & Godwin (1978) y por Spoor & Fry (1983). A niveles superficiales el suelo es desplazado hacia adelante, arriba y lateralmente, bajo un patrón denominado de fallas crecientes, donde se producen fracturas a lo largo de planos definidos desde la punta de la reja hacia la superficie con una angulación aproximada de 45° respecto de la horizontal. Este modelo de roturación continúa hasta cierta profundidad, denominada profundidad crítica, donde el suelo comienza a moverse hacia adelante y a los costados generando compactación en profundidad. Esta profundidad depende de las características geométricas de la reja, de la humedad y densidad del suelo.

Relacionado al párrafo anterior, y a la problemática de compactación, procesos de descompactación y recompactación del suelo, Spoor et al., (2003) afirman que la labor debe “fisurar” el suelo para aliviar la capa compactada, sin modificar el estado aparente de suelo, es decir sin modificar en forma importante las unidades estructurales. Este tipo de roturación mantiene en el suelo cierta capacidad portante o de soporte capaz de minimizar los procesos de recompactación (Spoor, 2006).

Una característica a destacar es el ángulo de ataque de las rejas, que se define como el formado por la inclinación de la reja con respecto a la horizontal en la dirección de avance. Según Payne & Tanner (1959) con valores de hasta 45° el suelo provee una componente vertical que contribuye a la penetración de los órganos

activos, cuyo sentido se invierte para mayores angulaciones. Esto permite que este tipo de implementos penetre por efecto de succión al suelo y no necesiten del peso para el proceso, lo que abarata su construcción en términos de materiales.

Además estos autores encontraron que la mayor eficiencia de la labor, medida como esfuerzo de tiro sobre área roturada, era mayor a menores ángulos (alrededor de 20°). Estos resultados coinciden con los encontrados por Balbuena et al., (1997), quienes trabajando con montantes rígidos, con ángulos de 32°, 38° y 45°, en suelos Argiudoles, obtuvieron los menores valores de resistencia específica y los mayores valores de área trabajada para los menores ángulos (32° y 38°). La variación de los aspectos energéticos vinculados al ángulo de ataque de las rejas también fue analizada por Mc Kyes (1985), quien concluye que tanto los mayores ángulos de ataque como también una elevada relación profundidad/ancho de reja determinan un aumento del grado de roturación y de la resistencia específica al laboreo (la relación inversa entre el esfuerzo de tracción y el área trabajada por el implemento).

En el trabajo con escarificadores, a diferencia de otros implementos de labranza, se produce el proceso de interacción entre los órganos activos en el que, según Willat & Willis (1965), existen dos extremos. El primero se da cuando las líneas de acción de los órganos activos están tan cerca que producen un perfil plano de trabajo en profundidad, el otro extremo se da cuando las líneas de acción se encuentran tan separadas que producen perfiles independientes entre sí. El punto medio entre estas dos situaciones, es decir, cuando hay una superposición intermedia entre los perfiles, es lo que se denomina proceso de interacción.

Con respecto a esta temática ensayos llevados a cabo por Godwin et al. (1984), arrojaron como resultado valores mínimos de resistencia específica (R.E.) y uniformidad en el laboreo con espaciamientos entre órganos activos del orden de 1,4+/- 25% veces la profundidad de trabajo.

ANTECEDENTES

Elisei et al. (2012) trabajando con montantes angulados rectos (con rejas adosadas sobre la lámina recta angulada del montante o timón) y angulados curvos a una profundidad de 0,32-0,35 m encontró diferencias significativas en los valores de índice de cono (IC) con respecto al testigo (sin labor de escarificado). Para el montante recto los valores fueron menores en toda la profundidad analizada (0-0,45 m), y para el

curvo solamente hubo diferencias significativas en los primeros 0,20 m de suelo. Asimismo, encontró diferencias significativas entre los montantes angulados rectos y angulados curvos entre si, fundamentalmente entre los 0,15 m y los 0,30 m de profundidad, donde se obtuvieron menores valores de índice de cono para los primeros.

Álvarez et al. (2010) durante 2004, 2005, 2006 realizaron 12 ensayos en diferentes localidades de la pampa ondulada, en los cuales se efectuó la labor de descompactación a una profundidad de 0,35 m a 0,40 m. En ellos se tomaron datos de resistencia a la penetración, mediante penetrómetro de cono, y todos presentaron valores estadísticamente menores que los testigos (parcelas sin descompactar).

Sobre suelos del sur de Córdoba, clasificados como Haplustoles y Hapludoles, Cholaky et al. (2009) realizaron la labor de descompactación con escarificadores de rejas aladas a una profundidad de 0,26 m a 0,28 m, encontrando en todos los casos que la resistencia a la penetración o resistencia mecánica del suelo fue estadísticamente menor que los tratamientos sin labor de descompactación, en la profundidad labrada. Además estos autores realizaron la técnica de perfil cultural donde se aprecia que hubo efectos de la labor por debajo de la profundidad de trabajo.

Raper (2005) trabajó sobre suelos franco-arenosos y franco-arcillosos, en canales edafométricos, a los que sometió a un proceso de compactación (para representar condiciones de campo) para luego utilizar ocho vástagos o montantes diferentes para labrar los mismos, a una velocidad de 0,45 m.s⁻¹ y 0,33 m de profundidad. Los montantes utilizados fueron: montante recto con reja alada, montante recto con reja estándar o convencional, montante recto con ángulo de 45° y reja alada, montante recto con ángulo de 15° y reja alada, montante recto con ángulo de 45° y reja estándar o convencional, montante angulado de nombre comercial "Paratill", montante angulado de nombre comercial "Terratill", montante curvo con un radio de 0,43 m y ángulo de 15°, de nombre comercial "TerraMax". Las variables medidas fueron área roturada, esfuerzo de tiro, superficie disturbada y la variable calculada resistencia específica que es la relación inversa entre esfuerzo de tiro y área roturada.

Los resultados obtenidos de esfuerzo de tracción, sobre el suelo franco-arcilloso para el montante angulado "Paratill" y el montante curvo "TerraMax", fueron cercanos a 10,15 kN para el primer caso y de 9,65 kN para el montante angulado curvo, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos, correspondiendo los menores registros al montante curvo. En resistencia específica los valores hallados

fueron de $0,98 \text{ kN.dm}^{-2}$ para el montante angulado "Paratill" y $0,89 \text{ kN.dm}^{-2}$ para el curvo "TerraMax", sin diferencias estadísticamente significativas entre sí. Para el área roturada no hubo diferencias para los mismos montantes, al igual que para el área disturbada a nivel superficial. No obstante ello, los montantes angulados recto "Paratill" y angulado curvo "TerraMax", sí se diferenciaron de los demás montantes, fundamentalmente de los rectos, ya que presentaron una menor área disturbada en superficie. Esta última variable evalúa la condición superficial del suelo luego del pasaje del descompactador, relacionada a la elevación de la cota del terreno y la modificación del relieve generada por la labor. Los valores hallados para área roturada fueron de $10,28 \text{ dm}^2.\text{montante}^{-1}$ angulado recto y de $10,75 \text{ dm}^2.\text{montante}^{-1}$ angulado curvo, ambos sobre suelo franco-arcilloso.

La relevancia de la variable área roturada se aprecia en los sistemas productivos en donde el proceso de siembra se realiza a través de la "siembra directa", por lo que un lote con la superficie del suelo perturbada puede por un lado mejorar los aspectos vinculados a la condición física del suelo para la implantación del cultivo, pero también afectar severamente el desempeño de la máquina sembradora, en relación a la uniformidad de labor en lo concerniente a profundidad de siembra.

Elisei (2013) trabajando con montantes angulados curvos y angulados rectos, remarca la baja interacción que existe entre los montantes que trabajan convergentes en conjunto, es decir, con la disposición de la angulación lateral hacia el mismo lado. Como consecuencia, el área roturada en la zona entre los montantes es menor, fundamentalmente por una mayor altura del "lomo" entre ellos o una menor profundidad efectiva de labor.

Con estos mismos diseños de montantes, angulado rectos "Paratill" y angulados curvos "TerraMax", Simoes et al. (2009) evaluaron sus prestaciones en lo que respecta a esfuerzo tractivo. El ensayo se llevó a cabo en un suelo areno-arcilloso de la serie Dothan, en Headland, Alabama. La velocidad de desplazamiento fue de $1,12 \text{ m.s}^{-1}$, la profundidad de $0,38 \text{ m}$, y los resultados fueron de unos $6,9 \text{ kN/montante}$ para el diseño angulado recto y unos $7,9 \text{ kN.montante}^{-1}$ para el angulado curvo. También evaluaron la resistencia a la penetración hasta los $0,5 \text{ m}$ mediante el Índice de Cono (IC), obteniendo significancia, de ambos diseños de montantes con respecto al testigo.

Kichler et al. (2007) realizaron un ensayo con montantes tipo "Paratill" para evaluar el esfuerzo de tiro en función de la frecuencia de subsolado, sobre un suelo

franco-arenoso, a una velocidad de $1,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, con humedad entre el 10% y 11% y a una profundidad de 0,33 m. Encontraron que el esfuerzo de tiro promedio por montante fue de 5,39 kN para el tratamiento con frecuencia anual, 5,18 kN para la frecuencia bienal y 6,62 kN para la frecuencia trienal de subsolado.

Karlen et al. (1991) en un ensayo en Carolina del Sur, EE.UU., evaluaron el esfuerzo de tracción requerido por cuatro tipos diferentes de diseño de montantes. Uno de los diseños era el tipo "Paratill", sobre un suelo areno-limoso con un 9% de contenido de humedad promedio, a $0,83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de velocidad de avance y a una profundidad real de 0,30 m aproximadamente (profundidad teórica de 0,40 m). Se utilizaron dos montantes dispuestos en forma convergente hacia el centro sobre el bastidor. El esfuerzo de tracción rondó en unos 9,65 kN por montante. Mediante el Índice de Cono se determinó la Resistencia a la Penetración en MPa, para el testigo y cada tratamiento, obteniendo diferencias significativas entre ellos. Para el testigo obtuvo, aproximadamente, valores de 2 MPa entre los 0,05 m a 0,10 m de profundidad, de 4 MPa entre los 0,15 m y los 0,20 m y para las parcelas descompactadas 0,5 MPa a 0,20 m y 2 MPa a 0,40 m.

En lo concerniente a la disturbación superficial de suelo (Área de Elevación), Raper (2005) explica que aunque los montantes angulados laterales requieren algo más de esfuerzo tractivo con respecto a los montantes de diseño recto, los primeros son mayoritariamente usados por la escasa disturbación superficial de suelo. A su vez Riley & Fielke (1990), destacan que la presencia de una cuchilla que asiste en el corte del rastrojo por delante de la línea del montante de un descompactador genera un canal en el suelo adonde tienden las fracturas del proceso de roturación y como consecuencia el suelo es elevado en menor medida en comparación con la ausencia de la cuchilla. En la misma temática Fielke & O'Driscoll (1986), concluyen que el área de elevación se ve reducida por la presencia de cuchillas que asisten en el corte de rastrojo. Balbuena et al., (1997) estudiaron el efecto de las cuchillas sobre los patrones de roturación y la energía requerida de la labor de escarificación, encontrando que la presencia de cuchillas disminuye tanto el esfuerzo tractivo como el área trabajada generada por descompactadores de arcos rígidos.

Bragachini et al., (2012) analizan la importancia en la uniformidad en la profundidad de siembra en maíz con respecto al rendimiento y como es afectada por la superficie del terreno por donde transita la máquina sembradora. En este ensayo, los autores evaluaron dos profundidades de siembra (0,03 m y 0,06m) y tres velocidades

(1,11 m.s⁻¹, 1,67 m.s⁻¹ y 2,5 m.s⁻¹). Determinaron que las mayores pérdidas del rendimiento son consecuencia de la profundidad de siembra, es decir, que superficies desuniformes pueden actuar sobre el accionamiento del tren de siembra, generando un deficiente copiado del terreno por el mismo, afectando la colocación de la semilla a la profundidad adecuada.

Con respecto a la RP, Zou et al. (2001), concluyen que la tasa de crecimiento radical del pino radiata (*Pinus radiata* D.Don) se ve disminuida a la mitad cuando la R.P. aumenta de 0,5 MPa a 1,5 MPa. Dexter (1987) ensayando con plantas anuales, vio afectado su potencial de crecimiento en un 50% con valores de Resistencia a la Penetración de 2MPa (para las especies de mayor tolerancia). A su vez, Threadgill (1982) indicó que valores de 1,5 MPa de resistencia a la penetración, disminuyen el crecimiento de raíces (en coincidencia con Zou et al., (2001) y valores de 2 MPa lo impiden.

Colareda (2013) evaluando la resistencia a la penetración mediante índice de cono en un suelo Argiudol típico (Soil Taxonomy, 1999), luego del pasaje de un escarificador de montantes angulados lateral de lámina curva hasta una profundidad máxima de 0,35 m, encontró significancia en este parámetro con respecto al testigo hasta una profundidad de 0,5 m.

En lo que respecta a montantes angulados laterales de lámina recta, Hilbert & Pincu (2000), trabajaron sobre un suelo Arguidol acuico (Soil Taxonomy, 1999) hasta una profundidad máxima de 0,30 m aproximadamente, y encontraron significancia con respecto al testigo en la resistencia a la penetración mediante índice de cono hasta 0,42 m de profundidad.

En la misma temática trabajó Fielke (1996), quién evaluó la incidencia de diferentes diseños de reja, en estado desafilado, sobre la roturación del suelo por debajo de la profundidad de labor, encontrando efectos hasta 0,05 m debajo de la reja.

Reeder et al. (1993) trabajando con montantes de diseño "Paratill" (angulados rectos), sobre suelos clasificados como franco arcillo limosos, a una profundidad real de 0,28 m y a 1,94 m.s⁻¹ aproximadamente, obtuvieron 4,31 kN de esfuerzo de tiro por montante. Del mismo modo, con cuatro montantes de igual diseño dispuestos en forma de flecha y convergentes hacia el centro, sobre un suelo clasificado como Paleustol Petrocálcico con un promedio de humedad de 18,37 %, a una profundidad 0,26 m y velocidad media de 1 m.s⁻¹ Vallejos et al. (2010) encontraron 4,61 kN de esfuerzo de tracción por montante. Asimismo, cuantificaron 48,00 dm² de área

trabajada o frente de labor y a partir de las dos variables anteriores obtuvieron una resistencia específica de $0,38 \text{ kN.dm}^{-2}$.

Claverie et al. (1998) evaluaron el comportamiento de arcos de Paratill sobre un mismo plano de acción, dispuestos a 2 distanciamientos, 0,35 m y 0,45 m, seleccionados como tratamientos y profundidades de labor de 0,25 m y 0,32 m elegidas como subtratamientos. Determinaron que el menor valor de resistencia específica se correspondió con el mayor distanciamiento entre órganos activos y la mayor profundidad, con una relación distancia entre rejas y profundidad de labor de 1,42. El valor determinado fue de $0,95 \text{ kN.dm}^{-2}$.

Balbuena et al. (2003) trabajaron con montantes angulados curvos ("Cultivie"), en forma convergente por pares y en forma convergente en conjunto hacia el centro, sobre un suelo Argiudol típico, franco arcilloso, a una profundidad de 0,35 m y con una velocidad teórica de $2,1 \text{ m.s}^{-1}$. Informaron que la menor resistencia específica al laboreo, se produjo con una relación distancia entre líneas de acción y profundidad del órgano activo de 1,528. Los resultados antes mencionados se dieron para una distancia entre rejas de 0,54 m y una profundidad de labranza de 0,35 m. Estos mismos autores determinaron que el esfuerzo de tiro, con la configuración convergente por pares, con una distancia entre rejas de 0,34 m, fue de 9,05 kN por montante, a su vez el área trabajada por pares de montantes fue de $21,117 \text{ dm}^2$ y la resistencia específica de $0,857 \text{ kN.dm}^{-2}$. También se desprende de los datos, que el esfuerzo y el área trabajada variaron para las distintas configuraciones, pese a que no se registraron diferencias en la resistencia específica. Lo mismo podría asociarse a diferencias en los procesos de interacción, según se trabaje en simultáneo o en forma progresiva (mismo plano de acción o distinto plano de acción respectivamente).

Por otra parte, se han desarrollado equipos comerciales en los cuales para la configuración por pares, los órganos activos trabajan desplazados unos con otros en el sentido de avance, cambiando las características del proceso de interacción. Ello implica que puedan modificarse los parámetros de prestación tractiva, pero no se encuentran antecedentes científicos que justifiquen los diseños.

Por lo expuesto, son escasos los estudios comparativos entre distintos diseños y configuraciones de los descompactadores de montantes angulados curvos y rectos, en aspectos vinculados a los parámetros de prestación tractiva y la eficiencia de reducción de la compactación del suelo.

HIPÓTESIS FUNDAMENTAL

Los escarificadores de montantes angulados laterales reducen la compactación del suelo con escasa reducción de los residuos a nivel superficial.

HIPÓTESIS

1. El área de suelo trabajada es función del diseño del montante angulado para una determinada profundidad de trabajo.
2. La resistencia específica de los montantes curvos es menor en forma independiente de la disposición conjunta o alternada de los mismos.
3. El disturbio del suelo a nivel superficial depende del diseño de los órganos activos.
4. El esfuerzo de tracción en la disposición alternada de los montantes es menor que en el trabajo conjunto de los mismos, independientemente del diseño del órgano activo.

OBJETIVOS

Objetivos generales

- Aportar conocimientos sobre la labor de descompactación en la mejora de la fertilidad física del suelo para la sustentabilidad de la producción agropecuaria y la reducción de la energía requerida para la labor.
- Generar información de utilidad para la toma de decisiones por parte de técnicos y productores al momento de realizar la labor.

Objetivos específicos

- Evaluar la prestación tractiva de los montantes angulados curvos y angulados rectos
- Determinar las relaciones entre los distintos parámetros de prestación tractiva
- Caracterizar la incidencia de la disposición de los órganos activos en el trabajo de montantes dispuestos por pares

- Evaluar la eficiencia de roturación de los diferentes diseños en el perfil de suelo intervenido por los escarificadores
- Caracterizar los efectos de la labor de descompactación a nivel superficial, atendiendo a los requerimientos de trabajo de las máquinas sembradoras

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del ensayo

El ensayo tuvo lugar en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (E.E.J.J. Foto 1) de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la U.N.L.P., 34° 55 S, 57° 57 W, a una altitud de 15 msnm, sobre un suelo clasificado como Argiudol típico (Soil Taxonomy, 1999), perteneciente a la Serie Centeno (Tabla 1), con la siguiente descripción analítica del perfil:

Ap 0-18 cm: textura franco limosa a franca; estructura semimigajosa, media, débil; raíces abundantes y finas.

BA 18-29 cm: textura franco arcillosa; estructura en prismas compuestos irregulares, moderada a fuerte que rompe en bloques subangulares irregulares; raíces finas y comunes.

2Bt1 29-50 cm: textura arcillosa; estructura en prismas compuestos irregulares, gruesos, fuerte.

2Bt2 50-90 cm: textura arcillosa; estructura en prismas compuestos irregulares, muy gruesos, fuerte; raíces ausentes.

Horizonte		Ap	BA	2Bt ₁	2Bt ₂	2BC ₁	2BC ₂	2BC ₃	3C	
Profundidad (cm)		0-18	18-29	29-50	50-90	90-130	130-170	170-230	230-266	
%	Materia Orgánica									
	Carbono Orgánico	1,33	0,6							
	Nitrógeno Total	0,182								
Relación C. N.										
Textura %	Arcilla < 2	21,3	32,6	49,8	51,8	46,6	38,3	35,8	26,9	
	Limo 2 a 50	53,2	45,6	38	36	44,5	48,2	47	58	
	Arena	50 - 100	22,4	20	12	12,2	8,9	12	15,2	14
		100 - 250	3,1	1,8	0,2	0	0	1,5	2	1,1

		250 - 500	0	0	0	0	0	0	0	0
% Humedad Equivalente										
pH	en pasta	5,3	5,8	6	6,2	6,5	6,1	6,1	6,2	
	en agua 1:2,5	5,5	6,2	6,3	6,7	7	6,4	6,5	6,6	
Cationes de cambio meq/100 gr.	Ca ⁺⁺	11,2	17,2	24,5	26,1	25,2	20,8	23		
	Mg ⁺⁺	2,1	2,4	4,2	5,1	4,3	4,7	2,9		
	Na ⁺	0,3	0,5	0,9	0,7	0,6	1,1	0,7		
	K ⁺	1,8	1	1,8	1	0,9	2	0,8		
Suma de Bases (S)		15,4	21,1	31,4	32,9	31	28,6	27,4		
C.I.C. (T)		16,2	23,1	33	33,2	32,4	29,1	27,6	27	
Saturación (S/T x 100)		95	91,3	95,1	99	95,6	98,2	99		

Tabla 1: Características analíticas de la Serie Centeno

La región se caracteriza por presentar un clima húmedo mesotérmico, con una temperatura media anual de 16,2 °C, siendo enero el mes más cálido con 22,8 °C y julio el más frío con 9,9 °C. Las precipitaciones medias anuales son de 1040 mm, siendo marzo el mes más lluvioso con 111 mm y junio el menos lluvioso con 63 mm (Municipalidad de La Plata, 2014).

El ensayo se llevó a cabo en un lote con pasto natural, sobre el cual se realizó oportunamente la henificación de la biomasa.



Foto 1: Lote de la E.E.J.J. donde se realizó el ensayo

Maquinaria utilizada

Para la experiencia se utilizó un tractor marca John Deere, modelo 6300, de tracción asistida (FWA), de 73,5 kW (100 CV) y un peso total de 44,9 kN. Se utilizó un bastidor de escarificador de cinceles de arrastre marca Cantábrica, con sistema de rodado simple, ubicados en un mismo plano, sobre el cual se colocaron los diferentes montantes. Se emplearon un par de montantes angulados laterales de lámina recta (LR) (Figura 1, Foto 2, Foto 3) y un par de montantes angulados laterales de lámina curva (LC) (Foto 4, Foto 5, Foto 6, Figura 2, Figura 3, Figura 4).

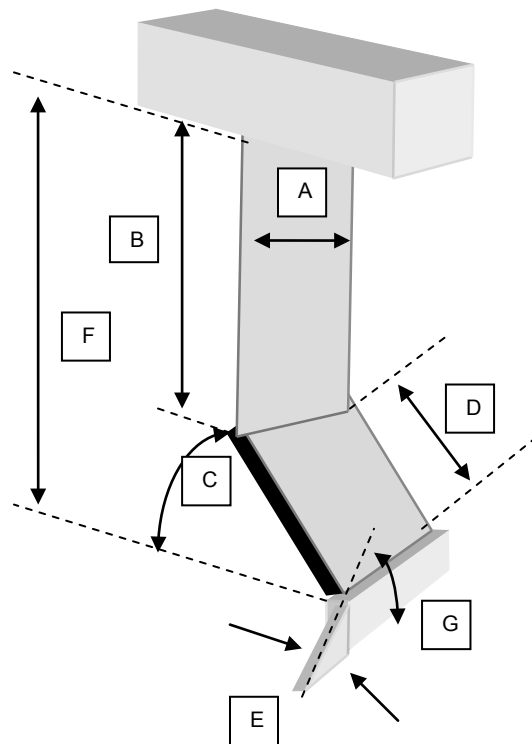


Figura 1: Dimensiones del montante angulado lateral de lámina recta utilizado en los ensayos: A: 125 mm, B: 350 mm, C: 60°, D: 250 mm, E: 37 mm, F: 570 mm, G: 25°.



Foto 2: Vista anterior del montante angulado lateral de lámina recta (AR).



Foto 3: Vista anterior del montante angulado lateral de lámina recta (AR).



Foto 4: Montante angulado lateral de lámina curva (AC).

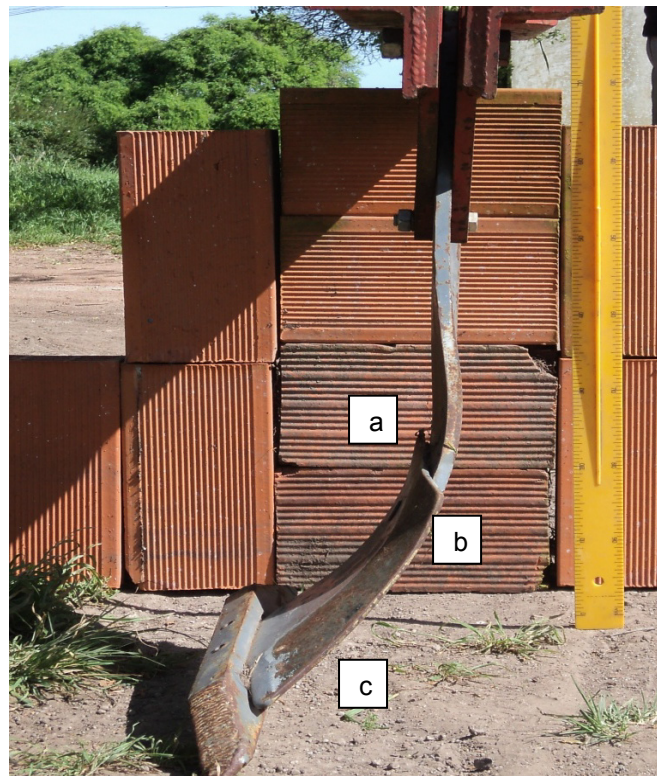


Foto 5: Montante angulado lateral de lámina curva (AC). Vista anterior de los radios de curvatura: a (3727 mm), b (4131 mm), c (9747 mm).

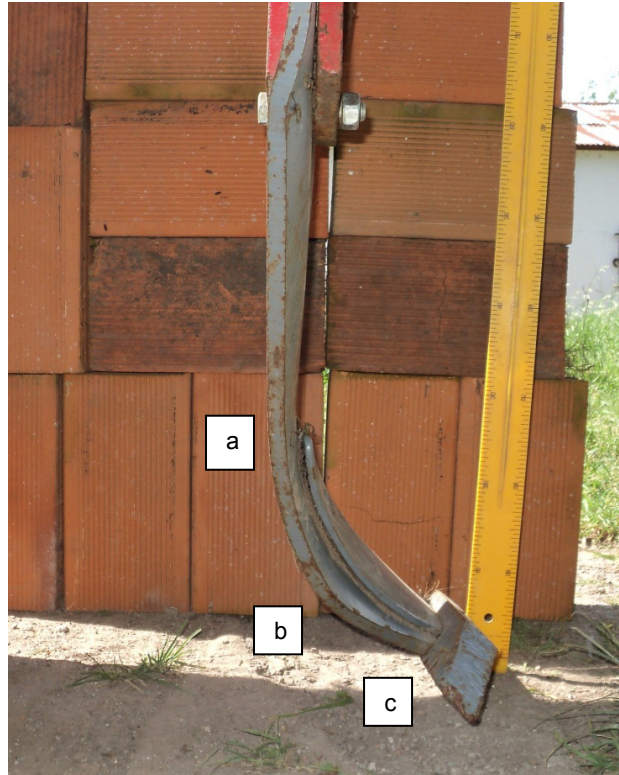


Foto 6: Montante angulado lateral de lámina curva. Vista posterior de los radios de curvatura: a (3588 mm), b (1333 mm), c (6739 mm).

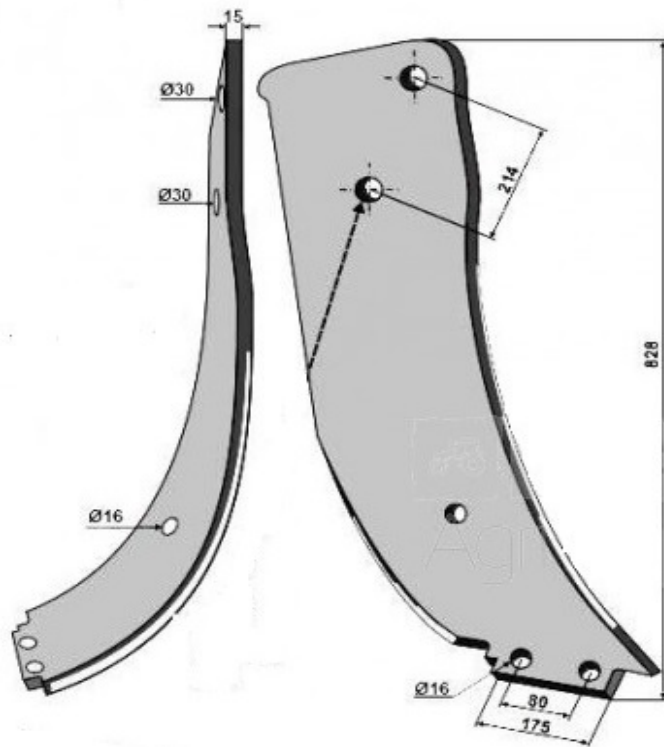


Figura 2: Dimensiones (mm) del montante angulado lateral de lámina curva (AC).

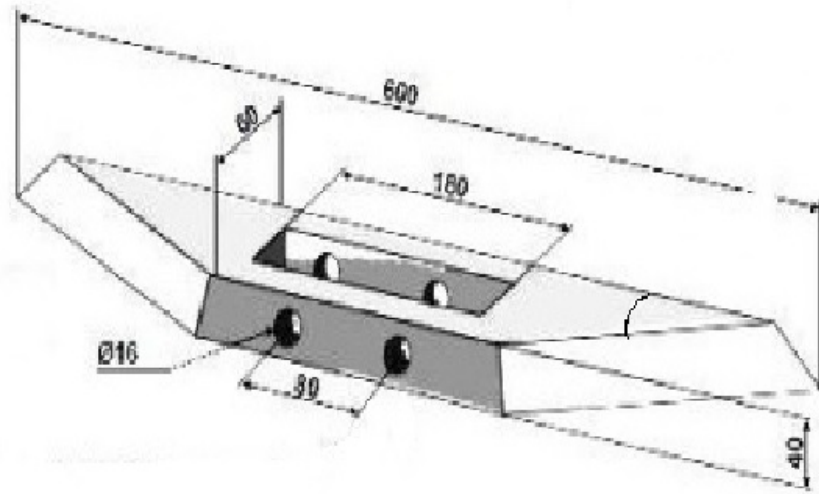


Figura 3: Dimensiones (mm) de la reja del montante angulado lateral de lámina curva (AC).

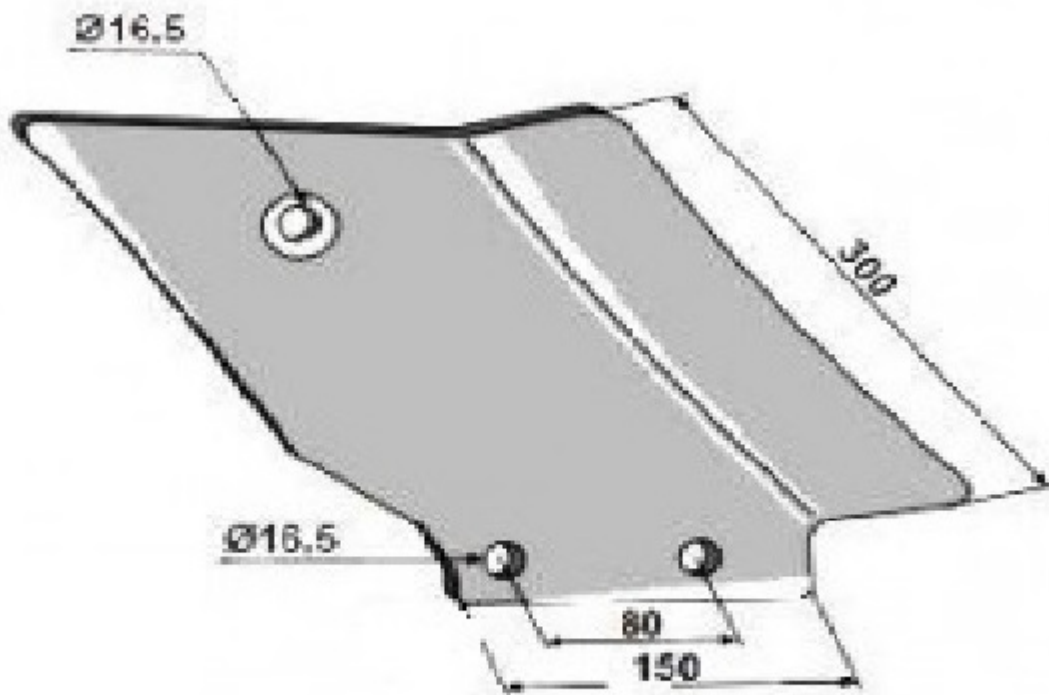


Figura 4: Dimensiones (mm) de placa de desgaste del montante angulado lateral de lámina curva (AC).

Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, con dos repeticiones, dentro de los cuales se ubicaron los distintos tratamientos y subtratamientos.

Se establecieron dos tratamientos: 1) Montante Angulado Recto (AR) y 2) Montante Angulado Curvo (AC), ambos con disposición por pares en forma convergente; y dos subtratamientos: A) Montantes apareados (ubicados en un mismo plano de acción, MPA) y B) Montantes desfasados (ubicados en distintos planos de acción, DPA).

Cada parcela tuvo una dimensión de 30 m de largo y 8 m de ancho, dividida en dos sub-parcelas de 30 m de largo y 4 m de ancho correspondientes a cada repetición.

Para el *tratamiento 1 - subtratamiento A* (ARMPA), se emplearon dos montantes angulados rectos trabajando en forma convergente en el mismo plano de acción, con una distancia de 0,35 m entre las puntas de rejas. Para el *tratamiento 1 - subtratamiento B* (ARDPA), se utilizaron los mismos montantes en forma convergente pero en distintos planos de acción, distanciados 0,9 m y una distancia entre puntas de rejas de 0,35 m. Para asistir al paso del implemento se le colocaron cuchillas corta rastrojo en la línea de cada montante.

Para el *tratamiento 2 - subtratamiento A*, (ACMPA) se obró con dos montantes angulados de lámina curva, trabajando en forma convergente y en el mismo plano de acción, con una distancia entre puntas de rejas de 0,35 m. En el *tratamiento 2 - subtratamiento B* (ACDPA), se trabajó con los montantes nombrados de forma convergente en dos planos de acción separados 1,3 m y 0,35 m entre las puntas de reja. Al igual que para los montantes angulados de lámina recta, se utilizaron cuchillas corta rastrojo en la línea

En todos los tratamientos se transitó la parcela a una velocidad teórica de 2 m/s (según manual), hincando el implemento unos metros antes del comienzo de las parcelas de ensayo para recorrer los 30 m a la misma velocidad y profundidad. La profundidad de trabajo fue de 0,22 - 0,24 m, por lo que la distancia entre puntas de reja se decidió en unos 0,35 m, de acuerdo con una disposición aproximada de distancia entre rejas de 1,5 P (Distancia entre rejas de 1,5 veces la Profundidad), para alcanzar la mínima resistencia específica al laboreo (Godwin et al., 1984).

Los resultados se analizaron mediante un ANOVA y las medias se compararon por el test de LSD ($P \leq 0,05$). Para el análisis estadístico se utilizó el programa STATGRAPHICS Centurión XVI.I.

Variables experimentales

Resistencia a la penetración (RP).

Se determinó mediante un penetrómetro de cono electrónico RIMIX CP20, construido bajo Norma ASAE S312.2 (1992), con principio de medición de esfuerzos por puente extensiométrico electrónico y profundidad por ultrasonido (Figura 5). Se empleó un cono de 30°, con diámetro de 0,01283 m y velocidad de penetración de 0,0305 m.s⁻¹. Se tomaron lecturas cada 0,025 m, desde la superficie hasta una profundidad máxima de 0,60 m. Asimismo, con el objeto de poder comparar los valores de resistencia a la penetración, se determinó el porcentaje de humedad *in situ* al momento de la medición. Mediante un calador, se extrajeron muestras de suelo a distintas profundidades: 0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; 0,30-0,40 m. Las mismas se colocaron en envases plásticos cilíndricos, previamente rotulados, de 0,03 m de diámetro y 0,05 m de altura para luego ser trasladadas al laboratorio. En el laboratorio, se vació el contenido de cada envase plástico dentro de un recipiente de aluminio previamente tarado y se pesaron, registrando de esta manera el peso húmedo. Posteriormente, se colocaron todas las muestras en estufa a una temperatura de 105° C hasta peso constante. Se dejaron enfriar dentro de la estufa y se pesaron nuevamente, obteniendo el peso seco.

El porcentaje de humedad se determinó mediante la ecuación:

$$\%humedad = \frac{(peso\ húmedo - peso\ seco)}{peso\ seco} \times 100$$

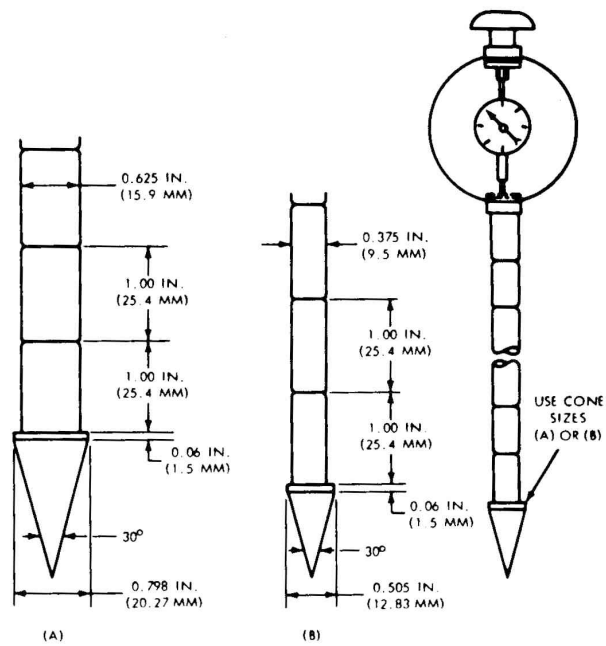


Figura 5: Descripción del penetrómetro de cono S313.2 (ASAE, 1992).



Foto 7: Toma de datos de Resistencia a la Penetración con penetrómetro de cono.

Para cada combinación de tratamiento y subtratamiento se realizaron 6 estaciones de medición, 3 en cada repetición. Para ello, se realizaron transectas en forma perpendicular a la dirección de avance, abarcando todo el ancho de labor del implemento, recolectando en cada estación 9 perfiles de datos de RP (desde la superficie hasta los 0,6 m de profundidad), uno por fuera de cada montante, uno en la línea de cada montante, uno en correspondencia con la punta de cada reja y tres entre

rejas. Previo al pasaje del descompactador, se realizaron 40 mediciones al azar sobre el lote para obtener datos testigos con los que se contrastaron los datos de los tratamientos.

A partir de los datos de penetrometría se realizaron mapas de curvas de iso-resistencia a la penetración mediante el software Surfer 12 (Golden Software, Inc.)

Área trabajada (AT).

Para su determinación se realizaron 3 calicatas, cada una con su repetición, por cada tratamiento y correspondiente subtratamiento. Se removió el suelo laboreado de forma manual para luego colocar un perfilómetro (Foto 8) similar al descrito por Willat & Willis (1965) y por Stafford (1979), con varillas separadas a 0,02 m, graduado en el panel posterior (sobre el cuál contrastan las varillas), a espacios constantes de 0,10 m de distancia (escala en función de la profundidad de trabajo). Una vez colocado el perfilómetro y las varillas descendido hasta el fondo de la labor, se tomaron fotos y procesaron con diferentes programas de software, específicamente, CorelDraw X3 y CobCal 2 Versión 2.1. En una primera etapa se utilizó el CorelDraw X3, trazando sobre cada fotografía una figura del área trabajada, representada por las varillas, y una figura de superficie conocida (rectángulo de comparación en función de la graduación del perfilómetro) a las cuales se asignaron diferente color, y se almacenaron. Luego se importaron y a través del programa CobCal 2 Versión 2.1 (que calcula superficies en porcentaje a partir de la comparación de áreas de diferentes coloraciones) se procesaron las figuras, de lo que resultó la superficie de cada una de ellas, en porcentaje. Por último, a través de cálculos con los datos conseguidos y la utilización del rectángulo de área conocida, se obtuvo el AT de cada calicata realizada.



Foto 8: Perfilómetro utilizado en el ensayo, similar al descrito por Willat & Willis (1965) y por Stafford (1979).

Esfuerzo de tracción (ET)

Se determinó mediante la utilización de un dinamómetro hidráulico Amsler, interpuesto entre el tractor y el apero, con capacidad de medición de hasta 49,03 kN (a través de la colocación del resorte adecuado) (Mc Kyes, 1985). Se obtuvo una dinamografía para cada combinación de tratamiento y subtratamiento y su repetición, donde se registraron los esfuerzos de tiro en función del tiempo y del espacio recorrido. Se comenzó a medir 15 m antes de la parcela, y se prolongó hasta 15 m posteriores de la misma con el implemento a la profundidad de trabajo y a la velocidad real de avance establecida a los efectos que la misma se mantenga estable durante la medición. A partir de la dinamografía obtenida, se calculó el esfuerzo medio de tiro en cada repetición. Para ello se utilizó una regla graduada en kilogramos-fuerza, con la que se realizaron 30 lecturas por repetición en forma sistemática, a intervalos constantes, con inicio aleatorio y descartando los extremos de los gráficos.

Resistencia específica (RE).

La resistencia específica o la resistencia específica al laboreo es aquella que expresa la relación inversa entre el esfuerzo de tiro y el área trabajada. Se calculó a partir de los datos obtenidos de las dos variables anteriores, AR y ET para cada tratamiento.

Área de elevación (AE)

Se evaluó a través del perfilómetro (Foto 9), previo a la remoción del suelo trabajado, siguiendo la misma metodología que se utilizó para la determinación del área trabajada, colocando el perfilómetro en forma transversal al pasaje del implemento. Se fotografió y luego mediante software se calculó la superficie disturbada por el pasaje del descompactador, se estableció la superficie del suelo como referencia, y se determinó como área de superficie disturbada aquella que se encuentre sobre la referencia del suelo. Para cada repetición, correspondiente a cada tratamiento y subtratamiento se tomaron 3 mediciones en correspondencia con las determinaciones de AT.

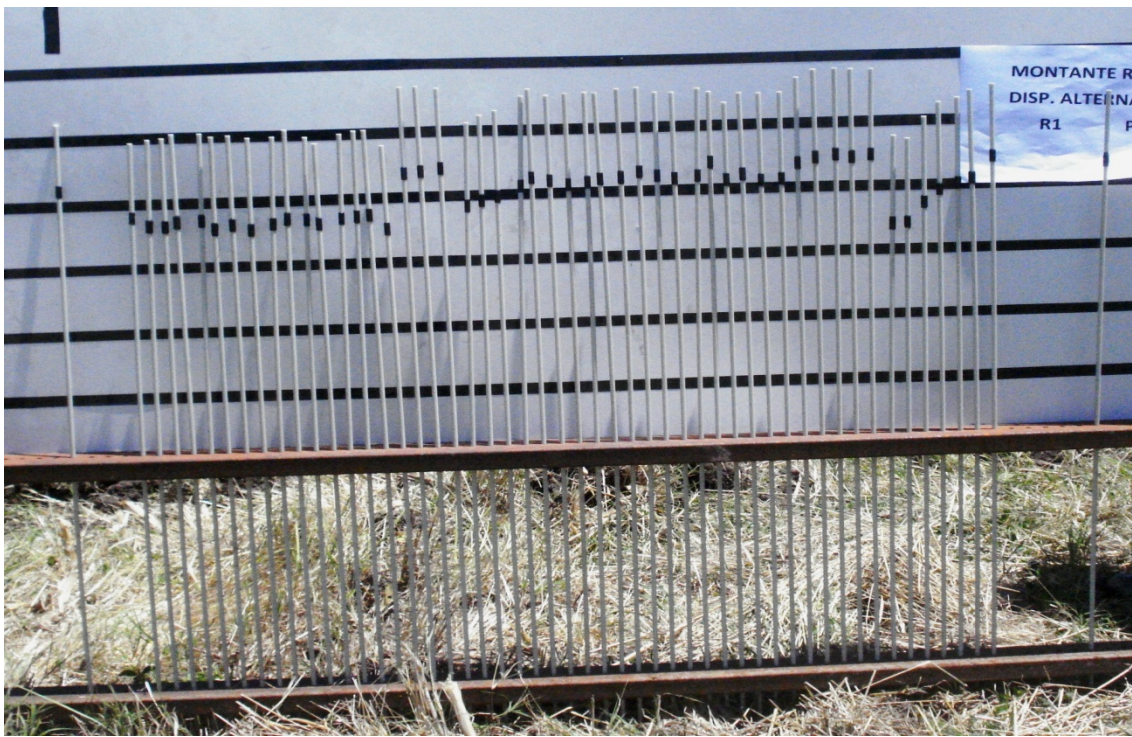


Foto 9: Perfilómetro determinando el área de elevación.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Área trabajada

En la Figura 6 se visualizan los resultados obtenidos por los distintos diseños de montantes, Angulados Rectos y Angulados Curvos (AR y AC respectivamente), y configuración espacial (MPA y DPA). En la misma se aprecia una mayor área trabajada, aproximadamente un 40% superior, en favor de los montantes AC, la que es estadísticamente significativa, sin que existiera significancia de la interacción entre tratamientos y subtratamientos.

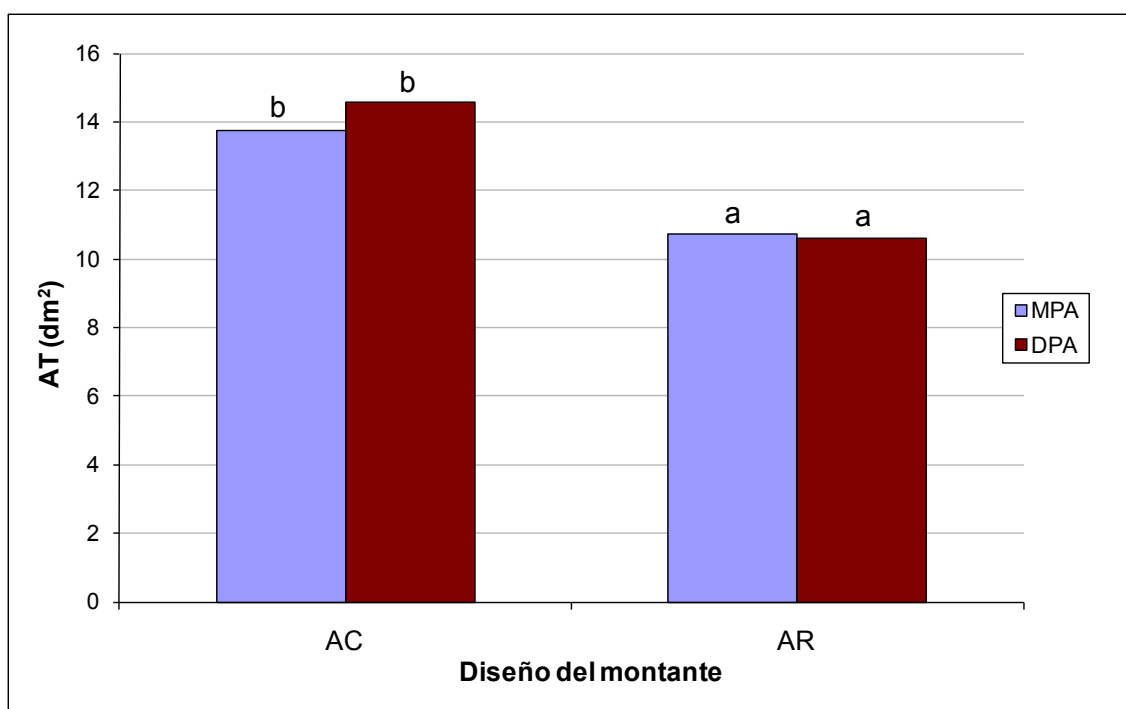


Figura 6: Área Trabajada en dm^2 por Montantes Angulados Rectos y Angulados Curvos, en las disposiciones MPA y DPA. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) LSD.

Estas diferencias, en primera instancia, podrían atribuirse a las características de diseño del montante fundamentalmente, ya que las condiciones de trabajo, excepto la disposición sobre el bastidor de los mismos, trataron de mantenerse invariables entre los tratamientos. Sin embargo, durante el procesamiento y análisis de las perfilometrías efectuadas, se detectaron variaciones en la profundidad de trabajo que pudieron afectar el área roturada por cada diseño y disposición.

En virtud de ello, se determinó la profundidad de trabajo efectiva a partir de las perfilometrías realizadas para cada tratamiento y subtratamiento. La profundidad de trabajo a nivel de la reja se tomó como promedio de las máximas medidas

correspondientes a cada uno de los montantes utilizados, mientras que la profundidad de trabajo a nivel de la zona central, de interacción entre los 2 montantes, se calculó a partir del promedio de los 3 valores centrales, con una equidistancia de 0,06 m a partir de la medición central.

El análisis indica que la profundidad alcanzada por los AC fue significativamente mayor que la correspondiente a los AR, sin que se registraran efectos de la disposición MPA o DPA sobre este parámetro, como así tampoco interacción entre montantes y disposición.

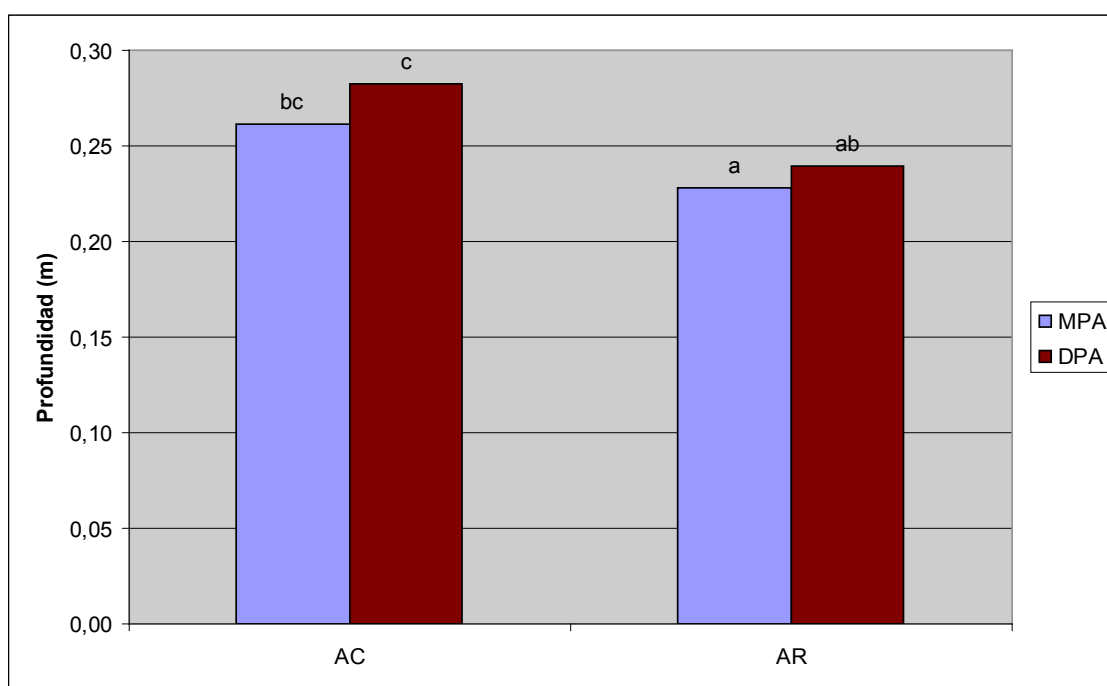


Figura 7: Profundidad de trabajo de la reja para los distintos diseños y configuraciones espaciales. AR: Montantes Angulados Rectos; AC: Montantes Angulados Curvos. MPA: Disposición en el mismo plano de acción; DPA disposición en diferente plano de acción. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) LSD.

En la Figura 7 se observa que en ambos montantes, la disposición alternada, en distinto plano de acción, resultó en una mayor profundidad media. Ello podría atribuirse a que el escarificador quedó ligeramente desnivelado, en sentido antero posterior, clavándose en mayor medida en la parte delantera que en la trasera. La menor profundidad de trabajo correspondió a los montantes rectos en el mismo plano de acción y la mayor a la disposición alternada (DPA) del montante curvo. Las diferencias en profundidad pueden haberse generado por las lógicas dificultades de alcanzar una misma profundidad de trabajo a partir de órganos activos con diferente despeje, como también en diferencias en la capacidad de penetración dada por una mayor succión ocasionada por las diferencias de diseño de ambos implementos, ya

que los AC presentan una reja de mayores dimensiones, de sección rectangular, con corte angulado y bisel dirigido hacia el centro, con un ángulo de ataque menor al del AR, tal como es posible visualizar en las Figura 1 y 3. Debe entenderse, al respecto, que la mayor o menor succión que presente un diseño sobre el otro puede afectar la profundidad de trabajo por las modificaciones de la carga vertical que soportan las ruedas del equipo, a la cual se oponen a través de la presión de inflado de los neumáticos, pudiendo los mismos sufrir una mayor deflexión y en consecuencia producir variaciones en la profundidad de labor.

Las principales diferencias, significativas, de la profundidad se encuentran entre el montante curvo en distinto plano de acción y el montante recto en el mismo plano de acción. Si se calculan las áreas trabajadas (áreas estimadas, $A = a.p + p^2$, donde A es el área, a es el ancho de la reja y p la profundidad de trabajo) a partir de los patrones de roturación establecidos por las mismas, pueden explicarse en gran medida las diferencias en área trabajada entre los distintos montantes, por lo cual se supondría que el área trabajada debería presentar un ordenamiento de menor a mayor ARMPA, ARDPA, ACMPA, ACDPA, en función de las profundidades alcanzadas por cada uno de los tratamientos. Sin embargo, se produjeron ligeras variaciones en las áreas medidas, resultando invertido el ordenamiento para ARMPA que fue mayor a ARDPA. Esto indicaría, que además de la profundidad de trabajo como determinante del área existiría algún factor asociado a la disposición y al diseño del equipo. En la Figura 8 se muestran los valores medios de las áreas estimadas (calculadas) y medidas para los diferentes tratamientos y subtratamientos.

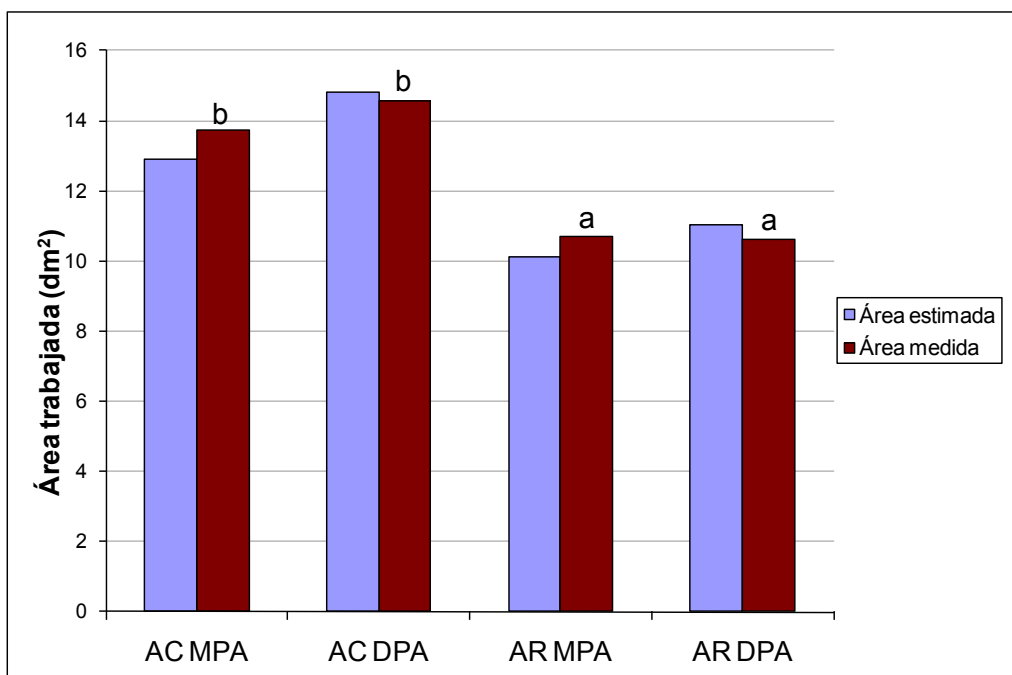


Figura 8. Áreas estimadas y medidas para los distintos diseños y configuraciones espaciales. AC: Montantes Angulados Curvos; AR: Montantes Angulados Rectos; MPA: disposición en el mismo plano de acción; DPA: disposición en diferente plano de acción. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) LSD.

Si se eliminan los posibles efectos de la profundidad de trabajo, los resultados en un análisis general resultarían coincidentes con los informados por Raper (2005) quien trabajando con similares diseños de montantes (Angulados Rectos y Angulados Curvos) no encontró diferencias estadísticamente significativas entre las áreas trabajadas por ellos. Los resultados del ensayo, al igual que los de Raper (2005) guardan relación con lo encontrado por Willat & Willis (1965) para el trabajo con escarificadores rectos, ya que el área calculada a partir de la profundidad de labor, teniendo en cuenta un ángulo de roturación del suelo de 45° en forma lateral, resulta adecuadamente predicha por el cuadrado de la profundidad de trabajo de la reja. Para los resultados de Raper (2005) la estimación es de $10,89 \text{ dm}^2$, para una profundidad de trabajo de 0,33 m, cercano a los registros de $10,28 \text{ dm}^2/\text{montante angulado recto}$ y $10,75 \text{ dm}^2/\text{montante angulado curvo}$. Sin embargo, cuando se realiza el análisis de regresión de los datos del ensayo, sin tener en cuenta tipo de montantes y disposición, el R^2 es de 0,23, indicando una alta variabilidad y escasa correlación, que podría ser explicado en parte por la propia variabilidad en la roturación del suelo y los procesos de interacción entre órganos activos.

En relación a ellos, los efectos de interacción pueden ser valorados, en parte, a través de la profundidad efectiva de labor en la zona central roturada por cada par de

órganos activos. Los valores medios de profundidad en dicho sector, se visualizan en la Figura 9.

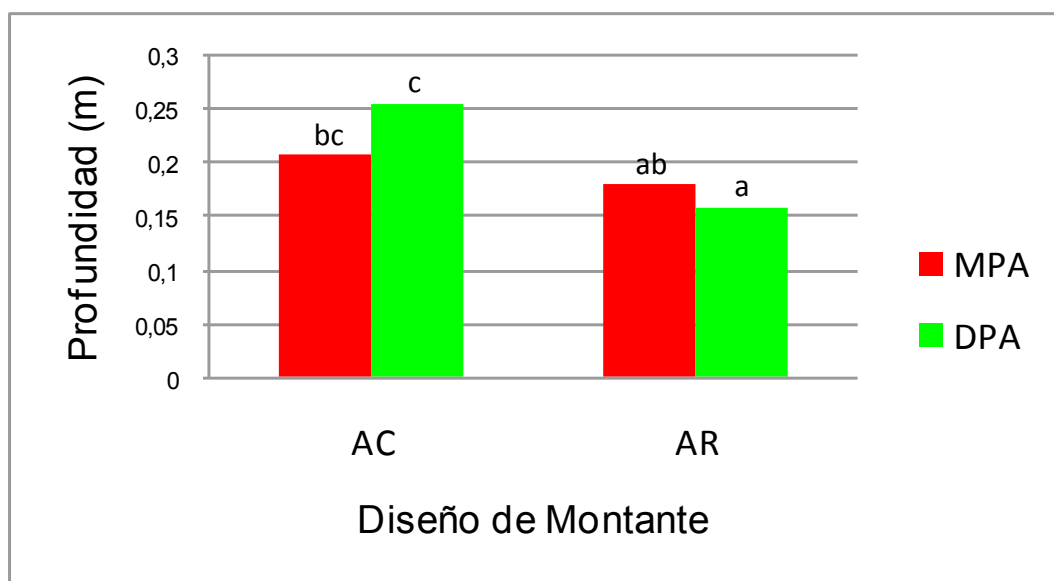


Figura 9: Profundidad de trabajo del sector medio entre las rejas para los distintos diseños y configuraciones espaciales. AR: Montantes Angulados Rectos; AC: Montantes Angulados Curvos. MPA: Disposición en el mismo plano de acción; DPA: disposición en diferente plano de acción. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) LSD.

La misma fue significativamente mayor para los arcos curvos, pero también fue significativa la interacción entre diseño de montantes y disposición, lo cual indica que los distintos diseños no tuvieron la misma respuesta para este parámetro. En los montantes curvos, la disposición DPA alcanzó una profundidad de 0,25 m, ligeramente inferior a la profundidad alcanzada por las rejas para ese mismo subtratamiento, con diferencias significativas con el tratamiento AR para cualquiera de sus disposiciones. En forma contraria, para los AR la disposición que alcanzó una mayor profundidad de roturación fue la correspondiente a MPA, aunque sin diferencias significativas con DPA. Esto marca, en parte, una diferencia con lo que se registró para la profundidad de trabajo de las rejas, para este subtratamiento. A su vez, en el AC las diferencias entre DPA y MPA resultaron mayores que las medidas para la profundidad de trabajo de las rejas. Lo expuesto indicaría que independientemente que el área roturada se relacione inexorablemente con la profundidad de trabajo, existen otros factores de diseño y disposición que inciden sobre las características del perfil trabajado por el descompactador. Lo antedicho tiene importancia en función de la eventual necesidad de roturar capas compactadas, puesto que aquellos diseños con menores diferencias de profundidad entre los sectores correspondientes a las rejas y el lomo entre las

mismas, permitirán trabajar a una menor profundidad para alcanzar el aflojamiento de la misma.

Las fotografías de las perfilometrías, muestran las características de roturación de los arcos curvos y rectos (fotos 10 y 11).



Foto 10. Características de roturación de montante angulado recto (AR).

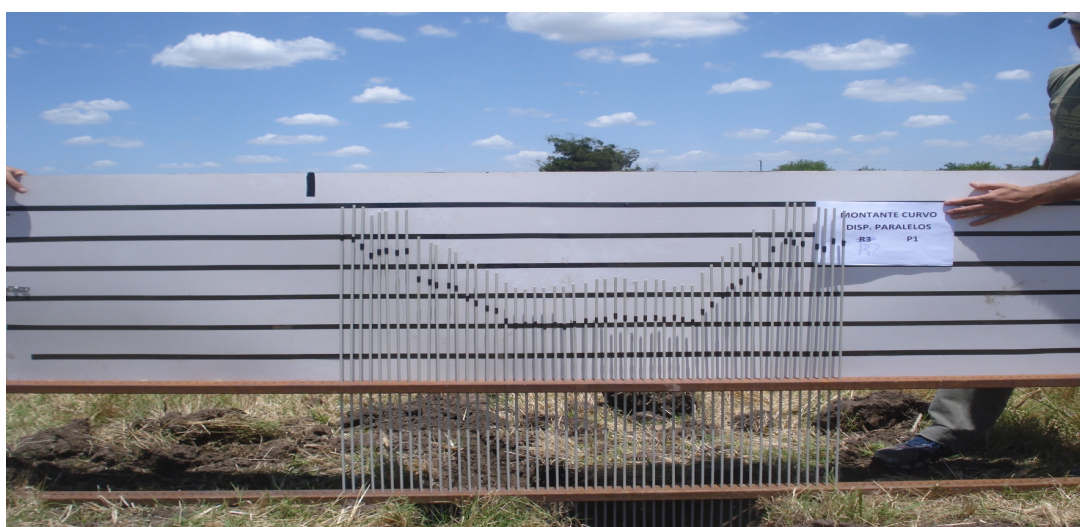


Foto 11. Características de roturación de montante angulado curvo (AC).

Respecto al área trabajada, Vallejos et al., (2010) calcularon un frente de labor de $48,00 \text{ dm}^2$ para cuatro montantes angulados rectos (Paratill), es decir, que para dos montantes el área es de $24,00 \text{ dm}^2$, más del doble al determinado en este ensayo, pero con una profundidad máxima para las rejas de $0,35 \text{ m}$. Si se estima el área, en función del cuadrado de la profundidad, se tendrá nuevamente una adecuada aproximación entre valores predichos y medidos.

Esto implica que a nivel técnico, es posible validar en acuerdo con los resultados de área trabajada, que los diseños de descompactadores de montantes angulados, independientemente de su diseño curvo o recto, roturan el suelo de manera similar a la de los escarificadores de montante recto, pese a las diferencias de diseño de sus órganos activos y cabría efectuar arreglos espaciales de distanciamiento entre órganos activos de 1,5 veces la profundidad de labor, si es que se mantiene una adecuada eficiencia desde el punto de vista energético.

Pese a ello, en los gráficos presentados por Vallejos et al., (2010), se visualiza claramente que existen diferencias entre la roturación de aquellos montantes que trabajan en un mismo plano apareados hacia el centro, con aquellos que trabajan por detrás y al costado con la misma disposición que su predecesor. En el primer caso, el área roturada es mayor, con una menor altura del lomo, con respecto a lo que ocurre con los de la segunda disposición. Similares consideraciones realiza Elisei (2013) para el trabajo con descompactadores de montantes angulados curvos, por diferencias en la resistencia a la penetración en los sectores centrales y laterales. Por otra parte, los resultados obtenidos por Balbuena et al., (2003) con arcos curvos, indican diferencias en las características de roturación según la configuración sea por pares hacia el centro en un mismo plano o en diferentes planos en conjunto hacia el centro. Para el primer caso detallan una mayor profundidad efectiva en el sector central entre las rejas y una mayor uniformidad en ese parámetro, llegando a un 72% de la medida para las rejas. En este caso para los arcos AC se registró en promedio un 85% aproximadamente en el sector medio con respecto a las rejas, mientras que en los arcos AR dicha relación fue del 78% algo mejor en conjunto que lo establecido por Balbuena, et al (2003).

A partir de lo analizado, se valida la primera hipótesis apoyándose en la significancia de los resultados obtenidos, que se visualizan en la Figura 6, donde se observa una mayor área trabajada por los montantes AC respecto a los angulados rectos, independientemente de la disposición.

Área de Elevación

En la Figura 10 se visualizan los resultados obtenidos por los dos montantes y sus disposiciones. En la misma, se observa interacción entre los tratamientos y los subtratamientos, sin embargo, las diferencias entre las disposiciones, para cada montante, no tienen significancia. Esto estaría indicando que existe una gran variabilidad en el área de elevación del terreno, ya que prácticamente existe una

diferencia de 1,07 dm² como consecuencia de la disposición apareada o alternada en los AR.

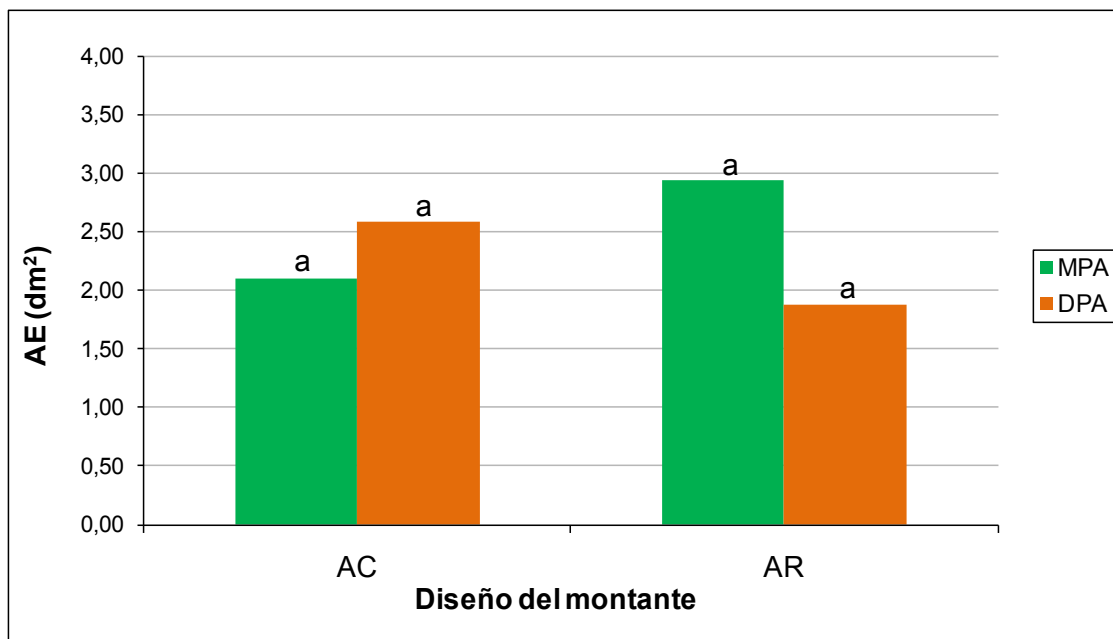


Figura 10. Área de Elevación en dm² por Montantes Angulados Rectos (Tratamiento 1) y Angulados Curvos (Tratamiento 2) y subtratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) LSD.

Raper (2005) menciona que los descompactadores angulados requieren un poco más esfuerzo que los rectos pero son utilizados porque dejan la superficie del terreno poco disturbada. En este sentido, calcula un índice de resistencia específica de elevación, sugiriendo que resulta conveniente que el mismo sea lo más bajo posible, ya que se trata de reducir los esfuerzos de tracción y la disturbación superficial. En este caso, según dicho autor y teniendo en cuenta el área de elevación, el subtratamiento más eficiente sería ARDPA puesto que es el que produjo la menor área de elevación y el menos eficiente ARMPA que produjo la mayor. Estas diferencias, pueden en forma relativa ser mayores si se toma en consideración el distanciamiento efectivo entre montantes, el cual es claramente diferente entre los de diseño recto y los de diseño curvo. En los AR la distancia entre montantes es de 0,6 m, mientras que en los AC es de 0,70 m. Por lo tanto, si se toma como parámetro la elevación media de la cota del suelo, en el área trabajada entre montantes, se aumentará la supuesta ineficiencia de ARMPA y disminuirán en forma relativa las diferencias entre los diseños ACMPA y ARDPA. Los valores medios calculados son de 0,05 m para los ARMPA, 0,04 m para ACDPA, 0,0337 m para ACMPA y 0,0325 m para ARDPA. Esta valoración de mayor eficiencia cuanto menor es la elevación del terreno, también encuentra sustento en lo expresado por Spoor et al., (2003) quien recomienda que el trabajo

mecánico de descompactación debe estar limitado a disminuir la compactación sin dejar al suelo más susceptible a futuras compactaciones, o sea con la menor capacidad de soporte del suelo. En este sentido, cuanto menor es el grado de elevación, menor sería la remoción del suelo y mayor la capacidad portante, si es que efectivamente se logra fisurar sin roturar, lo cual respondería en parte al diseño del montante angulado, su ángulo lateral o su radio de curvatura. Por otra parte, esa diferencia de separación entre montantes aumenta la distancia entre las irregularidades sistemáticas que dejan los montantes sobre el suelo, como consecuencia de su trabajo, además de las irregularidades aleatorias.

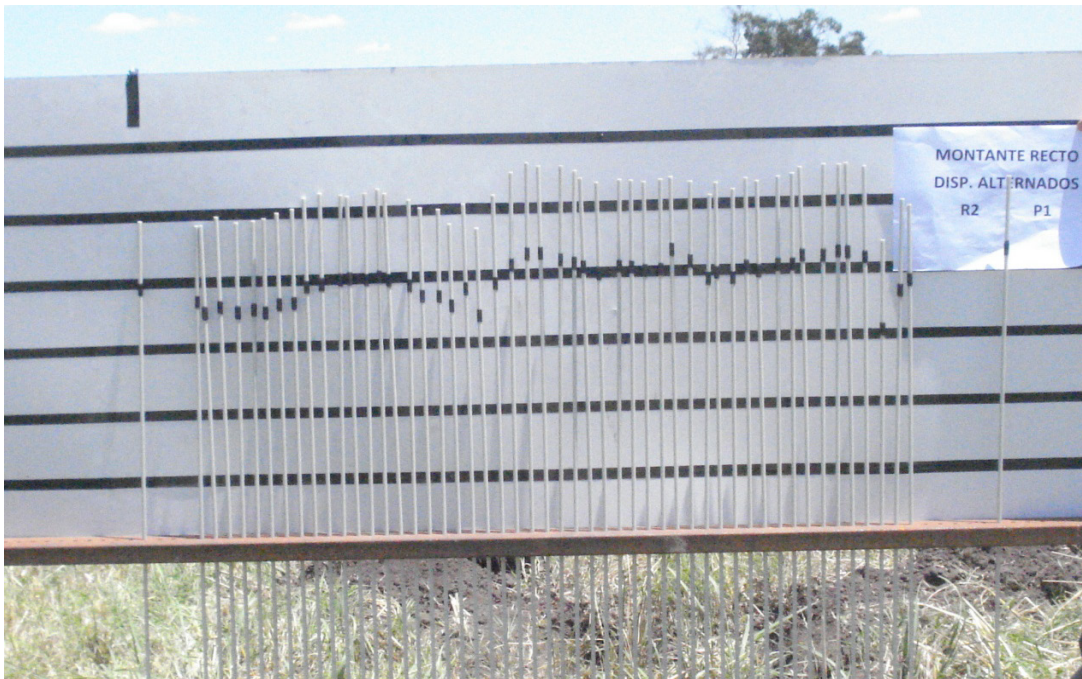


Foto 12: Medición de Área de Elevación en Arcos Rectos en Distinto Plano de Acción.

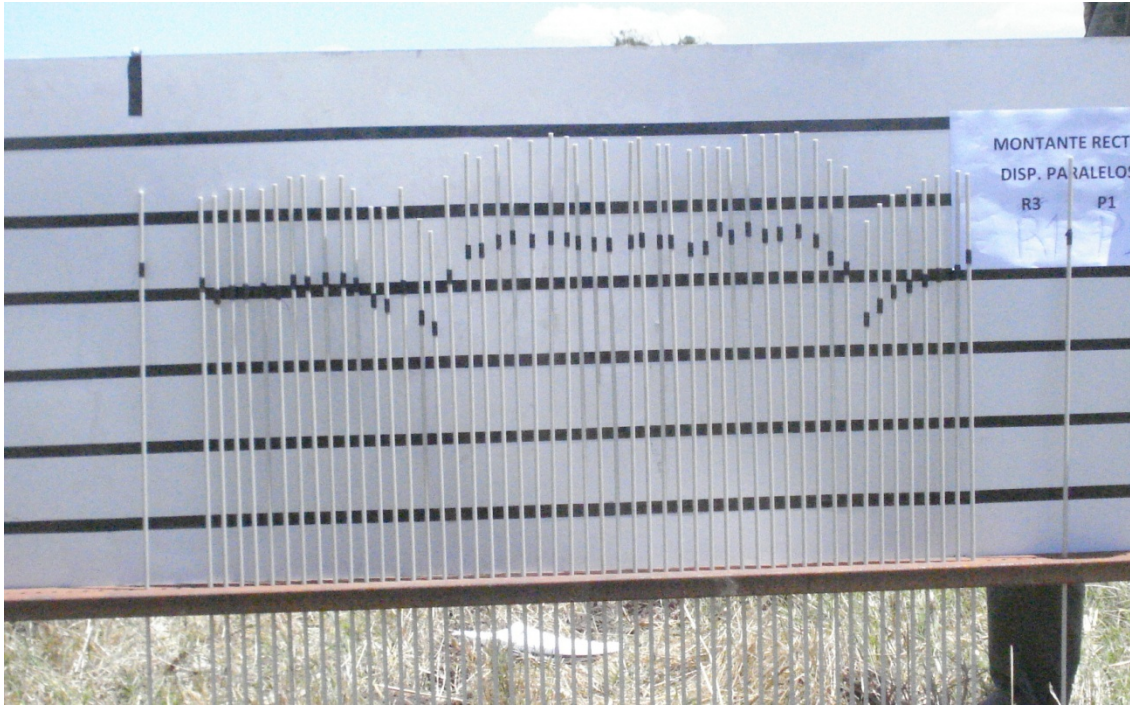


Foto 13. Medición de Área de Elevación en Arcos Rectos en Mismo Plano de Acción.

Relacionado a esto, es importante tener en cuenta cómo afecta el AE a la eficiencia de la máquina sembradora, durante la implantación de cultivos luego de las tareas de descompactación. Bragachini et al., (2012) remarcan la importancia de las irregularidades de la superficie del terreno en lo que respecta a la colocación de la semilla a la profundidad adecuada. En este caso, toma más relevancia la homogeneidad o regularidad del AE que el valor absoluto; en otras palabras, importa más que el terreno sea elevado en cantidad similar en todo el lote, que cuánto se elevó en sí (mucho superficie o poca superficie). Es posible observar que los sectores cercanos a los montantes es donde se producen, en forma relativa, las mayores variaciones, producto de desplazamientos laterales de los agregados por los mismos. Raper (2005) recalca que pese a que los montantes del tipo Paratill deberían trabajar hacia un solo lado, producto de la inclinación del sector angulado lateral, a nivel de los estratos superficiales se produce roturación a ambos lados del mismo, aumentando la elevación de la cota del suelo y la irregularidad superficial. A diferencia de ello, los distintos tratamientos y subtratamientos evaluados no generaron importantes efectos laterales en el sector externo al delimitado por los pares de montantes. Estas diferencias con los resultados de Raper (2005) pueden ser explicadas por la incorporación de cuchillas circulares por delante de las líneas de los montantes que asisten en el corte del rastrojo, las cuales generan también un corte en el suelo hacia donde tienden los planos de fractura, disminuyendo su resistencia al pasaje del órgano

activo, ocasionando una mayor homogeneidad en el AE, producto del corte de los residuos vegetales, formando un canal por donde el montante se desplaza sin inconvenientes (Riley & Fielke, 1990) facilitando el movimiento del suelo y reduciendo la elevación (Fielke & O'Driscoll, 1986). Sería conveniente, con el objeto de aumentar estos efectos, que las cuchillas de corte de residuos fuesen corrugadas y no lisas, pero dicha modificación aumentaría la resistencia a la penetración de las cuchillas en particular y el equipo en general. A su vez en la preparación del implemento es importante la disposición de los montantes sobre el mismo.

También es posible plantear la mayor eficiencia o ineficiencia de las características de la labor desde otro punto de vista. El AE es la superficie de suelo que toma una cota mayor, luego del pasaje del implemento, con respecto a la superficie del terreno antes de ser labrada. Esta variable es consecuencia del trabajo mecánico con descompactadores angulados laterales, debido a que el objetivo de la labor es disminuir procesos de compactación, buscando aumentar la porosidad, la infiltración y disminuir la densidad aparente y la resistencia a la penetración, lo cual se alcanza generando nuevos espacios entre los agregados, modificando temporalmente la estructura, debiendo para ello el suelo ceder en alguna dirección, elevándose en este caso, en acuerdo con el diseño del montante y las características de las rejas. El AE depende del diseño del montante y uno de los parámetros importantes es la distancia determinada por la proyección de la reja y la sección recta del montante (observando el montante en su dirección de avance) sobre la horizontal, la cual es determinada por la angulación del montante en los AR o el radio de curvatura del montante en los AC.

Este toma importancia en el trabajo en conjunto de los montantes, ya que para una profundidad de trabajo determinada (para la que se determina una distancia entre rejas) al existir mayor distancia entre los montantes, puede ocasionarse una menor altura de elevación del montante y como consecuencia una mayor homogeneidad en la superficie del suelo.

El AE también depende de parámetros como la profundidad de labor, ya que un trabajo más profundo implica mayor volumen de suelo a descompactar y por ende es mayor la necesidad de espacios nuevos a generar, resultando en una mayor AE (viceversa a una menor profundidad). Por lo expuesto, el orden de menor a mayor en AE sería: ARMPA, ARDPA, ACMPA, ACDPA como consecuencia de las profundidades respectivas de trabajado. Los resultados muestran esa prescripción, solo variando el ARMPA que fue el que más AE manifestó. Esto significa que aunque

no se encontró significancia entre los subtratamientos para cada tratamiento, el diseño del montante, el trabajo en conjunto y su disposición en el bastidor tienen algún efecto sobre el AE. Raper (2005) trabajando a 0,33 m de profundidad encontró valores de 3,60 dm² y 3,97 dm² para el montante angulado recto y angulado curvo respectivamente, estos resultados son alrededor del doble de los encontrados en este ensayo, lo cual puede en parte ser explicado nuevamente por la ausencia de cuchillas de corte de residuos y consecuente roturación del suelo y elevación del mismo hacia el costado contrario al del sector angulado interno, producto del trabajo del montante, por encima de dicho sector.

Para los diseños de montantes con menor distancia entre la parte recta del montante y la reja (por ejemplo el Montante Angulado Recto) es diferente su comportamiento si se encuentran en el Mismo Plano de Acción o en Distinto Plano de Acción. En la primera situación, una determinada superficie de suelo debe atravesar al mismo tiempo entre los dos montantes, ocasionando una mayor AE. Esto puede explicarse a partir de 2 efectos principales que se producen durante el trabajo con esta configuración. Por un lado, al trabajar los montantes apareados, las tensiones producidas por los montantes angulados hacia delante, hacia arriba y hacia el centro, resultan contrapuestas entre sí, por lo cual el volumen de suelo movilizado tendería a desplazarse en mayor medida hacia arriba, ya que es el lugar por donde pueden liberarse las mismas, lo cual podría ocasionar también una mayor irregularidad. Ese desplazamiento de mayor magnitud facilitaría un cambio en la posición de los agregados del terreno y por lo tanto un aumento del espacio poroso. En cambio si los montantes se encuentran en Distinto Plano de Acción, la superficie de suelo labrada entre ellos es atravesada en diferente momento, dando la posibilidad de que el suelo se desplace mínimamente en forma lateral, disminuyendo como consecuencia su elevación. El otro efecto que también influye es que las rejas dispuestas sobre los sectores angulados y rectos del montante, cubren el montante, determinando una mayor sección de suelo trabajado que la existente entre los montantes. Esto implica que para que el suelo pueda atravesar esa ventana de forma de trapecio invertido el mismo debería compactarse o inevitablemente elevarse. En los AC, en cambio las áreas de elevación tuvieron una diferencia contraria y menor a la de los AR. Dicha variación puede explicarse por las características de diseño de los montantes y como se dijo anteriormente por su mayor distancia entre órganos activos. Los montantes curvos presentan en el sector cercano a la reja un radio de curvatura amplio, el cual determina que las tensiones provocadas por los mismos sobre el suelo, no tiendan a

contraponerse entre sí, produciendo una elevación y pasaje del suelo sobre el montante, con menores dificultades y mayores posibilidades de dejar un suelo con mayor capacidad portante. A la vez, la disposición de las rejas, con el bisel parcialmente hacia adentro, serían las eventuales responsables del fracturamiento entre los montantes, en profundidad, sin que la tensión que se produce sobre el suelo tienda a moverlo con intensidad en el sector medio del área trabajada. La sección del suelo instantáneamente sometida a la labranza resulta compleja y el grado de elevación depende fuertemente del ángulo de ataque que se ajuste para el montante.

En función de lo anteriormente explicado, el valor del AE sería un posible indicador indirecto del volumen de poros o canales generados, con diferentes características según la configuración espacial y diseño de los órganos activos. Asimismo, como se mencionó anteriormente, si bien hay un efecto del diseño del montante, del trabajo en conjunto y de la disposición en el bastidor sobre el AE, los resultados no permiten validar la tercera hipótesis debido a que no se encontraron diferencias significativas entre los diseños de los órganos activos.

Esfuerzo de tracción

En la Figura 11 se visualizan los resultados obtenidos por los tratamientos AR y AC y los subtratamientos MPA y DPA. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y subtratamientos, como así tampoco en la interacción entre tratamientos y subtratamientos.

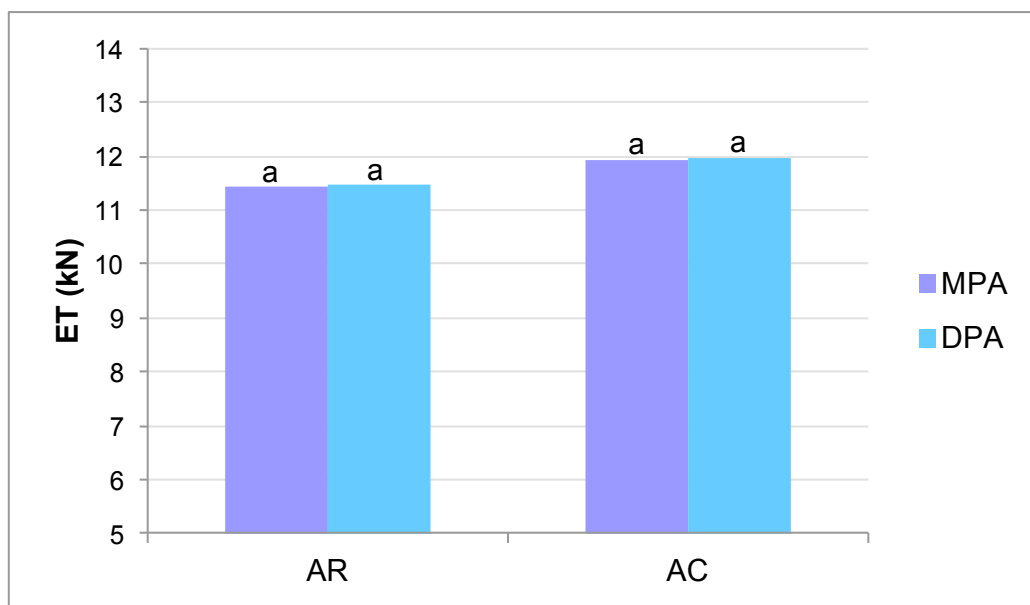


Figura 11. Esfuerzo de tracción en kN por Montantes Angulados Rectos (AR) y Angulados Curvos (AC). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) LSD.

Los resultados de esfuerzo de tracción, algo mayores para AC, posiblemente se deban a su mayor profundidad efectiva de trabajo, lo cual ya fue analizado en lo referente a la mayor área de trabajo de los mismos, mientras que en lo que respecta a los subtratamientos, el resultado fue prácticamente el mismo. La ausencia de diferencias de esfuerzos entre las disposiciones de los arcos, pudo deberse a que la distancia entre los planos de acción fue excesiva para ambos diseños (en AR de 0,9 m y en AC de 1,3 m) ocasionando nula interacción entre montantes como para alterar los esfuerzos. Estas distancias fueron resultado de los lugares donde el bastidor utilizado permitió la colocación de los montantes. A su vez, aunque con diferencias mínimas, los mayores valores fueron para la disposición DPA, tanto para AR como AC.

Los valores medios fueron sumamente homogéneos, independientemente del tipo de montante, las diferencias en su diseño, angulación y su disposición apareada o desfasada. Esto permite establecer un valor de esfuerzo por arco cercano a los 600 kg. El mismo, resulta inferior al registrado por Claverie et al. (1998) ya que establecen un rango de valores variable entre 980 y 990 kg para los diferentes espaciamientos y velocidades de trabajo, con montantes angulados rectos similares a los utilizados, en un suelo de la misma serie. Esta diferencia puede atribuirse a la mayor profundidad media alcanzada. Es importante remarcar que en este ensayo, el valor de esfuerzo de tracción incluye al esfuerzo de tiro de la cuchilla y que no es posible hipotetizar cuál sería el resultado del balance de los incrementos generados por la inclusión de la cuchilla con la reducción ocasionada por el menor esfuerzo del montante en su desplazamiento. Si bien los antecedentes marcan una reducción del esfuerzo con la inclusión de las cuchillas circulares para escarificadores de montantes rectos (Balbuena et al., 1997), no están cuantificados los efectos sobre montantes angulados, en los cuales los elementos de corte no coinciden con la ubicación de las rejillas. No obstante, es probable una reducción del esfuerzo, por los efectos de roturación del montante en ambos diseños. Valores mayores, para descompactadores de montantes angulados laterales curvos, parecidos a los AC, fueron determinados por Balbuena et al. (2003), probablemente como causa, principal, de la mayor profundidad de trabajo y, eventualmente, la mayor velocidad de avance. Por otra parte los valores de los tratamientos AR y AC fueron análogos a los reportados por Raper (2005), en un suelo franco arenoso, pero fueron algo superiores los resultados obtenidos cuando se trabajó en un suelo franco arcilloso, aunque se debe tener en cuenta que la profundidad de labor fue algo mayor (0,33 m), y con una capa compactada creada artificialmente. Los resultados de AC fueron inferiores (en 2 kN por montante

aproximadamente) a los de Simoes et al. (2009), también atribuibles a una profundidad de labor menor (unos 0,26 m - 0,28 m respecto a los 0,38 m de los autores citados).

Los resultados encontrados para el AR se corresponden con los determinados por Kichler et al. (2007), Reeder et al. (1993) y Karlen et al. (1991), aunque son mayores a los determinados por Vallejos et al. (2010), posiblemente por la mayor velocidad de desplazamiento utilizada en este ensayo. Para este mismo tratamiento Simoes et al. (2009), determinaron esfuerzos superiores, alrededor de 1 kN más por montante, potencialmente, como consecuencia de la mayor profundidad de trabajo (0,38 m).

Pese a lo antedicho, en relación a la similitud de los valores medios, las características de las fajas dinamográficas, muestran algunas diferencias. Los registros de la disposición DPA resultan con menores variaciones, menor amplitud en el conjunto de las mediciones, principalmente en el tratamiento AR, a diferencia de la disposición MPA en la que se presentan mayores variaciones entre sectores del terreno, pese a la homogeneidad del mismo, en acuerdo con la caracterización inicial realizada con el penetrómetro de cono. Dichas variaciones deberían, por lo tanto, asignarse a la disposición más que a las características de diseño del implemento o a la variabilidad del suelo.

Independientemente de ello, los registros de esfuerzo de tracción muestran las variaciones características de la roturación de los escarificadores, por tensión del suelo, en la cual se producen sucesivos eventos de aumento y decrecimiento brusco y rápido del requerimiento tractivo. Los valores máximos y mínimos fueron 15,5 kN y 9 kN para ARDPA, 16 kN y 7,5 kN para ARMPA, 17,5 kN y 9,5 kN para ACDPA y 15,5 kN y 9,5 kN para ACMPA, respectivamente. La Figura 12 muestra 2 fajas dinamográficas características de las disposiciones MPA y DPA de los montantes AR

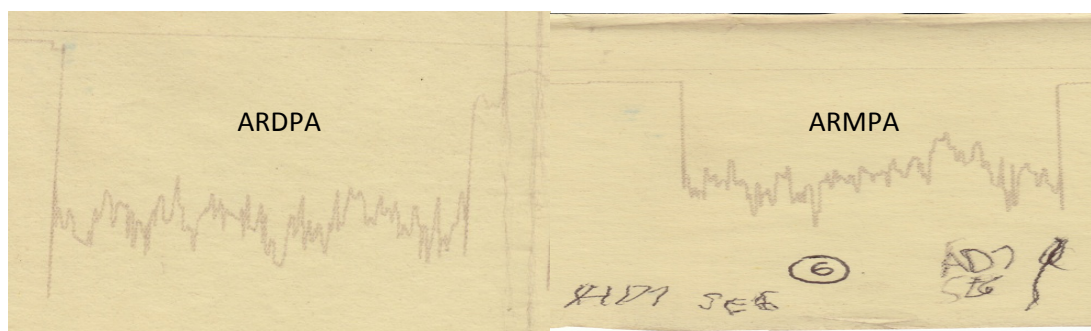


Figura 12. Fajas dinamográficas obtenidas para los montantes AR.

Esto implica que en una distancia de 30 m, los esfuerzos para los distintos tratamientos y subtratamientos variaron entre el valor mínimo y el máximo entre un 63% y un 84%. Es de esperar, que en un conjunto con mayor número de arcos trabajando, estas variaciones de esfuerzo de tracción puedan verse reducidas por la alternancia de picos de esfuerzos de cada par que actúa en diferentes planos de acción y sectores del terreno. De todas formas, el conjunto deberá contar con un tractor con alta reserva de par, para evitar una disminución de la capacidad de trabajo, en caso de no poder sobrellevar variaciones de esfuerzo de tracción de gran magnitud.

En la Figura 13 se grafican las mediciones sucesivas de esfuerzos de tracción, expresadas como coeficientes con respecto al valor medio, el cual queda representado por el valor 1. La variación promedio representa los desvíos de cada tratamiento, mientras que la variación sucesiva muestra las variaciones acontecidas en aproximadamente 1 m de distancia en ambos casos.

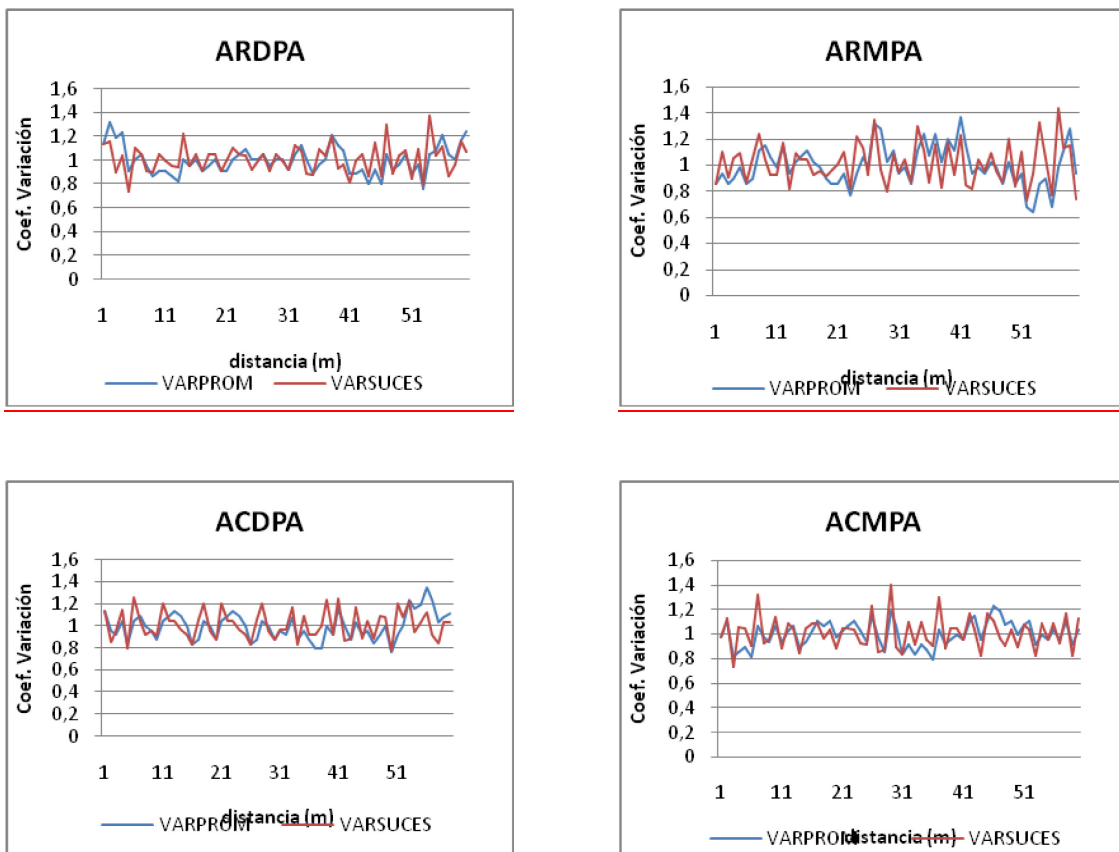


Figura 13. Representación de las variaciones de esfuerzo de tracción para los distintos tratamientos y subtratamientos. ARDPA: montantes angulados rectos en distinto plano de acción; ARMPA: montantes angulados rectos en mismo plano de acción; ACDPA: Montantes angulados curvos en distinto plano de acción; ACMPA: Montantes angulados curvos en mismo plano de acción. VARPROM: variaciones de esfuerzo de tracción expresadas como coeficiente del

promedio; VARSUCES: variaciones de esfuerzo de tracción expresadas como coeficiente en relación al valor inmediato inferior.

Técnicamente, el motor del tractor debería trabajar en la zona de acción del regulador, adecuando el nivel de carga, a través de la selección de marchas con la caja de cambios, en función de los valores medios demandados y de la elasticidad del motor. Los desvíos con respecto al promedio resultaron del orden de 155 kg y 178 kg para ARDPA y ARMPA, y 170 kg y 134 kg para ACDPA y ACMPA respectivamente. El mayor coeficiente de variación del esfuerzo lo tuvo el tratamiento de ARMPA, con un 15,27%, seguido por el de ACDPA con 13,99% mientras que los menores fueron para el ACMPA con un 11%. A nivel de variaciones con respecto al valor medio, los registros de ARMPA alcanzan en un espacio de 8 m valores máximos de esfuerzo de tracción comprendidos entre 20% y 37,4%. Esto reafirma la necesidad de contar con tractores con motores elásticos y no cargar a los mismos a niveles muy cercanos al par motor nominal. Por otra parte, teniendo en cuenta los valores medios de esfuerzo de tracción y la distancia entre montantes, se requieren al menos 3 pares de arcos para cubrir adecuadamente la distancia entre caras externas de las cubiertas del tractor. En función de ello, se requiere un peso adherente de al menos 7200 a 9000 kg en el tractor para poder trabajar con niveles de patinamiento que no sean elevados, si se estiman valores de coeficiente de tracción de 0,4 a 0,5.

En función de los resultados encontrados es posible establecer la hipótesis ad-hoc que la disposición alternada (DPA) o apareada (MPA) puede incidir únicamente bajo ciertas condiciones de configuración y condiciones de roturación del suelo. Para que existiese una reducción de los esfuerzos en la disposición desfasada debería generarse al menos alguna de estas dos situaciones: a) que los montantes estuviesen desfasados lo suficientemente cerca como para que el segundo arco roturase el suelo antes que el sector trabajado por el primero vuelva a caer; b) que el suelo fuese trabajado por el primer montante de forma intensa, con un fuerte grado de interacción, reduciendo como consecuencia la energía requerida para el trabajo del segundo montante.

No obstante, corresponde en acuerdo con los resultados obtenidos, rechazar la hipótesis que plantea un menor esfuerzo de tracción en la disposición alternada de los montantes, resultando el mismo independiente de la disposición de los montantes y del tipo de montantes utilizados, en el rango de 1,5 veces la distancia entre arcos/ profundidad de labor.

Resistencia específica

En la Figura 14 se visualizan los resultados obtenidos por los tratamientos AR y AC y los subtratamientos MPA y DPA. No hubo interacción entre tratamientos y subtratamientos, resultando la resistencia específica de los montantes curvos significativamente menor a los angulados rectos, sin diferencias significativas en las disposiciones.

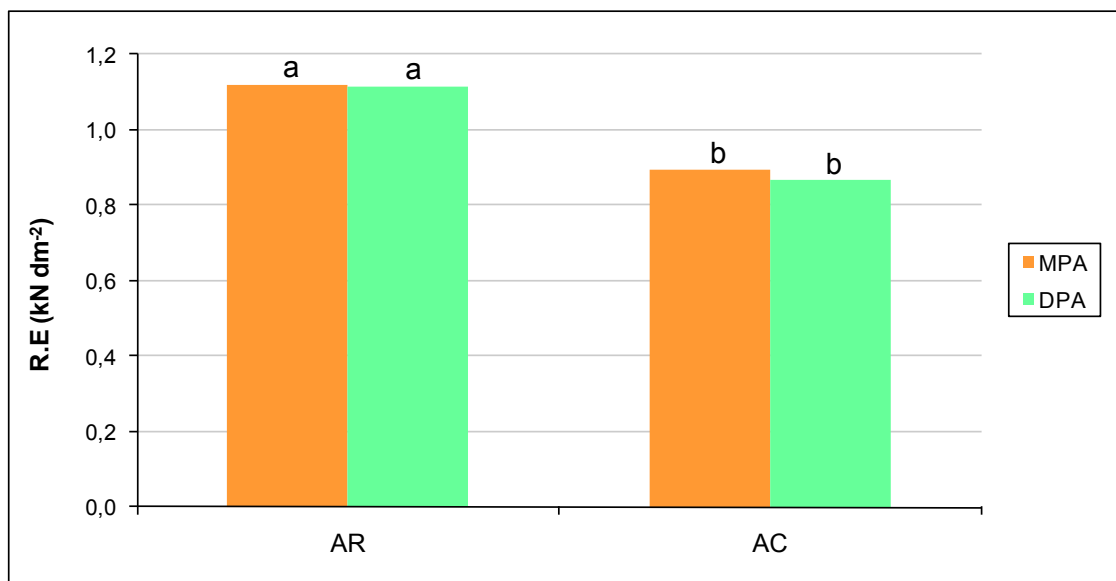


Figura 14. Resistencia Específica en kN dm^{-2} por Montantes Angulados Rectos y Angulados Curvos. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) LSD.

La RE es la variable que relaciona inversamente el esfuerzo de tracción con el área trabajada, por lo que desde el punto de vista energético los montantes curvos resultan más eficientes que los rectos. No obstante, no se realizó evaluación del tamaño ponderal medio de los agregados que podría explicar en parte la variación de energía requerida para la roturación. De ser así, habría también que establecer cuáles son los objetivos buscados con los procesos de descompactación. Teniendo en cuenta la postura de Spoor et al. (2003), de ser el tamaño de los agregados mayor, también significaría que habrían preponderado los procesos de fisuramiento más que los de intensa roturación, favoreciendo una mayor capacidad portante y por lo tanto una mayor eficiencia también para atemperar la compactación inducida por tránsito de vehículos. Estos resultados se obtuvieron con la configuración de distancia entre rejillas teórica de 1,4 veces la profundidad de trabajo en acuerdo con la propuesta general de Godwin et al. (1984). No obstante, la profundidad de trabajo fue variable para los distintos tratamientos y subtratamientos, tal como fue explicado y analizado en el apartado correspondiente al área trabajada. Las relaciones distancia entre

rejas/profundidad de trabajo se encontraron dentro del rango de $1,4 \pm 0,25$ p indicado por Godwin et al. (1984). Las mayores relaciones resultaron para ARMPA y las menores para ACDPA, resultando de 1,51 para ARMPA, 1,48 para ARDPA, 1,34 para ACMPA y 1,24 para ACDPA, lo cual implica relaciones 8% y 5,7% mayores y 4,3% y 11,5% menores al valor medio óptimo. La mayor o menor eficiencia a mayores o menores relaciones se vincula con las características y estado del suelo al momento de realizar la labor, en conjunto con aspectos de diseño y alistamiento del implemento. No existen mayores precisiones al respecto, pero sería dable esperar que la mayor relación favorezca menores RE cuando el porcentaje de humedad resulte menor y en forma contraria las menores relaciones resulten adecuadas a mayores porcentajes de humedad. En este caso, se podrían reducir los efectos laterales en profundidad, si es que se supera la profundidad crítica. En las determinaciones previas al ensayo no se visualizaron problemas de roturación en profundidad y a partir de las imágenes tomadas para la evaluación del área trabajada, se observa, con cierta incertidumbre, que nunca se superó la profundidad crítica, tanto para los montantes rectos como para los angulados. De haberse encontrado dichos inconvenientes se debería haber favorecido una menor relación d/p o una reducción de la profundidad, acompañada de una menor distancia entre arcos, lo cual no resultaría adecuado para los objetivos del ensayo.

La mayor profundidad de trabajo de los montantes AC debería en primera instancia haberlos perjudicado, por reducción del área trabajada e incremento de tracción, si ello hubiese significado superar la profundidad crítica. En este sentido, las características de la reja, de mayor dimensión y diferente disposición, habrían eliminado dicho inconveniente, sin incrementar los esfuerzos de tracción.

Por otra parte, la mayor profundidad de trabajo, también debería haber incrementado el esfuerzo de tracción, producto del incremento en la resistencia mecánica del suelo a mayores profundidades, tal como surge de las determinaciones efectuadas en el testigo, en forma previa al inicio del desplazamiento del equipo, como puede visualizarse en las Figura 15 y Figura 16.

Los valores de RE se encontraron dentro del rango informado para este tipo de implemento en los antecedentes científicos relevados. Los correspondientes a los AR superaron la unidad mientras que los de los AC fueron inferiores a la misma, siendo los primeros entre un 23% y un 31% mayores.

Los resultados fueron para los AC en un mismo plano de acción un poco mayores a los encontrados por Balbuena et al. (2003), para arcos del mismo diseño, quienes determinaron para el trabajo apareado $0,857 \text{ kN dm}^{-2}$, $0,842 \text{ kN dm}^{-2}$ y $0,728 \text{ kN dm}^{-2}$ y $0,63 \text{ kN dm}^{-2}$ con relaciones d/p de 1, 1,25, 1,54 y 2,5 respectivamente. En ese caso, la RE disminuyó en la medida en que se aumentó la distancia entre arcos para una misma profundidad, lo cual puede atribuirse a los menores contenidos de humedad que fueron para el perfil trabajado por el implemento, del orden del 20%.

También fueron similares los valores a los reportados por Raper (2005) para los arcos curvos. Los montantes angulados curvos tuvieron en su trabajo los menores valores, cercanos a $0,897 \text{ kN dm}^{-2}$, pero no tuvieron diferencias significativas con respecto a uno de los dos diseños de montantes angulados rectos evaluados, explicando lo mismo, por la diferencia de diseño en la longitud y el ángulo lateral del montante, lo cual afirma la hipótesis que el diseño del montante incide sobre la eficiencia energética de la labor. Las diferencias no significativas en RE, entre el montante curvo y el montante recto con 45° de ángulo lateral pueden asignarse a cuestiones de variabilidad en los esfuerzos y áreas trabajadas, pese a las condiciones de homogeneidad del canal de suelo ya que las mismas superaron el 10%. En parte, puede haber incidido la ausencia de interacción de arcos en el mismo plano, ya que la evaluación se efectuó sobre un solo órgano activo.

Para el caso de los Montantes Angulados Rectos los valores hallados son superiores a los determinados por Raper (2005) para los de 45° del montante lateral y algo más cercanos a los del montante recto de menor desarrollo, más estrecho. También fueron superiores a los informados por Claverie et al., (1998), para los mismos arcos, en un suelo de igual textura, para relaciones de distancia entre rejas y profundidad de trabajo cercanas a 1,4. En cambio, fueron semejantes a los valores alcanzados por los menores distanciamientos, más ineficientes, con relaciones cercanas a 1,05.

En relación con el trabajo de Vallejos et al., (2010), los valores medios fueron superiores en más de un 100% como consecuencia de que el área trabajada por montante en el ensayo de estos autores fue más del doble. Esto puede deberse, en parte, a que el contenido de humedad durante el ensayo fue alrededor de un 10% inferior, hasta los 0,40 m de profundidad, sumado a que el suelo del ensayo fue un Paleustol Petrocálcico (Soil Taxonomy, 1999), con textura franco-arenosa y la velocidad media de avance de 1 m s^{-1} (alrededor de la mitad de la velocidad utilizada

en este ensayo). Raper (2005) también muestra diferencias en la resistencia específica para suelos de textura arcillosa y arenosa, en ensayos sobre canales edafométricos, donde el principal factor de variación entre los mismos fue el esfuerzo de tracción y no el área trabajada, principalmente para los montantes angulados rectos y no para los curvos.

Teniendo en cuenta los resultados y el análisis de las causas y consecuencias de las variables sobre la resistencia específica, es posible validar la segunda hipótesis respecto de una menor resistencia específica de los montantes curvos, independientemente de la disposición, debiéndose la misma a las variables de diseño de los montantes, en su conjunto.

Resistencia a la penetración

En la Figura 15 y Figura 16 se visualizan los valores de resistencia a la penetración en función de la profundidad para la situación testigo del ensayo. Los contenidos de humedad promedio fueron, 28,67% para el tratamiento ARMPA, 26,41% ARDPA, 27,43% ACMPA y 22,18% ACDPA.

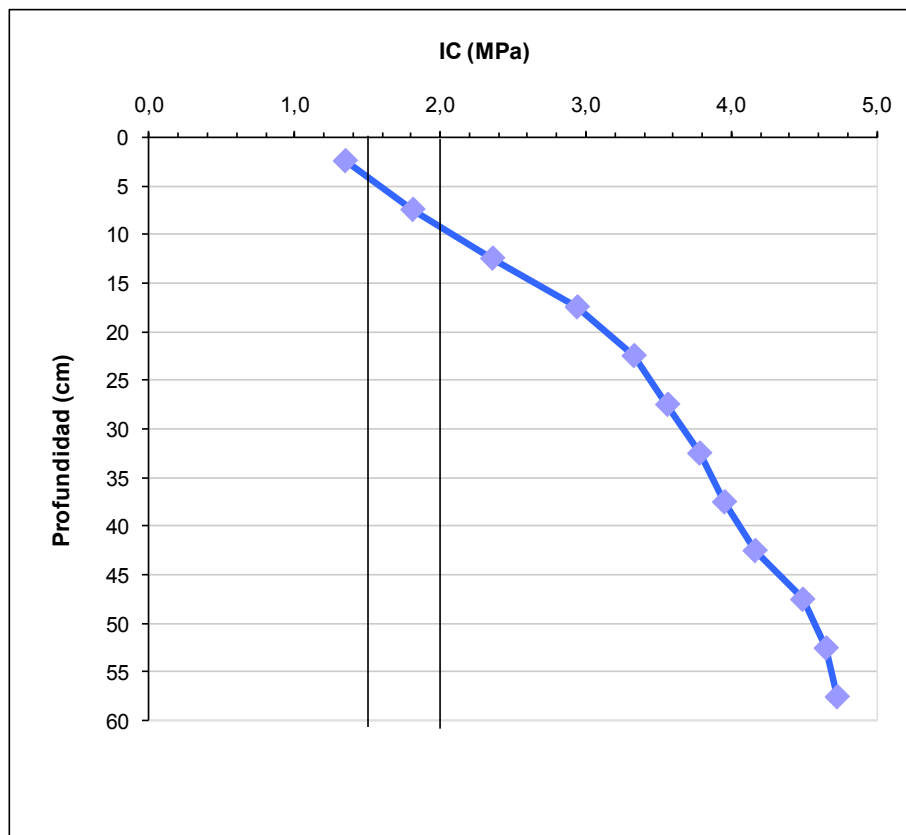


Figura 15. Resistencia a la Penetración en MPa en función de la profundidad (cm) en un Argiudol Típico para la situación testigo.

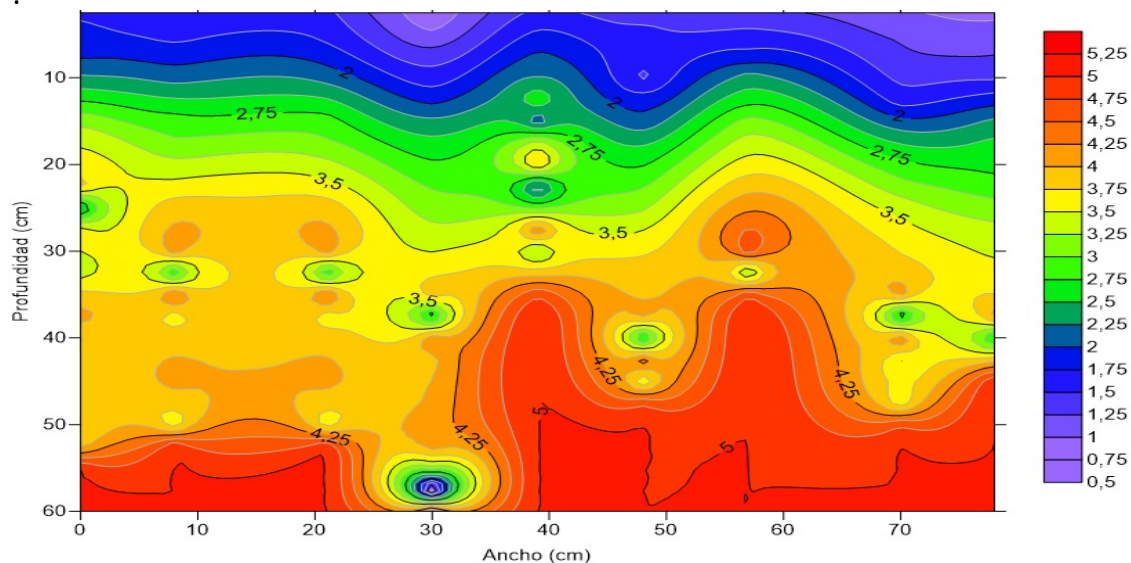


Figura 16. Curvas de Isoresistencia a la Penetración en MPa en función de la profundidad (cm) en un Argiudol Típico para la situación testigo.

En la Figura 15 y Figura 16 se observa que a escasa profundidad, unos 0,05 m, ya se puede afectar el crecimiento de las raíces debido a que se llega a 1,5 MPa (Zou et al., 2001; Threadgill, 1982) y a los 0,10 m se alcanzan 2 MPa, donde el crecimiento de las raíces ya es significativamente menor al potencial de las plantas anuales (Dexter, 1987) o directamente se ve impedido según Threadgill (1982). Resultados similares de Resistencia a la Penetración, en tratamiento testigo (parcelas sin escarificar), fueron hallados por Álvarez et al., (2010), Simoes et al., (2009), Balbuena et al., (2003), Karlen et al., (1991), en sistemas de siembra directa de cultivos.

La RP es una variable de la que se deduce cuál fue el efecto del apero (en este caso un escarificador) sobre el suelo, en lo concerniente al grado de roturación del mismo. A su vez la roturación del suelo indica el estado de las unidades estructurales, es decir, a mayor roturación, las unidades estructurales se encuentran más desagregadas. Entonces valores bajos de RP indicarían alto grado de roturación, condiciones muy favorables para la germinación de semillas y para el crecimiento y desarrollo del sistema radicular, pero desfavorables, por ejemplo, para el tránsito de la maquinaria agrícola, con altos riesgos de recompactación debido a la pérdida de la capacidad portante del sustrato. En ocasiones, se entiende que una buena labor de descompactación es la de roturar intensamente el suelo o desagregarlo en la mayor medida posible, sin tener en cuenta las consecuencias que posee esta condición para el tránsito agrícola posterior y los procesos de recompactación. Spoor et al., (2003)

proponen la fisuración sin aflojamiento como forma de trabajo con escarificadores para tratar de minimizar los riesgos planteados anteriormente.

El análisis de los resultados indicó interacción entre todos los factores de variación, montantes, disposición, sectores y profundidad, por lo cual se efectuaron las particiones correspondientes y se analizaron los efectos sobre la RP para cada uno de los factores a cada profundidad.

Independientemente de ello, en un análisis general, surge en primera instancia, que la resistencia a la penetración tuvo una marcada disminución para ambos montantes y para cada disposición a nivel de la reja por debajo de la profundidad de labor, con respecto a la situación original. Los resultados resultan interesantes, puesto que situaciones similares han sido escasamente informadas y menos aún discutidas. Hilbert & Pincu (2000) informaron que la RP disminuyó por debajo de la profundidad de labor, hasta aproximadamente 0,45 m cuando la profundidad media de labor del Paratill de montantes rectos alcanzó aproximadamente 0,31 m. También se registró en el mismo ensayo un efecto cuantificable hasta los 0,28 m, cuando la profundidad de trabajo fue de 0,17 m. En la evaluación de los distintos montantes curvos y angulados, la profundidad de trabajo varió entre 0,23 m y 0,28 m para los distintos diseños y disposiciones, por lo cual los efectos también se habrían extendido aproximadamente entre 0,12 m y 0,17 m por debajo de la profundidad media. También se desprende del trabajo de Simoes et al., (2009) que el trabajo de los descompactadores a 0,38 m de profundidad se extendió hasta más de 0,5 m de profundidad, independientemente del diseño del órgano activo utilizado en la descompactación, en el primer año de ensayo, mientras que en el segundo los efectos en profundidad disminuyeron, pero siempre algo por debajo de la profundidad de la reja. Aspectos similares se interpretan en el trabajo de Elisei et al., (2012), quien evaluó los efectos de 3 diseños de descompactadores, rectos, angulados rectos y angulados curvos y graficó los perfiles de iso-resistencia a la penetración. En ese caso, la profundidad de trabajo fue de 0,32 a 0,35 m y la incidencia en la RP llegó a los 0,4 m en el angulado recto, igual en el angulado curvo en el sector de las rejas, con amplias variaciones en los sectores intermedios entre las mismas. También Cholaky et al., (2009) a través de la técnica del Perfil Cultural muestra la existencia de aflojamiento del suelo por debajo de la profundidad de labor cuando efectúa la labranza con descompactador con reja de diseño alado "reja cero". La roturación por debajo de la profundidad de trabajo de las rejas también fue documentada por Colareda (2013) quien evaluó los efectos sobre propiedades físicas de suelo y rendimiento de un cultivo de soja. Tal como fuera

hipotetizado por el mismo, los efectos de la roturación del suelo por debajo de la profundidad de labor pueden atribuirse en parte a las características de los órganos activos de los descompactadores en función del filo de las rejas utilizadas. Habitualmente, el mismo es cementado sin rectificación (afilado) por piedra, lo que implica que una superficie roma es la que ataca, tensiona el suelo. En relación con ello, Fielke (1996) estableció la existencia de procesos de roturación y desplazamiento del suelo, por debajo de la profundidad de trabajo de los órganos activos, cuando las rejas se encuentran desafiladas. Los procesos mencionados por este autor, relacionados a rejas gastadas o desafiladas se manifestaban solamente en los primeros 0,05 m por debajo de las mismas. En este caso, las rejas de los descompactadores no presentan filo y por el contrario poseen una superficie cementada, gruesa e irregular que podría haber incrementado dicho efecto. Además, podría sumarse a ello el estado de compactación del suelo al momento de realizar la labor que, al trabajar el subsolador sometiendo a la tensión a una masa de suelo relativamente dura y uniforme en profundidad, habría favorecido no solamente la rotura en acuerdo con el modelo de fallas crecientes, sino también a que los efectos se expandieran hacia adelante y hacia abajo, seguramente con un incremento importante del esfuerzo de tracción. Dicha situación también se visualiza claramente en el testigo bajo siembra directa del trabajo de Simoes et al., (2009).

El perfil roturado bajo el patrón de falla creciente, en acuerdo con lo establecido por Spoor & Fry (1983) es el frecuentemente desplazado a mano para la identificación del patrón de roturación (Spoor & Godwin, 1978) y surge de la acción de la cara superior angulada de los órganos activos sobre el suelo. Dicha metodología no permite evaluar los límites reales del aflojamiento, en los sectores por debajo de la máxima profundidad de labor alcanzada por la reja y menos aún en los sectores intermedios entre las mismas. La evaluación aleatoria de la RP en parcelas descompactadas por escarificadores tampoco brinda una adecuada resolución de la problemática analizada, ya que terminan promediándose valores correspondientes a sectores ubicados sobre la línea de acción de la reja y sectores distanciados de la misma e intermedios entre el trabajo de 2 órganos activos contiguos. Por ello, la realización de una transecta en forma sistemática es la única que facilita dicha evaluación y la determinación de hasta qué profundidad el suelo, aunque firme, modificó su estado mecánico y qué posibilidades de colonización radical se generaron.

En lo referente a las características de la roturación del suelo en el área delimitada por los montantes angulados, en el sector correspondiente a las rejas, se

encontraron diferencias entre los distintos montantes y disposiciones utilizados en diferentes profundidades de labor.

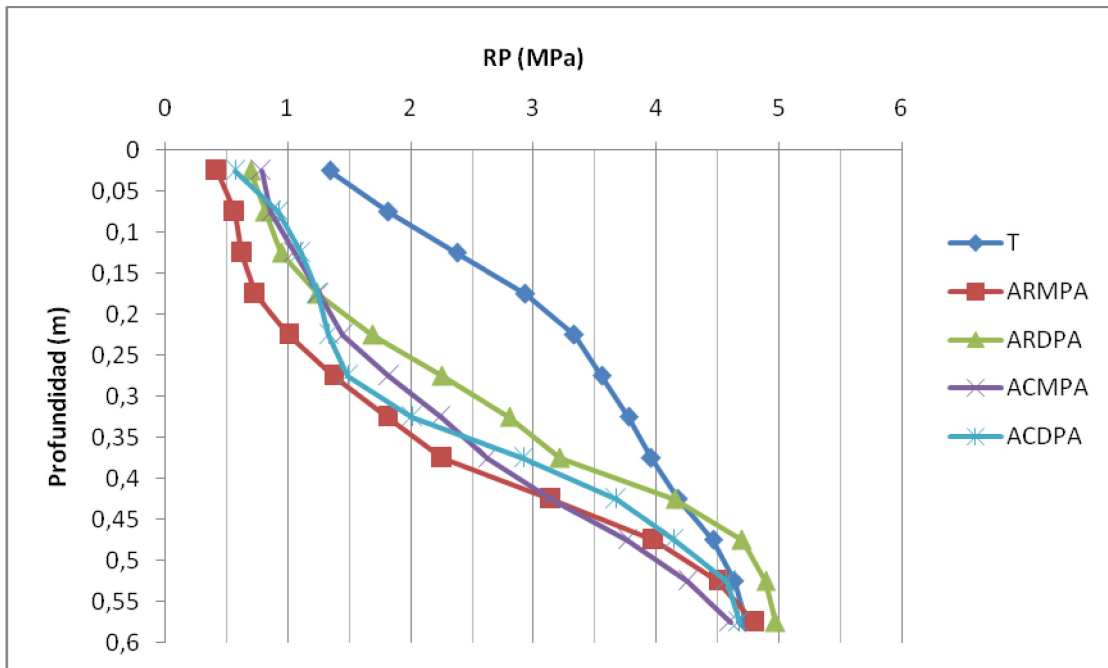


Figura 17. Perfiles de resistencia a la penetración para la posición Reja en los distintos tratamientos y subtratamientos. T: testigo; ARMPA: Montantes Angulados Rectos en el mismo plano de acción; ARDPA: Montantes Angulados Rectos en distinto plano de acción; ACMPA: Montantes Angulados Curvos en el mismo plano de acción; ACDPA Montantes Angulados Curvos en distinto plano de acción.

Tal como se dijo anteriormente la labor de descompactación tuvo efectos significativos con respecto al testigo en todas las profundidades hasta el estrato de 0,35 m a 0,4 m para ambos diseños de montante y disposiciones de los mismos. Por debajo de dicha profundidad, también existieron diferencias con respecto al testigo hasta los 0,5 m salvo en el ARDPA que fue similar al testigo y diferente a todos los demás. Por lo tanto al igual que lo ocurrido con el área de elevación y área trabajada, el subtratamiento de ARDPA fue el de mayor ineficiencia en la roturación en este aspecto.

A nivel superficial, todos los tratamientos y subtratamientos fueron capaces de reducir la RP a valores menores a 1 MPa hasta los 0,10 m y desde la superficie hasta los 0,20 m ARMPA fue significativamente menor a los demás, encontrando en cierta medida correlación con los mayores registros de área de elevación del mismo. Por debajo de esa profundidad y hasta los 0,35 m ARMPA tuvo los menores valores, pero no alcanzó a diferenciarse de ACDPA mientras que por debajo de los 0,35 m tuvo valores similares a ACMPA, sin diferenciarse en forma constante de ACDPA. En general, todas las labores redujeron la RP por debajo de 1,5 MPa hasta los 0,20 m y

no superaron los 2 MPa por encima de los 0,3 m, salvo el ARDPA. Estos límites reducen o limitan el crecimiento radical según Threadgill (1982)

Los menores valores de los tratamientos de AR en los primeros estratos del terreno pueden asociarse a las características de diseño del montante, con menor separación lateral entre el mismo y la posición de la reja, lo que hace a mayores efectos de interacción y posiblemente mayor grado de roturación en dicho sector. La ausencia de diferencias entre ARMPA y ACDPA entre los 0,25 y 0,30 m de profundidad puede en parte explicarse por la ligera mayor profundidad de trabajo de dicha configuración.

En la Figura 18 se observan los perfiles de RP para el sector medio entre las rejas.

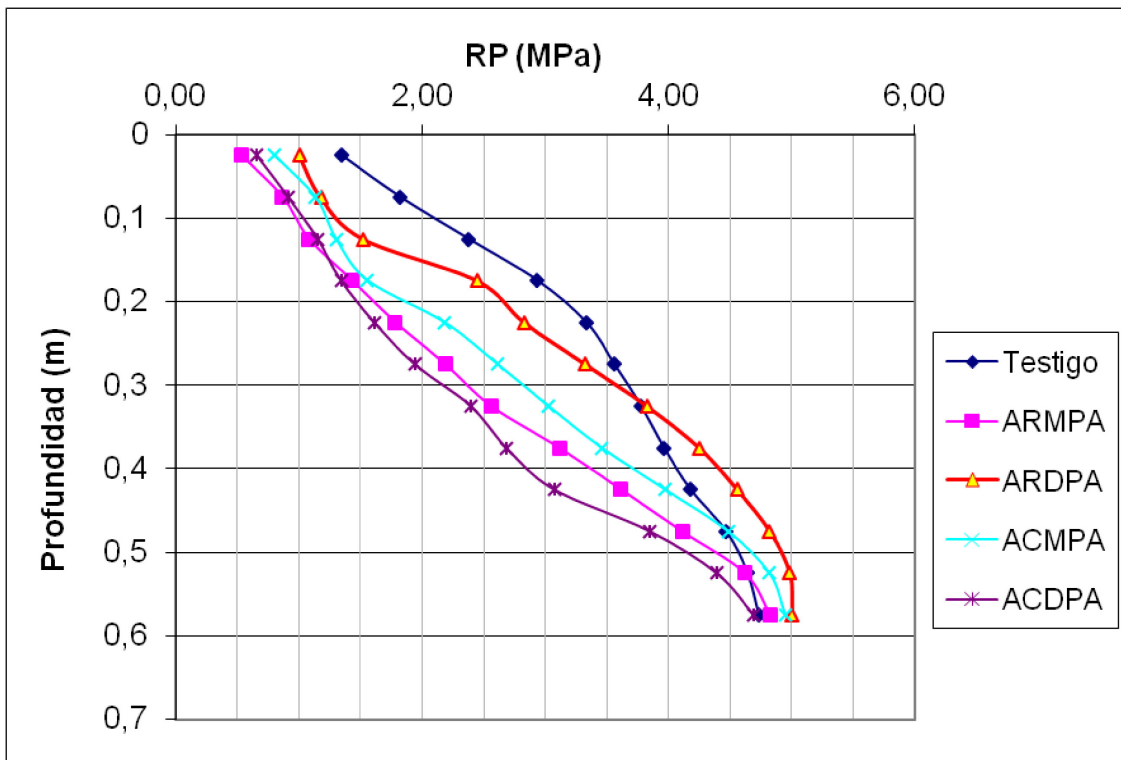


Figura 18. Perfiles de resistencia a la penetración para la posición media para los distintos tratamientos y subtratamientos. T: testigo; ARMPA: Montantes Angulados Rectos en el mismo plano de acción; ARDPA: Montantes Angulados Rectos en diferente plano de acción; ACMPA: Montantes Angulados Curvos en el mismo plano de acción; ACDPA: Montantes Angulados Curvos en diferente plano de acción

En esta posición, promedio de los tres valores centrales de RP, se encontraron diferencias significativas en la totalidad de los tratamientos y subtratamientos con respecto al testigo hasta los 0,25m, estrato en el cual el ARDPA tuvo valores similares al mismo y diferentes al resto de los tratamientos y subtratamientos. Por otra parte, ARDPA presentó los mayores valores, sin ser las diferencias significativas, con

respecto a las demás alternativas de diseño y configuraciones, desde la superficie y hasta los 0,55 m de profundidad.

Las configuraciones que lograron un mayor grado de roturación, valorado a través de la RP, fueron ARMPA y ACDPA, las cuales tuvieron menores valores desde 0,10 m a 0,30 m con respecto al resto de las configuraciones; así también, ARMPA se diferenció del ACMPA en los primeros 0,10 m. Entre los ARMPA y ACDPA se alcanzaron diferencias significativas, con menores valores para ACDPA entre los 0,35 m y los 0,45 m y en general sin mayores diferencias con ACMPA.

Los registros, a diferencia de lo acontecido en la posición reja, superan los valores de 1,5 MPa a partir de los 0,10 a 0,20 m y los 2 MPa a partir de 0,20 a 0,3 m. Por debajo de dicha profundidad, si bien pueden detectarse diferencias entre las distintas configuraciones, los valores resultan en su totalidad restrictivos del crecimiento radical.

En una evaluación general de las distintas posiciones, la configuración ARDPA fue la de menor eficiencia de roturación, aflojamiento del suelo, del conjunto de alternativas evaluadas. La condición mecánica del suelo lograda es suficiente en el sector cercano al trabajo de las rejas y el montante, pero insuficiente para el adecuado desarrollo radical en el sector intermedio entre las rejas, desde estratos relativamente superficiales. En el otro extremo, las configuraciones ARMPA y ACDPA fueron las que alcanzaron una mayor eficiencia de roturación, con escasas diferencias entre sí, con mejor prestación para los ARMPA en el área cercana a la reja y mayor roturación, menores valores de RP, para ACDPA en profundidad en el sector central trabajado entre las rejas. No obstante, el aflojamiento del suelo por el mismo no fue lo suficientemente grande como para favorecer procesos de recompactación a nivel subsuperficial, en acuerdo con los recaudos manifestados por Spoor et al (2003) y Spoor (2006). En la Figura 19 pueden observarse los perfiles de iso-resistencia a la penetración de los montantes rectos en sus 2 configuraciones ARMPA y ARDPA, en los cuales se incluyeron la totalidad de las posiciones de la transecta.

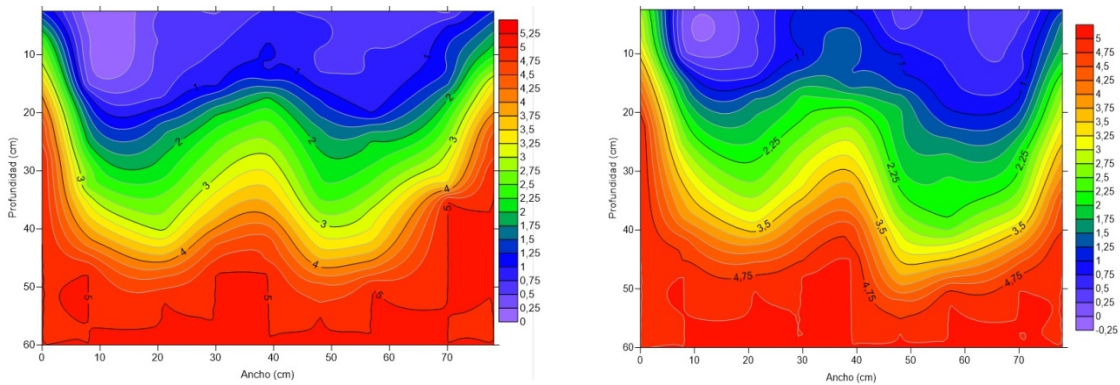


Figura 19. Gráficos de isoresistencia a la penetración para A) ARMPA (izquierda): Montantes Angulados Rectos en el mismo plano de acción; B) ARDPA (derecha): Montantes Angulados Rectos en diferente plano de acción.

Es interesante destacar, que por debajo y hacia el sector externo de la línea del montante (entre 0 a 0,1 m y entre 0,7 y 0,8 sobre el eje de las abscisas) se detectan sectores en los cuales existe un incremento de los valores de resistencia a la penetración con respecto a la situación original (Figura 16). Esto puede interpretarse en función de que la parte externa del montante que no realiza trabajo sobre el suelo, es la que soporta las fuerzas laterales que se generan en los órganos activos asimétricos y el suelo, que es el medio que les brinda el soporte y compensa a las mismas, lo cual puede originar un incremento de la RP del suelo en esos sectores.

En la Figura 20 se muestran los gráficos de isoresistencia a la penetración para los montantes angulado curvos.

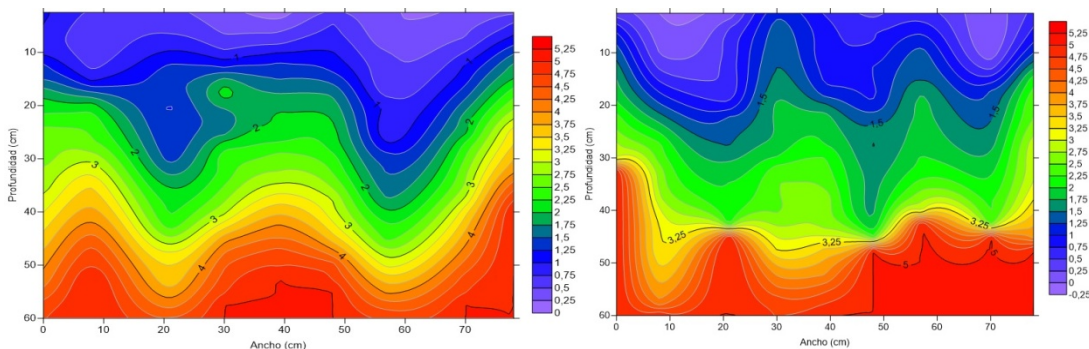


Figura 20. Gráficos de isoresistencia a la penetración para A) ACMPA (izquierda): Montantes Angulados Rectos en el mismo plano de acción; B) ACDPA (derecha): Montantes Angulados Rectos en diferente plano de acción.

Las características de diseño de los montantes curvos, parecieran limitar los efectos de incremento de RP hacia los laterales como consecuencia del radio de curvatura de los sectores cercanos a la reja. Asimismo, en la configuración ACDPA, se visualiza la escasa diferencia en la roturación de los sectores cercanos a la reja y los

sectores centrales para los estratos medios del perfil, brindando una labor más homogénea en el total del perfil trabajado.

CONCLUSIONES

- La roturación del suelo por los montantes AC y AR posee una fuerte simetría lateral con respecto a la posición de la reja, similar a la que caracteriza a los implementos de montantes rectos.
- Los descompactadores de montantes angulados producen efectos de roturación por debajo de la profundidad de trabajo, independientemente de su diseño y disposición.
- Los descompactadores de montantes angulados curvos son energéticamente más eficientes, como consecuencia de una mayor área de suelo roturada sin incrementos en los requerimientos de esfuerzo de tracción.
- El área de suelo roturada es principalmente una función exponencial de la profundidad de trabajo, independientemente de las características particulares del diseño del montante y de la reja.
- La disposición de los montantes en distintos planos de acción reduce la variabilidad de los esfuerzos de tracción.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, C. R., M.A. Taboada, M. Torres Duggan, C. Bustingorri, F. Gutierrez Boem. 2010. Uso de descompactadores en planteos de Siembra Directa en la Pampa Ondulada: Efecto sobre el suelo y el cultivo de maíz. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, Argentina 2010, 9 pp.

ASAE. 1992. S 313.2: Soil cone penetrometer. In: American Society of Agricultural Engineers (ed.). ASAE Standards. St. Joseph, MI, p.611.

Balbuena, R.H., G.F. Botta, Rivero, E.R.D. 2009. Descompactación sub-superficial del suelo. En: Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. Balbuena, Roberto Hernán., Ed. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires. Pp. 134-157.

Balbuena, R., J. Ressia, J. Claverie, M. Cristiani, A. Terminiello, G. Mendivil, T. Palancar. 2003. Descompactadores de montantes curvos. Efecto de la configuración espacial sobre la energía de la labor. VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural, Balcarce, 2003, 6 pp.

Balbuena, R.H., A.M. Terminiello, J.A. Claverie, P.M. Mac Donagh, R. Bartosik. 1997. Incidencia de la colocación de cuchillas circulares sobre patrones de roturación y energía requerida en escarificadores de arcos rígidos. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, 102 (1): 51-57.

Botta, G. F., M. C. Tourn, J. M. Vázquez, E. R. D. Rivero. 2009. Compactación del suelo por la maquinaria: influencia del peso, el neumático y la presión de inflado. III Taller de física del suelo (AACS), Río Cuarto, Córdoba, Argentina, 5 pp.

Bragachini, M., A. Méndez, F. Scaramuzza, J. Vélez, D. D. Villarroel. 2012. Impacto de la velocidad y la profundidad de siembra sobre uniformidad en la emergencia y distribución de plantas en maíz. En: Congreso de Valor Agregado en Origen. 1. Curso Internacional de Agricultura de Precisión. 11. Expo de Máquinas Precisas. 6. 2012 07 18-20, 18, 19 y 20 de julio de 2012. Manfredi, Córdoba. Argentina.

Casagrande, J., A. Quiroga, I. Frasier, J.C. Colazo. 2009. Aspectos de la evaluación y el manejo de suelos afectados por compactación en San Luis. En: A Quiroga; J Casagrande & JC Colazo (Eds.), Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en el este de San Luis. Información Técnica 173, INTA San Luis, pp. 15-21.

- Cholaky, C., M. Caciavillani, E. Bricchi.** 2009. Persistencia del efecto de descompactadores en suelos con historia de siembra directa. Experiencia en Haplustoles/udoles del sur de Córdoba. Tercer Taller de Física de Suelos, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 3 y 4 de diciembre 2009, 8 pp.
- Claverie, J. A. & R. H. Balbuena.** 2005. Descompactación por tratamiento mecánico. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Editor científico Daniel Jorajuría Collazo. Ed: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, pp. 143-157.
- Claverie, J.A., R.H. Balbuena, A.M. Terminiello, P.M. Mac Donagh, T.C. Palancar.** 1998. Energía requerida y área trabajada por escarificadores rígidos de montantes inclinados. En Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano. Balbuena, R.H.; Benez, S.H.; Jorajuría, D. Editorial de la UNLP, La Plata, pp.171-177.
- Colareda, G. O.** 2013. Persistencia de la descompactación en sistema de Siembra Directa. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Argentina. 42 pp.
- Dexter, A. R.** 1987. Mechanics of root growth. *Plant and Soil*, 98(3), 303-312.
- Domínguez, J., J. Ressia, D. Jorajuría, R. Balbuena, G. Mendivil.** 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. En: Avances en Ingeniería Agrícola. Editorial de la Facultad de Agronomía, pp. 110-115.
- Elisei, J. H.** 2013. Efecto del uso de diferentes escarificadores sobre las propiedades físicas de suelo y de cultivo en la secuencia maíz (*Zea mays*, L.)- soja (*Glycine max*, L. Merr.). M. Sc. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias UN Rosario, Rosario, Argentina. 89 pp.
- Elisei, J., B. Bonel, C. Iruetia, N. Gonzalez, C. Senigagliesi, R. Mon.** 2012. Efectos de diferentes escarificadores en propiedades físicas de suelo y enraizamiento del cultivo de maíz. Istro paper número 299. 19th Istro Conference. IV SUCS meeting. Striving for Sustainable High Productivity, 24 al 28 de septiembre, 2012, Montevideo, Uruguay, 7 pp.
- Fielke J. M.** 1996. Interactions of the Cutting Edge of Tillage Implements with Soil. *J. agric. Engng Res.* 63: 61 – 72
- Fielke, J. M., & D. A. O'Driscoll.** 1986. Comparison Testing to Evaluate Coulter Wheel Performance. En: Conference on Agricultural Engineering. Adelaide. The Institution of Engineers, Australia. 1: 52-56.
- Godwin, R.J., G. Spoor, M.S. Soomro.** 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. *J. Agric. Engng. Res.*, 30, 47-56.

Hilbert, J.A., & M. Pincu. 2000. Demanda energética de subsoladores Paratill. VI Congreso Argentino de Ingeniería Rural, II Congreso Americano de Educación en Ingeniería Agrícola. Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. Universidad de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Argentina.

INTA. 2011. Actualización Técnica N° 58 - Febrero 2011. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/documentos/siembradirecta/at_multi_download/file/Siembra%20Directa%202011.pdf. Último acceso: Marzo 2014.

Jorajuría, D. 2005. Compactación del suelo agrícola por tráfico vehicular. Una revisión. En: Reología del suelo bajo tráfico. Editor científico Daniel Jorajuría Collazo. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires. Argentina, pp. 39-55.

Karlen, D. L., W. J. Busscher, S. A. Hale, R. B. Dodd, E. E. Strickland, T. H. Garner, 1991. Drought condition energy requirement and subsoiling effectiveness for selected deep tillage implements. Trans. ASAE, 34(5), 1967-1972.

Kichler, C.M., J.P. Fulton, R.L. Raper, W.C. Zech, T.P. McDonald, C.J. Brodbeck. 2007. Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection. 2007 ASABE Annual International Meeting, pp. 1-9.

Koostra, B. K., & T. S. Stombaugh. 2003. Development and Evaluation of a Sensor to Continuously Measure Air Permeability of Soil. 2003 ASAE Annual International Meeting, pp. 1-9.

Mc Kyes E. 1985. In: Soil cutting and tillage. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 97 pp.

Municipalidad de La Plata. 2014. Estadística y evaluación de programas especiales. Disponible en: <http://www.estadistica.laplata.gov.ar/paginas/climasueloLP.htm>. Último acceso: Marzo 2014.

Payne, P.C.J. 1956. The relationship between the mechanical properties of soils and the performance of simple cultivation implements. J.Agr.Eng.Res. Vol 1:1 23-50.

Payne P.C.J. & D.W. Tanner. 1959. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. J. Agric. Engng. Res. 4, 4, 312-325.

Raper, R. L. 2005. Force Requirements and Soil Disruption of Straight and Bentleg Subsoilers for Conservation Tillage Systems. 2002 ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, pp 1-16.

Raper, R. L. & J. Mac Kirby. 2006. Soil compaction: how to do it, undo it, or avoid doing it. 2006 Agricultural Equipment Technology Conference Louisville, Kentucky, USA, pp 1-14.

Reeder, R. C., R. K. Wood, C. L. Finck. 1993. Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. Transactions of the ASAE, 36.

Riley, T. W., & J. M. Fielke. 1990. Evaluation of a Range of Coulter Wheels. In Proceedings of Asia-Pacific Regional Conference on Engineering for the Development of Agriculture, Malaysia, pp. 33-42.

Simoës, R. P., R. L. Raper, F. J. Arriaga, K. S. Balkcom, J. N. Shaw. 2009. Using conservation systems to alleviate soil compaction in a Southeastern United States ultisol. Soil and Tillage Research, 104(1), 106-114.

Spoor, G. 2006. Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. Soil Use Manage. 22: 113-122.

Spoor, G & R. K. Fry. 1983. Soil disturbance generated by deep-working low rake angle narrow tines. J. Agric. Engng. Res. 28: 217-234.

Spoor, G. & R. J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Engng. Res. 23: (3) 243-258.

Spoor, G., F. G. J. Tinjink, P. Weisskopf. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. Soil & Tillage Research 73: 175-182.

Stafford, J.V. 1979. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and Speedy. Journal of Agricultural Engineering. Research. 24, 41-56.

Soil Taxonomy. 1999. Agriculture Handbook. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. 871 p. Washington, DC 20402. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf.

Último acceso: Marzo 2014.

Threadgill, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. Transactions of the ASAE, 25(4), 859.

Vallejos, A., C. Zajac, J. Silenzi, N. Echeverría. 2010. Descompactación de un suelo y demanda energética de un arado paratill a tres profundidades y dos ancho de labor. *Agro-Ciencia*, 26(2), 99-108.

Willat S.T. & A.H. Willis. 1965. A study of the through formed by the passage of tines through soil. Journal of Agricultural Engineering. Research 10: 1-4.

Zou, C., C. Penfold, R. Sands, R. K. Misra, I. Hudson. 2001. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. *Plant and Soil*, 236(1), 105-115.