

## Relaciones suelo máquina. Condicionantes y consecuencias de la labor

### Eficiencia de la labor de aflojamiento de capas densificadas

Como se ha discutido en parte en apartados anteriores, la eficiencia de la labor de descompactación puede ser entendida de múltiples perspectivas, relacionadas con aspectos energéticos, edáficos y económicos entre otros. Por ello, se discutirán algunos de los distintos puntos de vista que surgen de numerosos trabajos de investigación llevados adelante en los últimos 30 años alrededor de esta problemática. Cholaky (2003) realiza una interesante revisión bibliográfica que ha sido tomada como base para comenzar el análisis de la problemática, ya que la misma plantea 4 aspectos básicos para el tratamiento del tema: La eficiencia de la labor, sus aspectos condicionantes, los efectos principales y la persistencia del trabajo efectuado. De este trabajo, se han tomado los antecedentes más relevantes que conducen a alcanzar conclusiones que permitan identificar las principales relaciones suelo – máquina que inciden sobre la utilidad de la labor de descompactación

En relación con la eficiencia de la descompactación, Mckyes (1985), propone evaluar la eficiencia de la labor de aflojamiento del suelo desde dos puntos de vista: 1) a través de la eficiencia en el esfuerzo de tracción del implemento, es decir la energía específica utilizada para cortar un volumen de suelo, y 2) a través de la eficiencia de ruptura de la capa densificada, en la cual se tiene en cuenta la calidad de la estructura resultante de la labor, (forma, tamaño y nuevas propiedades físicas de la matriz del suelo). Los aspectos de energía quedan restringidos habitualmente al análisis de esfuerzo de tracción, área removida y resistencia específica, es decir aspectos inherentes a la realización de la descompactación que resultan importantes, pero quedan minimizados en parte por lo que implica la eficiencia de ruptura. De nada sirve ser eficiente energéticamente si los resultados sobre el suelo, producto de la ruptura de la capa compactada no son exitosos. Esta plantea un abanico de propiedades que, condicionadas por la estructura resultante, modifican aspectos físicos, químicos y biológicos que incluyen la capacidad portante del suelo (la traficabilidad), la resistencia a la penetración del suelo, la densidad aparente, la capacidad de almacenamiento de agua, la infiltración y conductividad hidráulica, erosión y pérdida de nutrientes, mineralización del nitrógeno, el potencial redox, los procesos de desnitrificación, el crecimiento de las raíces y las posibilidades de exploración del perfil, el desarrollo de la fauna del suelo, la nodulación entre otras.

**Erbach et al., (1992)** sostienen que un sistema de laboreo y siembra es efectivo cuando crea condiciones de suelo favorables para la infiltración de agua, la germinación de semillas, la emergencia de plantas, el crecimiento temprano y el desarrollo de raíces, mantiene la cobertura superficial para el control de los procesos erosivos y da respuesta favorable en los rendimientos de cultivos. **Klein et al. (1992)**, sostienen que en la evaluación de una labor de preparación del suelo se debiera analizar el conjunto de aspectos intervinientes en la misma, a los fines de no emitir valoraciones incorrectas sobre ella. Habría que considerar además, el tiempo que perdura el efecto de esa labor, buscando que el mismo se mantenga al menos durante gran parte del ciclo del cultivo a implantar.

Extrañamente, muchos de los estudios y análisis de los efectos de descompactación abarcan solamente las variables de sistemas de labranza utilizados, o de algunos diseños de máquinas dentro de alguna alternativa de labranza y su efecto sobre algunos de los parámetros mencionados diseños, aunque en muchos de ellos solo se cuantifica si tuvo un efecto “significativo” sobre el rendimiento. Cuando en un proceso, como el someramente descrito, intervienen tantos factores, íntimamente relacionados y condicionados además por las condiciones agroclimáticas locales o regionales en un período dado, debería incluirse como parámetro a valorar, cuantificar y discutir la disminución o eventualmente aumento del riesgo que se alcance por medio de este tipo de labores. No obstante ello, se incorporan a continuación los aportes más o menos integrales o parciales que ayudan a comprender en

su conjunto la variabilidad y complejidad de respuestas de los sistemas al pasaje de la máquinas, como se indicó inicialmente, más antiguas y simples de trabajo del suelo

Henin (1960), por ejemplo, plantea que el subsolado resulta una operación poco eficaz en suelos profundos, pero que puede resultar interesante en aquellos terrenos que presentan capas endurecidas dentro del perfil cultural. En este sentido, Cerana y Nicollier (1969) manifiestan que la destrucción de una capa densa, puede no reflejarse en un mayor crecimiento de las raíces y de las plantas, cuando las condiciones climáticas son lo suficientemente satisfactorias, como para que la capa no genere una resistencia mecánica apreciable. Cuando el agua es un factor limitante en el ciclo del cultivo, el subsolado puede incrementar la humedad y el N disponible, por un aumento en el espacio explorado por las raíces (Sojka et al., 1990). Debe quedar claro que el término puede, solo afirma la posibilidad y constituye al mismo tiempo tanto una conclusión, como una hipótesis. Debe recordarse, que, en relación a las condiciones físicas del perfil que resultan apropiadas para el crecimiento vegetal, Vepraskas (1988) afirma que a partir de 1,5 MPa comienza a restringirse el crecimiento radical y que a partir de una densidad aparente de  $1,55 \text{ Tn m}^{-3}$ , la compactación, en combinación con la textura, puede generar restricciones para el crecimiento radicular a tensiones de humedad de 0,1 MPa. Los valores mencionados, deben tomarse como indicativos, para condiciones generales del desarrollo de los cultivos, puesto que en diferentes estadios los límites varían según las especies, resultando menores habitualmente en las etapas iniciales. En la capa superficial donde se asienta la semilla, Al respecto, En cuanto a los efectos de la compactación superficial sobre la implantación de cultivos, Hadas y Stibbe (1977) indicaron que bajos niveles de emergencia se producen en condiciones de suelo muy seco, muy húmedo o muy duro y, en general, el proceso de germinación es más rápido y completo con densidades aparentes de 1,2 Mg o menores y con valores de resistencia a la penetración menores de 1,4 MPa. Según Nasr y Seles (1995), la densidad aparente afecta la emergencia principalmente por cambios en el volumen y continuidad de los poros en la cama de siembra. Estudios experimentales han demostrado también que la germinación, la elongación de las raíces, la elongación del coleoptile y la emergencia del trigo pueden ser afectadas con estrés en la interfaz mayores a 3, 2,3, 1,7 y 0,8 MPa, respectivamente (Collis-George & Yoganathan, 1985). En relación con los efectos adversos de inadecuadas condiciones físicas del suelo para el desarrollo del sistema radicular, Threadgill (1982) indicó que registros de 2 a 2,5 MPa son capaces de detener el mismo. Carter (1988) menciona también que valores de 1,5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces. En relación con la densidad aparente, Vehimeyer y Hendrickson (1948) determinaron que valores de  $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$  constituyen el umbral crítico para el desarrollo radicular de gramíneas, mientras que Daddow y Warrington (1983) establecieron que  $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$  es el umbral de crecimiento radical. Por otra parte, en suelos franco arenosos, valores de porosidad de aireación inferiores al 30% comienzan a ser restrictivos para el crecimiento vegetal, mientras que un 10% resulta suficiente en algunos suelos arcillosos (Hakansson y Liepic, 2000). La diferencia se basa en la geometría, continuidad y estabilidad del espacio poroso en los diferentes tipos de suelos. (Hakansson y Liepic, 2000).

Visto desde la óptica de la descompactación, cada vez que se superan los valores límites especificados de densidad aparente y/o resistencia a la penetración y tensión de humedad o porosidad de aireación, existen condiciones bajo las cuales, la labor podría generar condiciones que disminuyan los riesgos de implantación, afectación del crecimiento radical, absorción de nutrientes y rendimiento de cultivo. Sin embargo, la descompactación no garantizará más que la modificación de las condiciones físicas del suelo que pueden incidir en todos los demás factores mencionados.

Algunos de estos valores han sido fuertemente cuestionados. Tal vez sea la densidad aparente uno de los parámetros de menor sensibilidad para establecer requerimientos de descompactación. Por un lado, la fuerte porosidad textural de algunos suelos reduce las posibilidades de una fácil interpretación del real estado del suelo. La

determinación de la densidad de las partículas según el tipo de suelo también puede ayudar, puesto que se ampliarán notablemente las diferencias y valores vinculados a la porosidad estructural. Otra posibilidad de análisis más útil que los valores de densidad aparente es la densidad relativa de un suelo, comparada con aquella posible de alcanzar con alguna metodología estandarizada. Una de las más antiguas y difundidas es la de Proctor (1933) o sus modificaciones más recientes. En esta línea de trabajo, **Hakansson y Liepic (2000)** establecieron cuatro grupos de cultivos según el grado de compactación de la capa comprendida entre los 4 -25 cm de profundidad que optimiza su crecimiento; cultivos como cebada (*Hordeum vulgare* L.), remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.), Vicia (*Vicia Faba* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L), poseen un grado de compactación óptimo de 87, 85, 84 y 82 % respectivamente. Por lo general, cuando el grado de compactación supera el 85% y el suelo se encuentra a un potencial agua próximo al del punto de marchitez permanente (1,5 MPa), la resistencia a la penetración en la mayoría de los casos puede exceder el valor crítico de 3 MPa que limita el crecimiento radicular (**Da Silva et al., 1994**). En la actualidad, también esta línea de análisis es parcialmente cuestionada, principalmente, en algunos sistemas de labranza. Concretamente, según algunos investigadores, indican que en sistemas de siembra directa de cultivos, los resultados no son tan malos como sería dable esperar en base a las determinaciones de compactación relativa realizadas, ya que los rendimientos no pueden considerarse inadecuados. Obviamente, los cambios en la estructura del suelo bajo siembra directa, en la medida que el sistema sigue evolucionando, brindan el marco para nuevas hipótesis, metodologías de cuantificación y calificación del "estado de salud" del suelo. La ciencia y su avance ponen permanentemente nuevos límites, pero también las comparaciones sobre los antiguos o tradicionales sistemas de labranza van perdiendo validez, a medida que pasan los años. Nótese que en la mayoría de los trabajos, el testigo, la base de comparación ha sido el sistema con arados de reja y vertedera, el cual fue abandonado en numerosos sitios del mundo, por la profunda degradación en el estado físico del suelo y la imposibilidad de alcanzar una producción sustentable a partir del mismo. No obstante, muchos trabajos marcan como un éxito, si los sistemas conservacionistas alcanzan los rendimientos de aquello que desean desterrar.

En cuanto a los efectos de las operaciones de labranza uno de los aspectos importantes es su efecto sobre el tamaño de terrones producido, al ser este esencial para el control de la erosión y la obtención de camas de siembra con condiciones adecuadas para el establecimiento de los cultivos (**Macks et al., 1996**). También, en los últimos 5 años, ha sido una de las variables de mayor discusión, en virtud de las propuestas efectuadas por Spoor et al., (2003).

Con respecto a este tema, **Unger (1997)** sostiene que una adecuada calidad del suelo resulta de suma importancia para la producción sostenible de cultivos en las tierras agrícolas, indicando que la misma es afectada tanto por la cantidad y distribución de tamaños de agregados secos al aire, como la de los estables al agua. **Deibert, (1981)** por su parte, sostiene que el tamaño, forma, calidad y cantidad de los agregados determina la facilidad con que el aire, el agua y las raíces de las plantas penetran en el suelo.

Braunack y Dexter (1989), señalan que el rango de tamaño de agregados que influye en las principales propiedades físicas del suelo se encuentra entre 0,1- 16 mm. Tisdall y Oades, (1982) sostienen que una adecuada estructura para el crecimiento de los cultivos depende de la presencia de agregados de 1 a 10 mm de diámetro, que permanecen estables cuando se humedecen. En relación a ello, Dobrzanski et al., 1975 y Mac Rae y Mehuys, 1987, citados por Carter, 1992, afirman que en general, los tamaños de agregados entre 1 y 5 mm son los más favorables para el crecimiento de las plantas. Agregados  $\leq 2$  mm permitirían, según los estudios realizados por Misra et al. (1988), una mejoría en la exploración radicular inter e intrapedes, a partir de un incremento en la longitud total de raíces y de la proporción de raíces creciendo dentro de los agregados. Esto podría atribuirse según Misra et al. (1986) a una menor impedancia a la penetración radicular en los agregados de menor dimensión. Además, podría esperarse que se produzca una menor alteración

morfológica de la raíz según lo que expresa Logsdon et al.,(1987). Por otro lado, Unger y Jones (1994) observaron que la velocidad de infiltración en un suelo Paleustol era mayor en el rango de tamaño de agregados comprendido entre 0,42 y 2 mm. Por encima de este tamaño, los terrones están generalmente conformados por agregados menores, que a medida que el agua ingresa al suelo se van desintegrando, disminuyendo de este modo la velocidad de infiltración. Por el contrario, agregados de menor dimensión, están asociados a poros más pequeños, los que reducen la velocidad de movimiento del agua. Resultados similares fueron obtenidos por Arshad et al. (1999), en suelos franco limosos y franco arenosos.

Relacionados a estos aspectos, se encuentran los condicionantes, o sea las variables que inciden en la efectividad del subsolado. Algunos investigadores han tomado estos aspectos, y analizaron la conveniencia de realizar o no una labor de subsolado, planteando que esta labor era justificable, entre otros aspectos, cuando el Diámetro Ponderal Medio de los agregados de la capa densificada era  $< 2$  mm (**Vepraskas y Gurthrie (1992)**). Tomaron este valor como indicador, ya que por debajo del mismo, la estructura de los suelos sobre la que trabajaron, Paleudults arenic, con textura arenosa gruesa y Densidad Aparente  $> 1,6 \text{ T m}^{-3}$  en la capa compactada, era en grano suelto y masiva en otros casos, sin grietas visibles para la exploración radicular, por lo que la capa representaba una barrera física para las raíces. Por encima de 2 mm de diámetro, los agregados eran diferenciables y presentaban un adecuado agrietamiento entre ellos, pudiendo las raíces atravesar la capa, no justificando por lo tanto, la labor de subsolado.

**Mckyes (1985)**, sostiene que el cambio en la densidad del suelo por el efecto de una labor de aflojado dependerá de varios factores, incluyendo la densidad del suelo, el contenido de humedad, la geometría de la herramienta y la velocidad de labor. Complementariamente, **Tollner et al., (1984)** afirman que los cambios generados por la labranza en la densidad aparente y en las impedancias mecánicas del suelo, están afectados de una manera muy compleja por la textura, estructura y el contenido de humedad del suelo al momento de realizar las labores. **Mialhe, (1996)** indica que la capacidad para movilizar el suelo que presenta un implemento, es función de la condición inicial del mismo (densidad y humedad), de las condiciones operativas, básicamente la profundidad y velocidad de trabajo, y de las características de diseño del implemento.

**Ayers (1987)** sostiene, en cambio, que no existe una tendencia general en cuanto al efecto de la humedad sobre la cohesión y el ángulo de fricción interna entre partículas, por lo que es necesario definir los efectos que el tipo de suelo, densidad y humedad, ejercen sobre estas propiedades, para poder explicar cambios en la interacción suelo - herramienta (esfuerzo de tracción por ejemplo), ante variaciones en las propiedades del suelo. Por lo tanto, La alteración de la estructura por compactación puede ser atenuada mediante un mejor entendimiento del comportamiento del suelo laboreado ante diversos contenidos hídricos y niveles de compactación del mismo y de este modo sería posible generar guías orientativas sobre el momento adecuado para realizar las labores, (**Shafiq et al., 1994**). Estos mismos autores, estudiaron el efecto de la compactación y la humedad al momento del laboreo, sobre la densidad aparente de suelos franco arcillosos y observaron que la densidad aparente, generada por la labor, aumentaba con el incremento en el contenido de humedad antecedente y el nivel de compactación original. Cuando la condición inicial de suelo estaba más compactada, el contenido hídrico tuvo un efecto más pronunciado sobre el aumento de la densidad aparente. Por otro lado, observaron que la resistencia a la penetración aumentaba cuando se incrementaba la compactación y este incremento era más pronunciado cuando la compactación era inducida a elevados contenidos de humedad del suelo. Resultados similares fueron obtenidos por **Richard et al., (1999)** quienes observaron que la porosidad estructural disminuía linealmente, a medida que se incrementaba el contenido de agua al momento del tránsito del implemento agrícola, aunque el incremento fue superior cuanto mayor era la porosidad estructural previa al tránsito. El análisis morfológico del perfil posterior al tránsito mostró, que el volumen y la profundidad

del área compactada se incrementaba con el aumento de la humedad al momento del tráfico.

Ha sido demostrado también, que tanto el tipo de implemento de labranza, como el número de pasadas del mismo, influyen sobre la distribución de tamaño de agregados secos al aire (**Braunack y McPhee, 1991**). Sin embargo, según **Unger, (1993)**, también el contenido de agua del suelo al momento de realizar la labor influye en el grado de fracturación del mismo. Tanto la estabilidad de los agregados, frente al humedecimiento, como el contenido de humedad del suelo al momento de realizar la labor cambian según la historia de uso de una situación determinada (**Perfect et al., 1990**) y la historia de uso influye sobre la distribución de tamaño de agregados secos al aire (**Ambrust et al., 1982**).

**Braunak y McPhee (1991)** estudiaron el efecto del contenido de agua al momento de realizar la labor, sobre el tamaño de agregados y demostraron que los suelos laboreados a bajos contenidos de humedad formaron agregados de menor tamaño. **Machado et al.,(1996)** trabajando en un suelo arenoso franco, encontraron que tanto el diámetro medio geométrico de agregados, como la porosidad media total y la estabilidad de los agregados, fueron mayores cuando se laboreó el suelo con 12% de humedad que cuando se lo realizó a 7%, coincidiendo con lo encontrado por **Adam y Erbach (1992)**.

**Vallejos et al., (1998)** evaluaron el efecto de diferentes implementos de labranza vertical sobre la descompactación de un Haplustol éntico y encontraron que el trabajo realizado con subsolador fue ineficiente, debido a la excesiva humedad y separación de los cuerpos del implemento, lo que generó un escaso estallido de la capa compactada.

**Stafford (1979)** sostiene que a medida que la humedad del suelo se incrementa, el modo en que el suelo se disturba, cuando es laboreado por rejas angostas, cambia. A bajo contenido de humedad el suelo rompe como un material rígido, quebradizo, a través de delgadas superficies de falla. Cuando el contenido de humedad es alto, el volumen completo de suelo, que se encuentra en frente de la reja, fluye en forma plástica, y no se evidencian planos de falla principales. El cambio de un tipo de falla o ruptura a otro, ocurre a contenidos de humedad cercanos, pero inferiores al límite plástico del suelo y tendrá un efecto principal sobre el tamaño de agregados. Sin embargo, cuando el suelo se encuentra excesivamente húmedo, según **Snyder y Miller (1989)**, el requerimiento de energía para el fracturamiento es mayor que cuando el mismo se presenta friable, ya que parte de dicha energía se gasta en la deformación plástica previa. El suelo rompe bajo un patrón de ruptura “flexivo o combado”, en el que se fragmenta hacia adelante del extremo cortante, definiendo una superficie de corte curva, en donde el suelo pierde contacto con la herramienta hasta que cae por su propio peso, momento en el que sufre fracturamiento (**Elijah y Weber 1971**), definiendo un tamaño de terrones mayor a aquellos generados con menor humedad edáfica, debido al cambio en el patrón de fisuramiento del suelo hacia un modo en “plano de corte”. Por el contrario, cuando el suelo está friable se vuelve quebradizo, respondiendo a un modo de ruptura en “plano de corte”, en la que la fuerza ejercida al suelo se incrementa a partir del extremo de la herramienta hacia el resto de la masa del suelo formando planos de corte, desde el extremo de la herramienta hasta la superficie, con un ángulo próximo al valor teórico de  $(45^\circ - \phi/2)$ , (**Elijah y Weber, 1971; Stafford, 1979**).

**Baver et al. (1972)**, sostienen que una labor de aflojamiento realizada en una condición de humedad del suelo cercana al límite de plasticidad, es poco eficiente ya que no se produce fracturamiento del subsuelo, siendo la condición ideal para la labranza el intervalo de humedad correspondiente a la consistencia friable.

**Rajaram and Erbach (1996)** mencionan que cuando el suelo se presenta friable, el suelo puede romper en forma de “colapso”, modo que resultaría similar al patrón en “plano de corte” mencionado por **Elijah y Weber (1971)**. Este tipo de fracturamiento se produciría cuando la estructura del suelo colapsa al comprimirse la masa del suelo en frente de la herramienta. Según los autores, este tipo de fracturamiento parecería estar asociado con la formación de agregados de menor dimensión, comparados con los generados por otros

formas de fisuramiento. Los mismos autores plantean otro patrón de ruptura, el de “fractura o agrietamiento”, el cual se genera en la mayoría de los suelos cuando la humedad no excede el límite plástico. El tamaño medio de agregados esperado respondería a un rango intermedio entre el anterior modo de fracturamiento y aquel generado a elevados contenidos hídricos.

**Machado et al. (1996)**, trabajando con un escarificador de timones rectos con rejas estrechas a 20 cm de profundidad, sobre un suelo arenoso franco, encontraron que cuando el contenido hídrico ascendía de 7 a 12 %, el tamaño medio de los agregados ascendía, lo cual fue atribuido a un incremento en la resistencia de los terrones a desintegrarse. Resultados semejantes fueron obtenidos por **Cresswell et al., (1991)** determinaron que existía interacción entre la intensidad de laboreo y la humedad edáfica previa a la labranza en un suelo franco limoso, observando que cuando la intensidad era elevada y el contenido hídrico correspondía a 0,58 veces la humedad del límite inferior de plasticidad, la proporción de agregados pequeños se incrementaba con respecto a la labor realizada a un contenido hídrico cercano a ese límite, pero los agregados generados a mayor contenido hídrico fueron más inestables mecánicamente que los producidos a menor humedad. De acuerdo a **Hadas y Wolf (1983)** en suelos muy secos el proceso de fragmentación de los terrones durante la labranza se produce por la acción abrasiva entre los mismos terrones y de la superficie del implemento.

Otro aspecto mencionado como condicionante del resultado de la descompactación es la densidad aparente. El incremento de la densidad aparente de los suelos por lo general incrementa la resistencia al corte, (**McNabb y Boersma, 1993**), aumentando tanto los valores de cohesión como de ángulo de fricción interna (**Ayers, 1987**) y por lo tanto la energía invertida en la operación de labranza. **Wells y Treesuwan, (1978)** encontraron que el índice de cono, el módulo de deformación o ruptura y el ángulo de fricción interna del suelo, mostraban una dependencia apreciable con el contenido de humedad y la densidad aparente del mismo.

**Klein et al., 1992**, evaluaron el efecto de diferentes escarificadores sobre el diámetro de agregados de un suelo arcilloso y encontraron que los valores de diámetro medio geométrico eran menores a los obtenidos por **Klein (1990)**, citado por **Klein et al., (1992)** en ese mismo suelo, atribuyéndolo a que en este último, la densidad del suelo era mayor. A similar resultado arribaron **Spoor y Fry (1983)**, trabajando en un suelo franco arenoso; evaluaron el disturbio producido por la labranza con rejas planas y angostas, encontrando que el aflojamiento fue mayor en el suelo con mayor DAP. En la condición de menor DAP, en cambio hubo un leve incremento de la compactación en la profundidad y en superficie.

**Smith et al., (1989)** sostienen que la densidad del suelo modifica el patrón de ruptura del mismo. A elevada DAP, el suelo se desplaza tridimensionalmente: hacia arriba, hacia delante y hacia los costados de la herramienta de labranza. Cuando la DAP es baja, el movimiento del suelo se produce en dos direcciones: hacia delante y hacia los costados de la herramienta, pudiendo generar compresión ambos lados de la herramienta. **Griffith (1924)**, citado por **Snyder y Miller (1989)**, analiza la deformación y fracturamiento del suelo sometido a fuerzas de tensión. Sostiene que en materiales elásticos, el agrietamiento del suelo producto de las fuerzas de tensión y corte aplicadas, comienza una vez que la concentración de las fuerzas de tensión en los extremos aguzados de las cavidades dispuestas perpendicularmente a la dirección de la fuerza aplicada, alcanza un valor máximo característico de cada material, a partir del cual se inicia la propagación o crecimiento de las grietas. Este valor de tensión máxima es varias veces mayor que la fuerza aplicada y depende de la geometría de los poros o cavidades existentes.

**Spoor y Godwin (1978)**, evaluaron el aflojamiento profundo del suelo producido por diferentes púas rígidas y afirman que existe una profundidad crítica para cada forma y configuración de herramienta y para cada condición de humedad y densidad del suelo labreado. Además, Sostienen, además, que el aflojamiento del suelo probablemente

durará más tiempo, si las unidades estructurales disturbadas sufren un reacomodamiento o reorientación cuando caen unas sobre otras. El reacomodamiento más efectivo en profundidad se produce con rejas aladas y mientras mayor sea la altura de elevación de la misma, mejor es el reacomodamiento de las nuevas unidades estructurales. Evaluaron además la incidencia del ancho de las alas, de la altura de elevación de las mismas y de la posición de estas en la reja del subsolador, sobre la fuerza de tracción, el área disturbada y la resistencia específica. Encontraron que a mayor ancho del ala, mayor es el esfuerzo de tracción y el área disturbada, siendo mayor su incidencia sobre esta última, por lo que la resistencia específica es menor. De la comparación de tres alturas de elevación del ala, de 25, 20 y 15 mm, observaron que el valor intermedio era el que menos incrementaba el esfuerzo de tracción y su resistencia específica era significativamente menor que con la de mayor valor. Con respecto al posicionamiento del ala en la reja del subsolador, encontraron que ésta no influía sobre el esfuerzo de tracción ni sobre el área disturbada, coincidiendo con lo observado por **Ahmed y Godwin (1983)**. **Busscher et al., (1988)** por su parte, encontraron que el grado de fragmentación de las capas compactadas por efecto del subsolado, fue más extenso cuando se utilizaron montantes rectos angulados, tipo paraplow, que cuando se laboreó con aquellos curvados en forma parabólica.

En cuanto a la distribución de los agregados en el perfil, **Davis et al., (1982)** indican que la cama de siembra y el lecho ideal el desarrollo del sistema radical, debe contener los gránulos o agregados más finos y más firmes en profundidad y los de mayor tamaño en superficie, de modo que éstos puedan reducir el impacto de las gotas de lluvia. En contraposición a esto, **Baver et al., (1972)** indican que el tamaño de los agregados en superficie no debe ser demasiado grande de modo de permitir un íntimo contacto entre el suelo y la semilla. En función de ello, se desprende que las condiciones del suelo que reducen sus riesgos de erosión, no son necesariamente las mismas que propician una cama de siembra favorable, para la implantación de los cultivos, por lo que los aspectos relacionados a la protección mecánica de la superficie con residuos de cosecha, resultan de suma importancia también al evaluar una operación de labranza. El porcentaje de cobertura remanente y la rugosidad superficial generada por la labor brindan protección a la capa superficial. La cobertura superficial disipa la energía de la gota directa de la gota de lluvia y reduce la erosión. Provee, además, resistencia mecánica al flujo de agua, por lo que decrece el potencial de erosión (**Foster et al., 1982**).

Tal como se desprende de las contradicciones especificadas en el párrafo anterior, las condiciones de labranza y los objetivos perseguidos, plantean frecuentemente distintas alternativas que hacen necesario un nuevo análisis de las situaciones creadas, ante los nuevos escenarios. Por ejemplo, los escarificadores, en general, como fue explicado en apartados anteriores, producen un fuerte efecto de estratificación de los agregados, por lo que resultan aperos de labranza funcionales la idea de Davis et al., (1982), favoreciendo en ese mismo proceso que los agregados de mayor tamaño queden a nivel superficial y atiendan por lo tanto a los criterios conservacionistas de reducir los riesgos de erosión hídrica y eólica como también las posibilidades de encostramiento por impacto de la gota de lluvia. Además, la elevación del terreno, el cambio de posición de los agregados y la presencia de residuos en superficie aumentan la rugosidad espacial, tanto sistemática, producto del desplazamiento lateral del suelo de la línea de trabajo de las rejas, como la aleatoria, producto de la ubicación individual de los agregados sobre la superficie del suelo. Planteado de esta forma y tratando de imaginar la situación en el campo, difícilmente alguien visualice la situación descrita como aquella en la cual se pueda pensar en un funcionamiento adecuado y eficiente de una máquina sembradora para alcanzar un alto grado de precisión en la distribución de la semilla en la línea de siembra, tanto en lo referido a equidistancia como uniformidad de profundidad.

En los sistemas con remoción, este tipo de inconvenientes, tiene una solución relativamente sencilla, lo cual no quiere decir adecuada o económica, menos aún viable desde el punto de vista de un balance energético, ni de la sustentabilidad del sistema. Si los

agregados que quedan en superficie, producto de una labor de descompactación resultan de un tamaño excesivo, se puede solucionar con algún tipo de rastras o combinación de aperos de laboreo secundario que tienen como principal característica de trabajo justamente esa: romper, desagregar, disminuir el tamaño de los terrones, tratando de generar un Diámetro Ponderal Medio compatible con la implantación de los cultivos. En algunos sistemas, resulta habitual que la labor de descompactado se efectúe cerca del momento de siembra, luego de haber prácticamente terminado de preparar la cama para el depósito de la semilla. En otros, el uso de descompactadores de profundidad combinados, se realiza al principio del barbecho, mientras que algunos planteos, como combinaciones de descompactadores y rastras de discos tratan de solucionar la totalidad de los objetivos planteados en un único pasaje sobre el suelo

En sistemas sin remoción del suelo, con problemas de compactación y por lo tanto necesidad de descompactación la solución de los problemas parece muchas veces más sencilla de lo que realmente es. Si el suelo está compactado, se debe descompactar. Sin embargo, las soluciones deben atender en este caso, fuertemente a realizar el mínimo de pasajes posibles sobre el suelo, a disturbar lo menos posible la superficie, crear la menor cantidad de irregularidades (aleatorias o sistemáticas) a no perder el capital de residuos acumulados en los años de instalación del sistema y resolver el problema de descompactación subsuperficial y frecuentemente también a nivel superficial.

En el análisis, se vuelve entonces al inicio del problema y a las contradicciones permanentes que existen hoy en la mecanización agrícola: Se debe descompactar porque el suelo se compactó. Se debe generar una determinada cantidad de "tierra fina" agregados de pequeño tamaño, pero los mismos deben ubicarse en distintos lugares, superficial o subsuperficialmente según el objetivo principal. Las diferentes máquinas agrícolas cumplen con distintos objetivos de labranza según las características de diseño más importantes, por lo cual, es difícil encontrar una sola máquina que resuelva todos los objetivos; sin embargo, las necesidades de un balance energético positivo, los costos productivos y cuestiones intrínsecas de los distintos sistemas de labranza conllevan en los últimos años a la disminución en el uso de maquinaria de labranza y se afirma la tendencia de la siembra sin roturación previa, con un único pasaje de la máquina sembradora. A ello se suma que el suelo más compactable, es el que ha sido recientemente labrado y es necesario labrar, para poder descompactar. Luego de descompactar, se sigue transitando para sembrar, pulverizar, fertilizar, cosechar, sacar los granos del lote y se lo hace tratando de aumentar la eficiencia a partir de la reducción de costos, con tractores y máquinas cada vez más pesadas y potentes. O sea que volvemos al principio, o sea a producir procesos de compactación, que por hacerlo con tractores cada vez más pesados, será cada vez a mayores profundidades en el perfil del suelo y abarcará cada vez más estratos, de manera más severa. Por otra parte, si la selección de rodados no es la adecuada, el perfil del suelo se compactará desde la superficie. Como conclusión surge por lo tanto, que el problema sigue siendo, aún, un problema.

Spoor et al. (2003) realizan, en un trabajo de revisión, un abordaje integral de la problemática de la compactación de suelos, los procesos de descompactación, recompactación y las posibilidades de prevenir o minimizar la misma. En lo referente al tamaño de agregados, afirman que la labor de descompactación debe "fisurar" el suelo, generar grietas aliviando la capa compactada, sin modificar el estado aparente del resto del suelo. Este tipo de roturación del suelo puede ser definido como fisuración sin aflojamiento, permitiendo que la capacidad de soporte del sea mantenida. Este objetivo puede ser alcanzado de mejor manera, según los autores, sometiendo la capa compactada a la fractura por tensión permitiendo que el suelo entre las fracturas permanezca intacto. La fractura por tensión puede ser alcanzada por la elevación del suelo por medio de una reja subsuperficial, que somete a la flexión al estrato de suelo inmediatamente por encima de ella (Fig. 47)



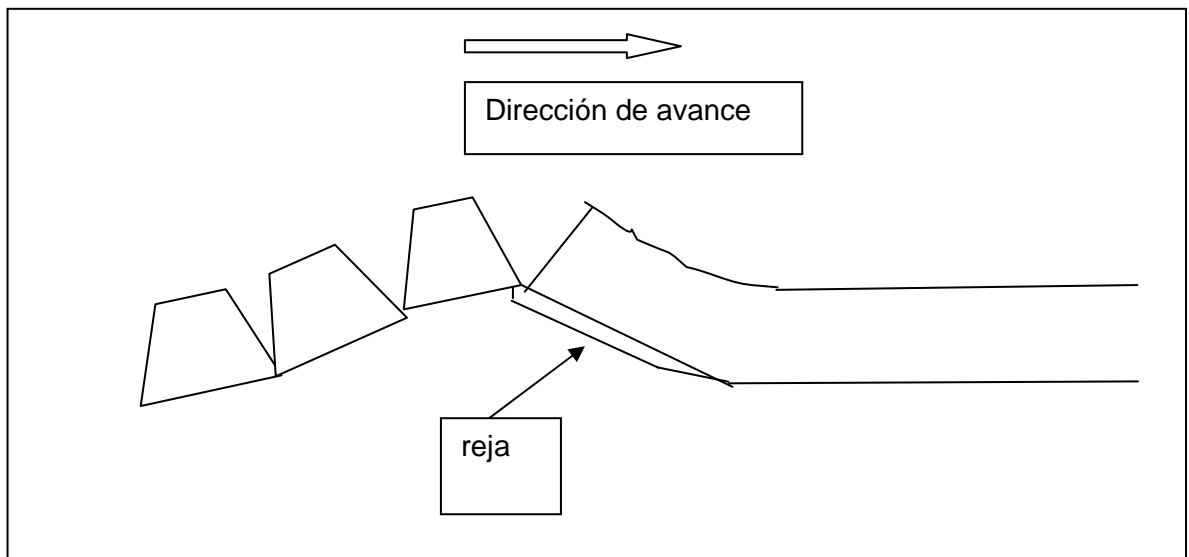


Figura 47. Esquema de roturación por flexión de la capa del suelo endurecida por flexión

El tipo de descompactadores que son capaces de efectuar este tipo de roturación del suelo son los subsoladores alados, los subsoladores de montante angulado (lateralmente, tipo Para till) y los escardillos subsuperficiales. Un esquema de los 3 implementos se muestra en la figura 48.

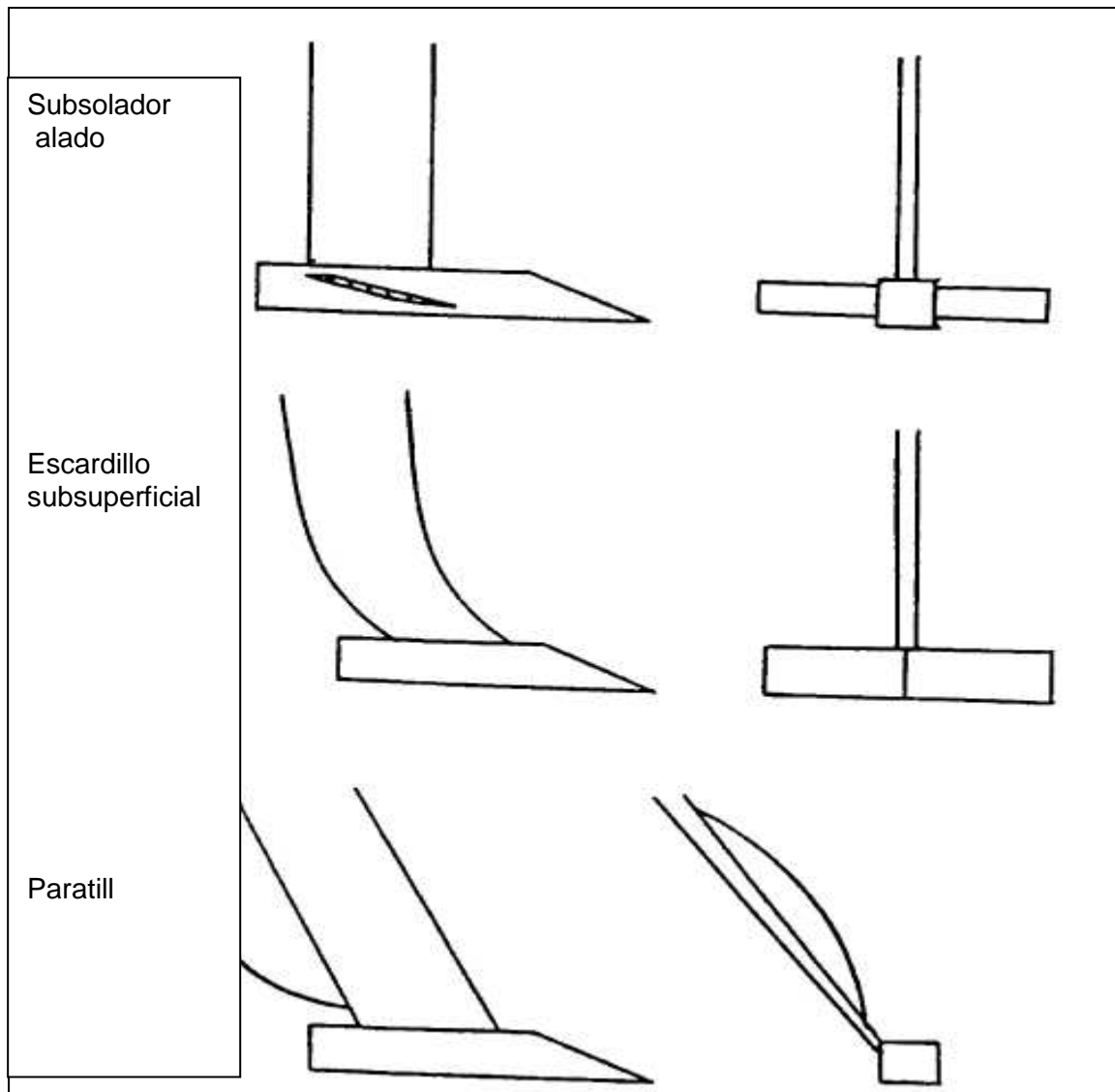


Figura 48. Esquema de los distintos tipos de descompactadores aptos para fisurar sin aflojar (Adaptado de Spoor et al., 2003)

Los subsoladores alados, con sus distintas variables de diseño y operativas, fueron descritos anteriormente, al igual que las distintas alternativas y características de los descompactadores de montantes angulados. En cambio, los escardillos o cultivadores subsuperficiales no fueron siquiera mencionados hasta el presente. En la República Argentina, este tipo de aperos de labranza jamás fue utilizado a nivel subsuperficial. Los mismos podrían asimilarse a los cultivadores del tipo de escardillos grandes, con reducido ángulo de ataque. También resultan semejantes a los aperos denominados “Pié de Pato”, difundidos en la región semiárida, para el trabajo a nivel superficial, produciendo el control de malezas, junto a una mínima remoción del suelo. El tamaño de las rejas, para esos implementos era de 0,60 a 0,90 m de ancho para cada órgano activo, a diferencia de los usados internacionalmente para descompactación subsuperficial, que rondan 0,4 a 0,6 m de ancho de labor por reja

El grado de fisuramiento del suelo y el tamaño de las fisuras producidas durante la operación sobre el terreno depende no sólo de la altura de elevación del subsolador alado o de la aleta, sino también de la profundidad de trabajo y de las condiciones de humedad del suelo. Para un determinada altura de elevación producida por las alas del subsolador, cuanto mayor sea la profundidad de trabajo del descompactador, menor será la perturbación

del suelo, menor la cantidad de las fisuras creadas y más limitadas en su extensión. Del mismo modo, con la aplicación de una determinada altura de elevación a una profundidad de trabajo constante, cuanto más cerca se encuentre la condición de humedad del suelo de la que se corresponde con el estado plástico del mismo, menor cantidad de fisuras se generarán con la labor. Si estas condiciones ocurren en un suelo con una alta cohesión interna, es probable que no se produzcan fisuras, en particular cuando la profundidad de trabajo es alta. El grado de fisuras que se producen, por lo tanto, dependen en gran medida de las decisiones que toma el operario de máquinas agrícolas. Ajustes a la altura de elevación del ala o de la aleta y / o de la profundidad de trabajo del subsolador, a lo largo de una amplia gama de condiciones de humedad, puede permitir que la perturbación del suelo deseada sea realmente alcanzada

La uniformidad de las fisuras en el terreno depende del espaciamiento de los órganos activos, y este debe ajustarse para garantizar que la masa del suelo en el área problema se levante. Un espaciamiento entre órganos activos entre 1,5 y 2,0 veces la profundidad de trabajo, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo, suelen ser necesarios para lograr este objetivo; Estos espaciamientos también deberán dejar la superficie del suelo nivelada. La profundidad de trabajo, según estos investigadores, idealmente debe ubicarse justo por debajo de la zona problema, solamente algo más profundo puesto que es lo que se requiere para producir el tipo de perturbación del suelo buscada. Indican además, que idealmente, la operación de "fisuramiento" debe llevarse a cabo lo más tarde posible en cualquier secuencia de las operaciones sobre el terreno, de preferencia justo antes, si no después de la siembra, lo que reduce el riesgo de volver al estado de compactación anterior por el pasaje posterior de las ruedas de los vehículos que transitan el suelo después del descompactado. Cuanto más largo es el período de tiempo disponible para tratar que el perfil del suelo logre estabilizarse, antes de ser sometido a más carga, mayor es la posibilidad de recuperar la resistencia del suelo y más permanente y la mejora es probable que sea más exitosa se. También es importante que después se realice la siembra de cultivos con un vigoroso y profundo sistema de enraizamiento, como por ejemplo, el de los cereales, para completar el proceso de estabilización.

Sin lugar a dudas, la propuesta resulta, como tal, original y diferente a lo que habitualmente se asocia a las labores de descompactación, roturación intensa de la capa compactada y un gran aflojamiento del suelo. La recomendación básica que surge del análisis de la problemática es que cuanto más tarde sea necesario realizar una descompactación mejor será; por ello, resulta fundamental evitar lo más posible que la compactación efectivamente se produzca. Un concepto adicional, es que la presencia del piso de labor o de una capa compactada, solamente debe ser removida cuando la misma limita el crecimiento radical, el drenaje o la aireación. Asociado a esto, serán las plantas y sus raíces, el mejor y más sencillo indicador para establecer cuándo es necesario realizar una intervención mecánica en el suelo. La misma, no debe tratar de realizar todo el trabajo, sino el mínimo que brinde una nueva posibilidad para que sean los factores biológicos los que establezcan el sistema y le den continuidad en el tiempo.

### **La labor profunda y sus efectos**

Si hay alguna característica que puede destacarse de los trabajos que han intentado comprender los distintos efectos de la descompactación mecánica del suelo es la variabilidad, principalmente en los aspectos vinculados al rendimiento en grano de los cultivos. No ocurre lo mismo en lo referente a las propiedades físicas, donde mayoritariamente es notable una mejora en la mayoría de las mismas, aunque su duración en el tiempo suscita algunas divergencias. También es cierto, que la mayoría de los trabajos han subestimado los aspectos inherentes al diseño de la propia máquina y a los aspectos operativos de la misma, que pueden tener efectos relevantes en las consecuencias del trabajo sobre el suelo y el cultivo. Tal vez, los mismos no son tenidos en cuenta dentro del

sistema bajo estudio, por entender que existen factores de mayor jerarquía. Si bien esto es cierto, muchas veces los efectos no pueden ser entendidos, si no se conocen las particularidades de diseño del descompactador, como por ejemplo el ancho de la reja, el ángulo de las rejas, el ancho de las alas, el ángulo de las alas, la altura de elevación, la velocidad real de avance, la distancia entre órganos activos. Peor aún, no es común que se hagan calicatas para determinar si se superó la profundidad crítica y si se alcanzó un fracturamiento adecuado en profundidad, entre los órganos activos. Dentro de este marco, es que se transcriben y analizan distintos aportes efectuados sobre las consecuencias del laboreo profundo

**Cisneros et al., (1998 (b))** evaluaron el efecto de aflojamiento del suelo con un subsolador alado “reja cero”, sobre el grado de homogenización física del perfil, comparándolo con una situación bajo siembra directa. El diseño utilizado (Fig. 49), es una clara demostración de la aplicación de los aspectos conceptuales del diseño de rejas aladas a la solución del problema de degradación física del suelo, tratando de ser eficaces y eficientes. Para ello, utilizaron un bastidor de arado de reja y vertedera en desuso, al cual le adaptaron rejas del tipo “pata de ganso” (escardillo chico). Encontraron que luego de cuatro años de laboreo con este dispositivo, se había logrado una significativa homogenización física tanto en sentido vertical como horizontal de los primeros 30 cm del perfil, con disminución en la resistencia a la penetración y en la densidad aparente de esta capa. **Bricchi et al., (1996)**, observaron que luego de una labor de subsolado con “reja cero” en un suelo Haplustol típico, la disposición de los terrones era fragmentaria, pudiéndolos individualizar claramente.





Figura 49. Vista lateral y frontal del apero Reja Cero

**Ferreras et al.,(1998)** trabajando en un Argiudol típico, bajo un sistema de siembra directa y labranza vertical observó que en el primer caso, un 62 % de la superficie del perfil presentaba estado compacto y, de este sector, un 40% no presentaba porosidad visible. Por el contrario, el perfil bajo labranza vertical presentaba un 58,8% de suelo no compactado, con predominio de tierra fina en superficie. En profundidad, solo un 27,8% no presentaba porosidad interna. Estos resultados se tradujeron en diferencias en el rendimiento del cultivo, a favor de la labranza vertical.

**Clark, et al. (1993)**, evaluaron el efecto del paraplow (MR) y encontraron que a medida que la frecuencia de pasaje de esta herramienta disminuía, aumentaba la resistencia del suelo, disminuía la tasa de infiltración y el efecto de la labor se hacía más superficial. Además, sostuvieron que, a pesar de que en el rendimiento de cultivos influye una diversidad de factores, con los efectos positivos que produce un aflojamiento anual, esta herramienta estaría minimizando los problemas para el crecimiento de cultivos generados por la compactación del suelo.

**Sojka et al., (1993); Carter et al., (1996) y Pikul y Aase (1999)**, observaron incrementos en la velocidad de infiltración del agua como y consecuentemente disminuciones en la erosión producida por el escurrimiento, debido a la labor de subsolado. Los autores atribuyeron el incremento en la velocidad de entrada del agua al suelo, a que la labor de subsolado genera continuidad del espacio poroso producido por ella.

**Erbach et al., (1992)** compararon el efecto de varias herramientas de labranza vertical con tratamientos no laboreados y con aquellos que recibieron arado de reja y vertedera, sobre la cobertura superficial y encontraron que el paraplow (MR) produjo un adecuado aflojamiento del suelo, preservando en promedio un 67% de cobertura superficial, diferenciándose sólo en un 15% o menos con el tratamiento bajo no labranza. El arado de cinceles mantuvo en promedio un 36% de cobertura superficial, mientras que el arado de reja y vertedera produjo una inadecuada cobertura superficial del suelo. En esta variable interviene también el tipo de reja utilizado en la labranza. Las rejas aladas y las tipo pie de pato de corona baja, dejan mayor porcentaje de cobertura superficial que las rejas tipo cincel convencionales y éstas más que aquellas de extremos retorcidos y las helicoidales (**SCS-USDA, 1992; Johnson, 1988**).

En relación con el crecimiento del sistema radical, **Harrison et al., (1994)** observaron que el efecto del subsolado condujo a un significativo aumento en la conductividad hidráulica de la capa compactada, en la longitud de raíces y en el porcentaje total de raíces presentes por debajo de los 30 cm, lo que finalmente se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo, comparado con una situación no subsolada.

En una experiencia de 7 ciclos de cultivo, llevada a cabo en un suelo franco arenoso compactado, **Orellana et al. (1990)** demostraron que la labranza profunda redujo la resistencia del suelo, estimuló el enraizamiento profundo y promovió un crecimiento radical rápido. **Sojka et al., (1997)**, evaluaron diferentes labores de subsolado y encontraron que si se consideraba una profundidad de 0,50 m, el 60% de los valores de índice de cono eran inferiores a 1,5 MPa, mientras que en las parcelas no subsoladas, esta proporción sólo era de un 30%. **Gill et al., (1996)**, observaron incrementos en la profundidad y densidad de raíces, debido al efecto de la labranza profunda comparada con la labranza convencional y **Vepraskas y Miner (1986) y Orellana et al., (1990)** encontraron que el número de raíces, creciendo por debajo de la capa originalmente densificada, se había incrementado en las parcelas subsoladas a diferencia de lo ocurrido en aquellas no subsoladas.

### **Persistencia del aflojamiento producido por la labranza profunda**

La duración de los efectos de las labores de descompactación adquiere relevancia en relación con la energía requerida para la misma, los costos que conlleva y los menores o mayores beneficios generados, desde el punto de vista de las propiedades físicas del suelo como así también de los efectos sobre el rendimiento de los cultivos. Además, la persistencia de las condiciones de baja resistencia a la penetración, debidas a la labranza profunda, es relevante al momento de definir la frecuencia de este tipo de operación (Barber, 1994). Sojka et al., (1990) sostienen que los beneficios de aflojamiento del perfil mediante el subsolado dependen de la profundidad y magnitud de la disrupción y de la persistencia de la misma a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo.

En este contexto, Raper (2005) menciona que el escarificado a profundidades excesivas, además de implicar un incremento en la energía necesaria para su realización, puede promover futuros problemas y a mayores profundidades, como consecuencia del tráfico posterior a la labranza.

En relación a la persistencia del efecto de aflojamiento, existen resultados diversos en las experiencias citadas en la bibliografía. La persistencia de adecuadas condiciones físicas del suelo, baja resistencia a la penetración, debidas a la labranza profunda, es relevante al momento de definir la frecuencia de este tipo de operación

**Dexter (1991)**, sostiene que un suelo con inadecuadas condiciones físicas (sin agregación, masivo, duro, anaeróbico), puede ser transformado temporalmente, a través de la labranza, en un suelo con estructura aparentemente cercana a la óptima (cama de siembra con agregados entre 1-5 mm de diámetro, sobre un subsuelo flojo y bien drenado). Sin embargo, esta estructura está lejos de encontrarse en equilibrio, siendo inestable mecánicamente, con posibilidades de colapsar cuando se humedece, pudiendo quedar físicamente tan mal o a veces peor que antes del laboreo.

**Busscher et al. (1986)**, observaron que un suelo franco arenoso, débilmente estructurado, la resistencia postlabor se había incrementado de 1,5 a 2,5 MPa en un año, punto a partir del cual el estado mecánico del suelo fue restrictivo para las raíces y toda traza del subsolado previo, había desaparecido dentro de los dos años posteriores a la labranza. Sojka et al. (1990), trabajando en un suelo similar al anterior (Paleudult franco arenoso) encontró que la reconsolidación ocurrió dentro de un período de 27 días después del subsolado, produciéndose después de una lluvia, y todos los signos del subsolado habían desaparecido al final de la estación del cultivo.

**Unger (1993)** encontró que el aflojamiento del suelo, a través del cincelado, era de corta duración, debido a las subsecuentes labranzas que provocaron la reconsolidación del suelo. Este mismo autor, evaluó la duración del efecto del aflojamiento con paraplow (MR), utilizando las variaciones en la resistencia a la penetración y en la densidad aparente como indicadores de la reconsolidación del suelo y encontró que no existía una tendencia clara de como el suelo volvía a su condición original, atribuyéndolo a variaciones en el contenido de humedad del suelo al momento de realizar el subsolado y en las operaciones de labranza secundaria.

**Carter, (1988 (a))** comparó la persistencia del aflojamiento del suelo con arado de rejas, paraplow y siembra directa. Encontró que al cabo de 5 meses después de la labor, la profundidad de suelo aflojado con arado de rejas había declinado en un 30% y en el caso del suelo laboreado con paraplow en un 60%. Observó, además, que en el transcurso de la estación de crecimiento del cultivo, en todos los tratamientos, se produjo un incremento gradual de la resistencia a la penetración. Esto, probablemente se debió a la reconsolidación producida por las operaciones de manejo de postsiembra y a las uniones entre partículas y agregados del suelo, debido a los procesos de humedecimiento y secado (**Koolen y Kuipers, 1983**).

**Vepraskas et al., (1995)** encontraron que el efecto residual del subsolado sobre el crecimiento de raíces, se mantenía alrededor de los dos años posteriores a la labranza, para desaparecer al tercer año por efecto de la recompactación. Estos autores sostienen, además, que el beneficio máximo de la labranza profunda, sobre los rendimientos, ocurrió cuando la misma se realizó anualmente, coincidiendo con lo postulado por **Busscher et al., (1986)** quienes plantean que el efecto del subsolado se manifiesta en las etapas tempranas del crecimiento de las raíces de cultivos, ya que posteriormente se produce la recompactación de las capas aflojadas.

Por otro lado, **Karlen et al. (1991)** sugirieron que dos o tres años de subsolado, generarían una fragmentación estable de la capa laboreada, lo que podría proveer, a largo plazo, efectos benéficos para el crecimiento de cultivos, sin necesidad de subsolar anualmente.

**Carter et al. (1996)** estudiaron la persistencia de la labor de aflojamiento bajo condiciones de mínimo tráfico vehicular. Encontraron que la recompactación, de las capas aflojadas, ocurrió dentro de los tres años posteriores a la labranza, iniciándose durante el primer año después de la misma. Estos mismos autores sostienen además que los cambios periódicos que ocurren en la geometría porosa como resultado de ciclos de humedecimiento - secado, congelamiento - deshielo, podrían favorecer el proceso de reconsolidación.

**Barber (1994)** en un ensayo de 4 años de duración, observó que la reconsolidación, posterior a la labranza, no afectaba el crecimiento de raíces tan severamente como el suelo compactado previo a la labranza. Las diferencias, con respecto a una situación de labranza convencional, se mantuvieron por al menos 3 años posterior a la labranza. Este mismo autor probó diferentes labranzas profundas y en todas ellas observó una reducción de la resistencia del suelo por efecto de la labranza. Sin embargo, en todas ellas se produjo recompactación, alcanzando valores de resistencia a la penetración restrictivos para la raíz, después de los dos años de la labor. El proceso de recompactación se produjo tanto desde abajo hacia arriba, como desde arriba hacia abajo.

**Barber (1994)** explica en parte este comportamiento, sosteniendo que cuando las precipitaciones ingresan al perfil disgregan los terrones débilmente estructurados, promoviendo un reacomodamiento y empaquetamiento cerrado de las partículas, conformando nuevamente una matriz densa. **Sojka et al. (1990)** sostienen que la reconsolidación de la capa laboreada después de una lluvia, es un problema común en suelos Paleodults franco arenosos finos. Otra de las posibles causas de este comportamiento estaría relacionada a la baja capacidad de autoregeneración estructural que presentan los suelos de textura franco limosa, atribuida a la falta de minerales expansibles,

lo que ocasiona un moderado cambio de volumen y por lo tanto una escasa formación de porosidad de aire (microgrietas y fisuras ) a medida que el suelo se seca (**Jayawardane y Greacen, 1987; Dexter, 1988**). **Consentino et al. (1998)** evaluaron las curvas de expansión-contracción, de suelos con 30% de arcillas illíticas de la Pampa Ondulada, y encontraron que las mismas tenían un comportamiento muy rígido. Tendencias similares fueron halladas por **Taboada et al. (1996)**, aunque (**Barbosa et al. 1999**) , concluyen que los suelos franco limosos no son totalmente rígidos y que la baja capacidad de regeneración de poros no se relaciona con la falta de arcilla expansible.

**Barbosa et al. (1997)** estudiaron el efecto del régimen de humedad sobre la regeneración de la estructura y encontraron que los pequeños macroagregados, microagregados y partículas inicialmente presentes, al ser puestos a humedad constante, tendieron a unirse naturalmente entre si, dando así lugar a un aumento en el DPM de agregados. La probabilidad de contacto entre partículas aumenta con la presión ejercida por el mismo suelo, lo cual podría explicar los aumentos de DPM observados en las capas subsuperficiales. Cuando se produjeron ciclos de humedecimiento-secado, con vegetación presente, el DPM de los agregados fue mayor que a humedad constante, debido probablemente a que la extracción de humedad por las raíces generó un desecamiento más pronunciado del suelo, favoreciendo el endurecimiento debido a la cementación que sufren las partículas por óxidos de Fe , Al y Si.

La velocidad de secado del suelo, según Gerard et al.(1962), es otro factor que influiría en el grado de empaquetamiento generado posteriormente a la labranza. Cuando el secado es lento, el empaquetamiento es más compacto, con ligaduras físico-químicas más fuertes entre partículas que cuando el mismo se produce rápidamente. El secado lento genera una mejor distribución y orientación de las partículas, especialmente de arcilla y limo, mientras que en el desecamiento rápido, se produce una acción disruptiva de la estructura, al perderse las moléculas de agua, generando de este modo un mayor espacio de poros que en el secado lento. Estos autores sostienen, además, que la velocidad de reordenamiento de las partículas es relativamente rápida, por lo que los efectos benéficos del subsolado tendrían poca duración.

Cholaky (2003) analiza los efectos del trabajo con descompactadores de diseño alado sobre dos condiciones de compactación, baja y alta que se corresponden con terrenos previamente subsolados y no subsolados respectivamente. La situación de: baja compactación (BC), presentaba un efecto acumulado de cinco años de aflojamiento con subsolador alado "reja cero", en donde se observaban sectores en los que perduraba el efecto de las labores previas asociados a otros en los que se había producido recompactación; es decir que la capa a descompactar con la labranza se presentaba discontinua en cuanto al nivel de compactación. La situación de alta compactación (AC), se encontraba bajo siembra directa durante el mismo período, en donde la capa a aflojar se presentaba uniformemente compactada (Foto 2). El ensayo se efectuó 2 años después del último trabajo de descompactación realizado.

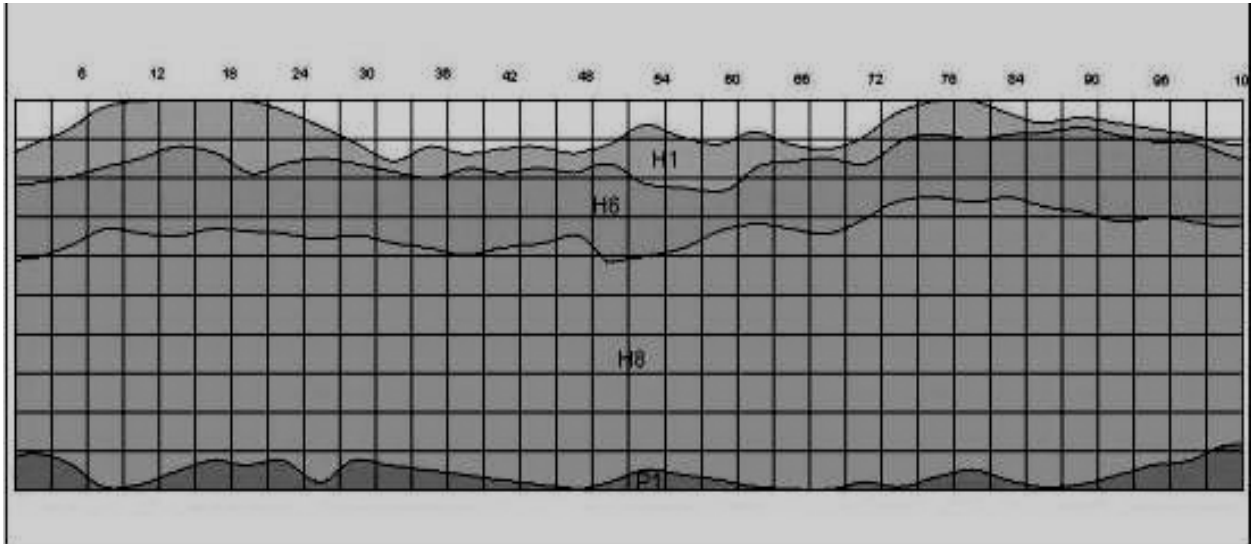




Foto 2: Capa densificada de la situación de Alta Compactación.

Para la descripción y análisis del perfil cultural, utilizó la metodología propuesta por Gautronneau y Manichon, (1987), la cual presenta algunos puntos de contacto con la recomendada por Spoor et al., (2003) para identificar aquellos lotes que requieren tareas de descompactación.

De la observación de la capa del perfil afectada anualmente por las labranzas (0,3 m), denominada según Henin (1960), el "perfil cultural", se evidenció una partición vertical correspondiente a la diferenciación de las capas generadas por los diferentes manejos que han recibido las situaciones de compactación, además de los horizontes pedológicos.



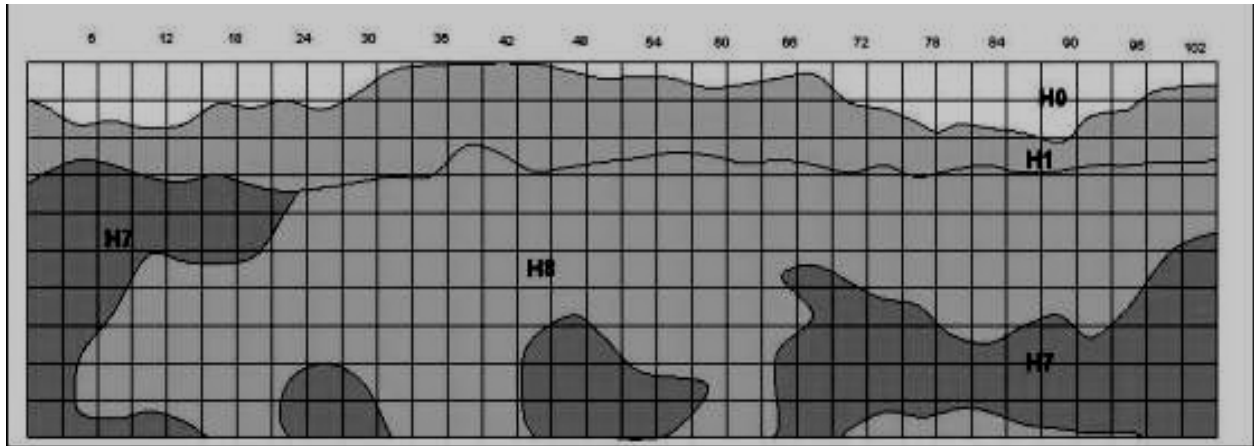


Figura Evaluación de 2 condiciones de suelo, alta y baja compactación de acuerdo con la metodología del Perfil Cultural (Cholaky, 2004)

En el perfil correspondiente a la situación de AC, se diferenciaron 4 capas: H1, H6, H8 y P1 (figura 1), mientras que en BC se distinguieron cinco capas desde la superficie hacia la profundidad del perfil: H1, H6, H7, H8 y P1 (figura 2). H1, correspondió a la capa superficial, caracterizada por un alto grado de pulverización estructural. H6 y H8 correspondieron a capas densificadas, comúnmente denominadas "piso de rastra" y "piso de arado" respectivamente, por corresponder a las profundidades normales de trabajo de dichos implementos. P1 correspondió a la cabeza del horizonte genético Bw1. H7 fue el sector donde aún perduraba el efecto de la labor de descompactación con reja cero realizada durante los cinco años previos a la medición. H8 correspondió como se expresó previamente, a una compactación de origen antrópico, producto de la extensa historia de uso agrícola a la que habían estado sometidos los suelos de la región manisera del centro de Córdoba. En la situación de AC, la capa densificada (H8), se presentó uniformemente compacta desde los 0,12 a 0,30 m de profundidad aproximadamente (figura 1), lo cual indicaría que la misma sería el resultado del tránsito combinado de tractores e implementos. En relación a ello, Mckyes (1985), sostiene que es evidente que no sólo el peso del equipo influye en la densificación generada por su tránsito, sino también el número de pasadas que realiza el mismo, ya que a medida que se incrementa la cantidad de pasajes, aumenta progresivamente la profundidad y el ancho del volumen de suelo compactado. En BC en cambio, (figura 2), el espesor de la capa densificada se presentó desuniforme debido a que en la misma profundidad, H8 apareció entrecortado por sectores de menor cohesión denominados H7, correspondientes al efecto de las labores anteriores con reja cero. Según la autora, resultó evidente que en BC se había producido una recompactación o reconsolidación de los terrones disgregados por la antigua labor con reja cero, indicando que la reconsolidación del pan inducido se produjo desde arriba y desde abajo del perfil cultural. En el primer caso como resultado del tránsito posterior a la labranza, el cual imprime fuerzas sobre un medio poco resistente. En el segundo, por efecto de las lluvias que al ingresar en el perfil van desmorando los terrones inestables y por lo tanto arrastrando partículas hacia la base del perfil, donde vuelven a acomodarse, coincidiendo con lo observado por Barber (1994). Como resumen de lo expuesto, la duración del efecto de descompactación en los suelos en los que se llevó adelante la experiencia, duraron al menos 2 años, pero la evolución del perfil cultural muestra claramente el avance de los procesos de recompactación.

Del trabajo realizado por Cholaky en el año 2002, que incluyó como variables también el estado de humedad al momento de realizar la labor, se desprenden, según la misma, una serie de conclusiones, que reafirman algunos de los conceptos ya analizados y brindan algunos elementos novedosos e interesantes de seguir investigando. Entre ellas se destacan los siguientes aspectos.

Por un lado, la labor con subsolador alado “reja cero”, generó una marcada fragmentación del perfil cultural de ambos niveles de compactación y variantes de humedad evaluadas, definiendo una disposición de los terrones fragmentaria, en la que es posible individualizarlos claramente. Sin embargo, la labor no modificó el estado interno de los terrones, caracterizado por una alta cohesión, con caras de ruptura lisas, sin porosidad visible. Esto implicaría, la necesidad de cuidar en sobremanera la condición física del suelo, para no llegar a estructuras como las mencionadas, de carácter casi irreversible.

El fracturamiento producido en el perfil cultural por la labor con el subsolador alado, fue independiente del nivel de compactación al momento de realizar la labor y en ambas situaciones de compactación, la mayor reducción de la densidad aparente y del diámetro ponderal medio de agregados se produjo en las capas más densas y próximas a la profundidad de trabajo de la reja. Si a ello se agregan los efectos de estratificación de los agregados, es posible entender que se generan condiciones para los procesos de recompactación en profundidad, independientemente del tránsito posterior a la labor.

La condición de humedad al momento de realizar la labor, ejerció una influencia marcada en el cambio producido en la DAP, en el DPM de los agregados y en la RP del perfil cultural. La labor realizada en Suelo Húmedo, produjo el mayor grado de fracturamiento de la capa densificada, evidenciado a través del cambio producido en la DAP, la RP y en la proporción de agregados < 11 mm. Con el mayor contenido de humedad, la labranza produjo una reducción en la DAP con respecto a la condición original pero fue menos intensa que en las restantes condiciones de humedad y se concentró en la proximidad de la reja de la herramienta. A nivel superficial, en cambio, se incrementó la DAP y el DPM de agregados de la capa superficial y disminuyó la porosidad de aireación a valores subóptimos para una adecuada permeabilidad del aire.

La compactación y la humedad al momento de realizar la labor, influyeron sobre la eficiencia energética de la labor. Además, pudo tener influencia la configuración de los órganos activos que definieron la relación separación entre rejas / profundidad de trabajo. La labor en SM fue la labor más eficiente energéticamente en ambas situaciones de compactación. Sin embargo fue la labor que produjo menor cambio en la condición física del perfil e incluso lo empeoró con respecto a la situación de partida, por lo tanto agrónomicamente fue la situación más desfavorable para la labor de subsolado con reja cero. En la condición de Alta Compactación, la labor en SH fue igualmente eficiente que la realizada en SM, sin embargo el grado de fracturamiento del perfil fue superior al de la situación más húmeda, indicando Cholaky por lo tanto que agrónomicamente fue más eficiente.

Esta calificación, al menos hoy, resulta discutible a partir de la propuesta de Spoor et al., (2003). ¿Será el mayor fracturamiento una labor más eficiente o esa eficiencia es lo suficientemente efímera para que la evaluación general en sistemas reales implique una peor condición final en relativamente poco tiempo?

La evaluación efectuada, tuvo en el tiempo una duración limitada, dado que la experiencia fue llevada a cabo en campos productivos y tenía como objetivos evaluar los efectos de la labor y no del tránsito posterior a la misma para las distintas variables analizadas. Tal vez, lo que resultó mejor por el tipo de fracturamiento alcanzado, no hubiese soportado las cargas del tránsito posterior poco tiempo después, dependiendo de qué vehículos fuesen utilizados.

Otro aspecto interesante, es que el efecto de la humedad sobre la eficiencia energética y agronómica de la labor varió en función del estado de compactación inicial. Cuando la situación se presentó homogéneamente compactada, la condición de humedad más favorable resultó la de Suelo Húmedo, donde el suelo se encontraba friable. Cuando la situación de partida provino de anteriores labores con subsoladores alados, tanto la labor en Suelo Húmedo como en Suelo Seco produjeron resultados adecuados desde el punto de vista energético y agronómico.

Por un lado, surge claramente que la resistencia específica no es una variable de síntesis de la "eficiencia global" de la labor, ya que contempla parcialmente a los aspectos que definen el logro del objetivo de labor. La condición física final del perfil cultural, debería considerarse de manera conjunta con la energía insumida para generarla. Por otra parte, identifica también que cada situación de densidad y humedad puede provocar diferentes resultados. No hay una humedad mejor para la labor, ni siquiera para un suelo dado. La mejor humedad será aquella que permite alcanzar los objetivos planteados, que pueden ser diferentes para un agricultor de los de su vecino. La condición de compactación, es decir, la historia previa del lote, tiene una marcada influencia en el resultado final alcanzado. La pregunta, desde el punto de vista de la maquinaria, que surge rápidamente es si el diseño de la máquina permite o no obtener los objetivos planteados para las distintas condiciones de trabajo.

La respuesta, seguramente será poco concreta y recurrirá como primera palabra a "depende". Muchas veces se ha escrito que los escarificadores, en forma general, son implementos versátiles, que permiten adaptarse en mejor medida que otros a diferentes condiciones de labor. Sin embargo, son pocos los operarios que realmente utilizan esa característica y a veces, los diseños ni siquiera ofrecen variables para que se logre una mayor eficiencia en el trabajo. A los efectos de ejemplificar estos aspectos se podría recordar que, en apartados anteriores, se mencionó que el estado final del suelo en el trabajo con subsoladores alados dependía, entre otros factores, también de la profundidad de trabajo. El ángulo de ataque de la reja y de las alas, su ancho y longitud, que determinará para estas últimas la altura de elevación incidirán sobre el tipo de fracturamiento según la humedad y la velocidad de trabajo. Estas variables, al menos, conforman un núcleo básico que debería ser siempre tenido en cuenta, al momento de efectuar la labor. El implemento debe proveer la posibilidad de cambio de rejas y alas, de diferentes ángulos de ataque, de distintas alturas de elevación, en forma independiente cada variable de las otras. El operario debería evaluar el efecto sobre el suelo, cambiar la profundidad, modificar las regulaciones para alcanzar los objetivos, esperar eventualmente a una mejor condición de humedad además de tener que sacar o poner órganos activos según el balance de potencia entre la oferta del tractor y la demanda del equipo. Lamentablemente, muchas veces los órganos activos son únicos, como así también las posibilidades de alistamiento o regulación que se limitan a un solo punto de anclaje al montante y de este al bastidor. Tampoco ayudan frecuentemente las características de los sistemas productivos, basados en el servicio de trabajos por contratistas, que deben realizar la tarea en poco tiempo para muchos productores. Menos aún si no existen instancias formales de capacitación para los mismos. Por ello, muchas veces las máquinas más versátiles terminan siendo solamente las más simples, las menos reguladas, las que llegan al campo, se clavan, se ajusta profundidad según la demanda energética, trabajan, se levantan y se van, sin la evaluación y adecuación correspondiente para alcanzar los objetivos de labor de corto, mediano y largo plazo.

En relación con los efectos de compactación, descompactación y recompactación, Terminiello et. al., (2007) evaluaron los efectos del tránsito de un tractor – sembradora sobre sectores del terreno descompactados y sin descompactar en un sistema de siembra directa de cultivos. El tratamiento mecánico de descompactación perduró durante todo el ciclo del cultivo, con valores estadísticamente significativos y menores de índice de cono, en relación al tratamiento que no recibió laboreo, para todo el horizonte de trabajo del descompactador. El perfil bajo SD presentó un índice de cono un 100%, 92%, 84% y 76% mayor que el tratamiento SDD, en relación con los meses considerados. Además, los valores del parámetro mencionado se mantuvieron por debajo de los citados como limitantes para el crecimiento radical durante todo el ciclo y, solamente, superaron el nivel de 1,5 MPa al final del ciclo del cultivo de soja, en concordancia con la reducción de humedad que varió entre el 18% y el 21% para los distintos estratos de medición. Como puede observarse en la Tabla 1 el tratamiento de descompactación produjo incrementos en el rendimiento del cultivo con diferencias estadísticas significativas. El aumento resultó en promedio del 16,3% a favor del tratamiento con cultivo (SDD) en relación al testigo no descompactado (SD). Señalan

además, que los valores de IC para el estrato en evaluación para que ningún subtratamiento de tránsito produjo reducciones significativas en el rendimiento del cultivo. Ello fue atribuido a los reducidos niveles de carga sobre el eje del tractor y de la máquina utilizados. Ambos vehículos presentaron valores inferiores a los citados por Hakkansson et al., (1987) como causales de compactación a nivel subsuperficial. A su vez, la presión en el área de contacto tampoco alcanzó valores que impliquen riesgos de compactación a nivel superficial (Smith y Dickson, 1990) dada la alta capacidad portante del suelo, característica de los sistemas de siembra directa, en acuerdo con lo indicado por Domínguez Britos et al. (2000). A su vez, un pasaje de vehículos de baja carga sobre el eje, no resultaría suficiente para causar compactación a nivel subsuperficial, tal como fue detallado por Jorajuría y Draghi (1997), quienes concluyeron que 10 era el número de pasadas crítico para que se pudiera emular el efecto de altas cargas en el eje. No obstante ello, para ambos tratamientos se observa un ordenamiento de los valores en función de la masa de los vehículos con menores valores de rendimiento para la huella del tractor en relación al testigo. Esto podría sugerir que, de aumentar el peso de los vehículos utilizados, podrían incrementarse las diferencias en el rendimiento. Para el caso del tratamiento mecánico del suelo y posterior tránsito de siembra, estas diferencias podrían ser mayores debido a la menor capacidad portante que presentaría el sustrato por el pasaje del descompactador. Para el caso del ensayo, esas diferencias fueron de 4,13% para el tratamiento con labranza y del 2,41 % para el tratamiento sin descompactación, en relación al testigo correspondiente. Al respecto Munkholm et al., (2005) reportan mayores rendimientos para trigo en los tratamientos descompactados que recibieron, posteriormente, tránsito con cargas menores a 6 Mg por eje en relación al tratamiento descompactado y transitado con cargas por eje mayores a dicho valor. La ausencia de diferencias producto del tránsito, en el tratamiento descompactado muestra también la eficiencia de la roturación en relación con su persistencia, confirmando lo expresado por Spoor et al. (2003) ya que el efecto de "fisuramiento" del montante angulado curvo no disminuyó la capacidad portante del suelo para los niveles de cargas ejercidas por el paso posterior del tractor y la máquina sembradora.

Terminiello et al., (2007a). Llevaron a cabo ensayos con la finalidad de evaluar la respuesta del suelo conducido en siembra directa luego del tráfico sin y con tratamiento de remoción mediante un escarificador de montantes curvos. La información obtenida en la primera instancia de medición muestra que la resistencia a la penetración para el tratamiento escarificado con un descompactador de montantes curvos angulados lateralmente (culti-vie) resultó menor para todos los rangos de profundidad comparada con el tratamiento sin remoción, con una reducción media del 24%. En concordancia con dichos resultados, la densidad aparente experimentó para el tratamiento escarificado una reducción del 3.5%. Los resultados indicarían que la labor de escarificado persiste cinco meses más tarde, aún luego del tráfico de pulverización subsecuente. En dicha instancia, los tratamientos tuvieron una tendencia similar, salvo a nivel superficial, donde no se registraron prácticamente variaciones en los sectores escarificados. En la última instancia de medición, luego del tráfico volvieron a existir importantes diferencias tanto en resistencia a la penetración como en densidad aparente, prácticamente en la totalidad de los estratos evaluados.

En estos ensayos, curiosamente, si se considera el perfil de suelo por debajo de la profundidad de labor y no obstante la disminución en el contenido de humedad, los estratos correspondientes a 30-40, 40-50 y 50-60 cm muestran una pronunciada y significativa reducción de la resistencia a la penetración para las diferentes instancias de medición en el tratamiento descompactado. Si por lo contrario se focaliza la atención en los estratos superficiales, (0-10 y 10-20 cm) resulta evidente que el suelo escarificado muestra un significativo incremento en la compactación luego del tráfico, evidenciado tanto por la resistencia a la penetración como por la densidad aparente. Entre la primera y última instancia de medición el incremento promedio entre 0 y 20 cm fue, para el suelo sin escarificado, del 7.5% mientras que para el suelo con tratamiento mecánico resultó del 17%.

Una tendencia similar puede observarse en la densidad aparente. Lo expuesto concordaría con lo puntualizado con Schäfer-Landefeld et al., (2004), quienes concluyen que los incrementos en la compactación superficial son mayores en suelos previamente descompactados comparados con suelos sin remoción. Sin embargo, La diferencia más importante es la disminución de la compactación en los estratos por debajo de la profundidad de labor (30 cm), como indican tanto la resistencia a la penetración como la densidad aparente.

Busccher et al. (2002) evaluaron la recompactación en suelos de la llanura costera en el sureste de EE.UU., que requieren la realización de labranza profunda para proporcionar un medio ambiente adecuado para el enraizamiento de cultivos como el maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y soja (*Glycine max* L. Merr.) La descompactación fue llevada a cabo con un subsolador de montante angulado recto (Paratill®) a una profundidad de 0.35-0.40 m. Establecieron que la precipitación acumulada explica 67-91% de la recompactación. El proceso de recompactación fue lento y continuaba 6 años después de la labranza (el final del experimento), probablemente por el estricto control de tráfico que se efectuó en la misma huella, en la medida de lo posible. Según los autores, si bien la recompactación en este estudio fue lenta, tareas de labranza pueden ser necesarias cada año, o estacionalmente, porque el rendimiento puede reducirse incluso por incompleta recompactación que aumenta la resistencia del suelo después de un año o menos, a valores que restringen el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Es posible enumerar una gran cantidad de trabajos más vinculados a la recompactación de suelos, luego de efectuar una descompactación a nivel subsuperficial. En algunos casos, la duración no llegó a un año, en otros dos, tres o cuatro. Por lo general no más allá de ello, cuando se siguió con esquemas de tráfico convencional, de manera aleatoria según las características de las distintas máquinas que intervienen en el ciclo de cultivo y cosecha. En otros casos, la duración puede llegar a ser mayor, si se realiza tráfico controlado. De cualquier forma, las mejoras en la condición física del suelo, no se traduce todos los años que duran las mismas en mejoras en los rendimientos de los cultivos. Las condiciones ambientales, harán que las se potencien o minimicen las diferencias, llegando incluso a veces a tener una peor respuesta los suelos subsolados a los no subsolados. Por ello, tal como se dijo en un principio la descompactación no debe ser nunca la primera alternativa, sino la intervención justa cuando el sistema realmente la necesita.

## Consideraciones Finales

Sin lugar a dudas, existen aún en el trabajo con implementos de labranza vertical, escarificadores, cinceles, descompactadores subsuperficiales, una gran cantidad de dudas, respuestas variables, aspectos complejos e interdependientes que dificultan en algunas ocasiones la comprensión de las cuestiones más elementales de la relación suelo – máquina y las consecuencias posteriores a la labor. En lo referente a los procesos de descompactación de suelos, seguramente lo más claro que los investigadores tienen hasta el momento es que no compactar el suelo es la mejor medida para no tener que intervenir en el sistema. También es posible afirmar, que solamente se tendrán adecuadas posibilidades de éxito en los procesos de descompactación, cuando se atienda a minimizar el tráfico de vehículos en los lotes de producción, tratando de respetar lugares recirculación lo más acotados posibles.

Rodolfo Gil, en un Congreso realizado en la Argentina por parte de una asociación de productores, cuyo lema era “Darse cuenta”, durante su conferencia se refirió al mismo diciendo “volviendo al darse cuenta, lo importante es trabajar sobre la causa de los problemas y no sobre las consecuencias”. Algo similar implica el término “preocuparse”: De los problemas hay que ocuparse con anterioridad a que se transformen en algo imposible de solucionar o de muy difícil solución. Relacionando estas reflexiones con la compactación y descompactación de suelos, ocuparse de los problemas es ocuparse de la compactación y establecer todas las acciones para no compactar el suelo. Ocuparse de la descompactación es ocuparse de las consecuencias, es decir no haberse preocupado en tiempo y forma de la solución de posibles problemas.

Las dudas, las inconsistencias planteadas a lo largo de todo el libro, serán seguramente nuevas hipótesis de trabajo, que servirán para tratar de dar respuesta a las incógnitas que plantea en los inicios del siglo XXI, la más simple y antigua de las máquinas de labranza.

## Bibliografía

- Busscher W.J. , P.J. Bauer, J.R. Frederick . Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall Soil & Tillage Research 68 (2002) 49–57
- Domínguez Britos, J.; Ressia, J.M.; Jorajuría, D.; Balbuena, R.; Mendivil, G. 2000. Reología del suelo bajo tres diferentes tratamientos mecánicos. Avances en Ingeniería Agrícola. II Congreso Americano de Ingeniería Agrícola, p. 110-115.
- Terminiello, A.; J.Hilbert; J. Claverie; T. Palancar; L. Draghi\*; R. Balbuena; D. Jorajuría  
Persistencia del efecto del escarificado en un suelo Argiudol Típico bajo siembra directa. CADIR 2007, Córdoba, Argentina
- Schafer-Landefeld, L.; Brandhuber, R.; Fenner, S.; Koch, H.J.; Stockfisch, N. 2004. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. Soil & Tillage Research 75: 75–86
- Hakansson, I.; Voorhess, W.; Elonen, P.; Raghavan, G.S.V.; Lowery, B.; Van Wijk, A.L.M.; Rasmussen, K & Riley, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. Soil and Tillage Research, v10, p. 259-268.
- Jorajuría, D.; L. M. Draghi. 1997. The Distribution of Soil Compaction with Depth and the Response of a Perennial Forage Crop. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 66, p. 261-265.
- Munkholm, L. J.; Per Schjonning, A.; Jorgensen M.; Thorup-Kristensen, K. 2005. Mitigation of subsoil recompaction by light traffic and on-land ploughing II. Root and yield response. Soil and Tillage Research, v. 80, p.159–170.

- Alberta Farm Machinery Research Centre PAMI. (1991) Evaluation report 641 Tye Paratill model 118-610.
- Ayala C.D., P.A. Di prinzio & J.C. Magdalena. 1996. Estudio comparativo de cinceles rígidos y flexibles en un suelo Acuicambids fluventic. Memorias del IV<sup>o</sup> Congreso Argentino y II<sup>o</sup> Internacional de Ingeniería Rural, Vol.1, 93-99.
- Balbuena R.H., G. Mendivil & M. Ressia. 1996 (a). Energía requerida en distintos sistemas de labranza vertical. Revista Agro-Ciencia. Número extraordinario resúmenes del Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile, 24 al 26 de noviembre de 1994, 23.
- Balbuena R.H., J. Claverie, A. Terminiello, P. Mac Donagh & R. Bartosik. 1996. Efecto de la ubicación de cuchillas circulares sobre la prestación de escarificadores de arcos rígidos. Memorias del IV Congreso Argentino de Ingeniería Rural, Neuquén Argentina. 1: 173-178.
- Balbuena R.H., J.A. Claverie & A.M. Terminiello. 1992 (a). Evaluación a campo de rejas de escarificador de cinceles. Anais do XXI<sup>er</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Vol.3, 1707-1717.
- Balbuena, R.H.; Terminiello A.M. 1993. Determinación en campo del comportamiento dinámico de un conjunto tractor-escarificador. Anales I Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Santiago de Chile
- Benez S.H., S.J. Bicudo & K. Pereira Lanças. 1991. Subsolador: Influencia do número de hastes, larguras da sapata e profundidade de trabalho em alguns parâmetros relacionados a mobilização do solo. Anais do XX<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Vol.2, 925-940.
- Casão Junior, R. & C.S. Chang. 1993. Estudo dos esforços tridimensionais em hastes de paraplow em caixa de solo. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Ilhéus, Brasil. 3: 1878-1893.
- Chisolm T.S., J.G. Porterfield & D.G. Batchelder. 1970. A soil bin study of three dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. ASAE paper N70-122.
- Claverie J.A. 1997. Prestación en campo de arcos de escarificador rígidos y flexibles. Tesis de Maestría. Biblioteca parcial del Curso de Post grado en Ingeniería Rural. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP (Inédito).
- Claverie, J.A., Balbuena, R.H., Terminiello, A.M., Mac Donagh, P.M. & 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. 171-177.
- Dexter A.R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. Soil and Tillage Research, 20: 87- 100.
- Fielke J.M. & D.A. O'Driscoll. 1986. Comparison testing to evaluate coulter wheel performance. In Conference on Agricultural Engineering. Adelaide. Australia. 1: 52-56.
- Godwin R.J. & G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tines. J. Agric. Engng. Res., 22, 3, 213-228.
- 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.
- Hamza M.A. & W.K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research. En prensa.



- Hilbert, J. & M.O. Tesouro. 2000. Demanda energética e impacto sobre el suelo de subsoladores de arco curvo Cultivie. 2000. VI Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II Congreso Americano de Educación en Ingeniería Rural. 18 al 20 de octubre de 2000. Edición especial en CD-Rom. Maq. 1-19
- Kepner, R.A.; Bainer, R.; Barger, L.E. (1982). Principles of Farm Machinery. Third Edition The Avi Publishing Company. Inc. Westport Connecticut. 180-182
- Mallett, J. B. & P. M. Lang. 1987. The use of a slant leg plough to relieve compaction in directly drilled maize. Applied Plant Science. 1(1):49-51.
- Maroni J. 1990. Actas del Ier Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Universidad Argentina de la Empresa. Buenos Aires, 6 al 9 de agosto de 1990.
- Mc Kyes E. 1985. In: Soil cutting and tillage. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, p. 97.
- Mouazen A.M. & M. Neményi. 1999. Tillage tool design by the finite element method: part 1. Finite element modelling of soil plastic behaviour. J. Agric. Engng. Res., 72, 37-51.
- ORTIZ. CANAVATE, J., M. Ruiz y J.L. HERNANZ, 1987. Las máquinas agrícolas y su aplicación. (3 ed.) Ed. Mundi-Prensa. Madrid. PP. 19-70.
- 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.
- Riley T.W. & J.M. Fielke. 1990. Evaluation of coulter wheels. In Asia-Pacific Regional Conference on Engineering for the development of agriculture. Nordin Inrahim Editors. 1: 33-42.
- Soomro M.S., G. Spoor & R.J. Godwin. 1982. Appropriate tine arrangement for better tillage and efficient tool performance. Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America. Autumn 1982, 21-26.
- Spoor G. & R.J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Engng. Res., 23, 243-258.
- Spoor G. & R.K. Fry. 1983. Soil disturbance generated by deep-working low rake angle narrow tines. J. Agric. Engng. Res., 28, 217-234.
- Srivastava A.J., C.E. Goering & R.P. Rohrbach. 1994. Engineering Principles of Agricultural Machines. American Society of Agricultural Engineers p.151.
- Terminiello A., R. Balbuena, J. Claverie & P. Mac Donagh. 1997. Efecto de la adición de cuchillas circulares sobre escarificadores de cinceles. Vol 13 (3) 331-335.
- Willat S.T. & A.H. Willis. 1965. A study formed by the passage of tines through soil. J. Agric. Engng. Res., 10, 1, 1-4.
- Zhang, N.Q.; Chancellor, W. (1989) .Automatic ballast position control for tractors. Transactions of the ASAE. 32: 4, 1159-1168.
- Zoz, F.M. 1972. Predicting Tractor Field Performance Transactions of the ASAE 249-255 St Joseph, Michigan 49085.
- Spoor, G., F.G.J. Tjink & P. Weisskopf. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation Soil & Tillage Research 73 (2003) 175–182
- CARTER, M. 1988. Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening tillage studies. Can J Soil Sci 68: 657-668.
- COLLIS-GEORGE N., P. YOGANATHAN. 1985. The effect of soil strength on germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.) II. High shear strength conditions. Aust J Soil Res 23: 589-601.

- DADDOW R.L., G.E. WARRINGTON. 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. USDA - F5, Watershed systems development group REP. WSD6-TN-00005, USDA - FS, Fort Collins, CO.
- DANFORS, B. 1994. Changes in subsoil porosity caused by heavy vehicles. *Soil Till Res* 29: 135-144.
- HADAS, A., E. STIBBE. 1977. Soil crusting and emergence of wheat seedlings. *Agron J* 69: 547-550.
- NASR, H.M., F. SELES. 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil Till Res* 34: 61-76.
- THREADGILL, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Trans ASAE* 25: 859-863, 867.
- VEHIMEYER, F.J., A. H. HENDRIKSON. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Sci* 65: 487-493.
- Adam, K. M. , and D. C., Erbach 1992. Secondary tillage tool effect on soil aggregation. *Trans. of the ASAE Vol. 35. (6): 1771-1776*
- Ahmed M. H. and R. J. Godwin 1983. The influence of wing position on subsoiler penetration and soil disturbance. *J. Agric. Engng. Research*, 28: 489-492.
- Armbrust, D.V., Dickerson, J.D., Skidmore, E.L. and O.G. Russ 1982. Dry soil aggregation as influenced by crop and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 390-393
- Arshad, M. A., A.J. Franzluebbers and R. H. Azooz. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil and Tillage Research* 53: 41-47.
- Ayers P.D. 1987. Moisture and density effects on soil shear strength parameters for coarse grained soils. *Transactions of the ASAE*, vol. 30 (5): 1282-1287.
- Barber ,R.G. and O. Diaz 1992. Effects of deep tillage and fertilization on soya yields in a compacted Ustochrept during seven cropping seasons, Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage research* 22: 371-381.
- Barber, R. G. 1994. Persistence of loosened Horizons and Soybean Yield Increases in Bolivia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:943-950.
- Barbosa A., Taboada M.A., y D.J. Cosentino 1999. Contracción al secado de agregados en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17 (1): 1-7.
- Barbosa O.A., Taboada M.A., Rodriguez M.B. y D. J. Cosentino 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada (Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 81-86.
- Bauder, J.W., Randall, G.W. y J.B. Swann 1981. Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 802-806.
- Baver L. D., W. H. Gardner y W. R Gardner 1972. Física de suelos. UTEHA-México. 529 págs.
- Braunack, M. V. And A. R. Dexter 1988. The effect of aggregate size in the seedbed on surface crusting and growth and yield of wheat (*triticum aestivum* L. Cv. Halberd) under dryland conditions. *Soil and tillage Research*, 11: 133-145.

- Braunak, M. V. and J. E., McPhee 1991. The effect of initial soil water content and tillage implement on seedbed formation. *Soil and Till. Res.* Vol. 20: 5-17
- Bricchi E., Bonadeo, E, Cisneros, J. Marcos, J. Reboyras, V y W. Hulsken. 1996. Efecto de las labranzas sobre el perfil cultural y la distribución de raíces de maní, en un Haplustol típico de Córdoba. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa-La Pampa-Argentina. Págs.197-198.
- Busscher W. J., Karlen, D.L., Sojka, R.E. and K. P. Burnham 1988. Soil and plant response to three subsoiling implements. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 52: 804-809.
- Busscher, W.J., R. E. Sojka and C. W. Doty.1986. Residual effects of tillage on Coastal Plain soil strength. *Soil Sci.* 141: 144-148.
- Carter, M. R.1988 (a). Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. *Can. J. of Soil Sc.* Vol. 68 (4): 657-668.
- Carter, M. R.1988 (b). Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. *Soil Till. Res.* 12: 37-51
- Carter, M.R. 1988 (c). Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. *Canadian Journal of soil Science*, vol. 68 (4):657-668
- Carter, M.R. 1992. Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research*, 23: 361-372.
- Carter, M.R., Holmstrom D.A., Cochrane, L. M., Brenton, P.C., Roestel, J. A. van, Langille, D.R. y W.G., Thomas 1996. Persistence of deep loosening of naturally compacted subsoils in Novo Scotia. *Can. J. Soil Sci.* 76:541-547.
- Cerana L. A. y Nicollier V. S. 1969. Las capas densas o duras y el crecimiento de los órganos de las plantas. INTA Pergamino-Argentina. 25 paginas.
- Cisneros, J. M., Cholaky, C. , Giayetto, O., Bricchi, E. Marcos, J. y Cerioni, G., 1998 (a). Homogeneidad física, resistencia a la penetración y humedad del suelo en sistemas de labranza para el área manisera de Córdoba. Pp. 120-127. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps.
- Cisneros, J.M., Cantero, G.A., Marcos, J., Degioanni, A., Bricchi, E., Giayetto, O., Cholaky, C., Bonadeo, E., Cerioni, G. Y M. Uberto 1998 (b). Comportamiento de un subsolador alado adaptable a implementos de uso común. Págs. 128-134. En: Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el ámbito de Latinoamérica. Balbuena R., Benez, S.H. y D. Jorajuría (Eds.) Editorial de la Universidad de La Plata, Argentina. 612 pps.
- Clark, R. L., Radcliffe, D. E., Langdale, G. W. and R. R. Bruce 1993. Soil strength and water infiltration as affected by paratillage frequency. *American Soc. of Agric. Engineers*, Vol.36 (5): 1301-1305.
- Consentino D. J., Pecorari C., Arrigo N. Y A. Costantini 1998. Impacto de la presencia de fitolitos sobre el comportamiento del esqueleto mineralógico de los suelos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz, Argentina: 21-22.
- Cresswell, H.P., Painter, D.J. y K.C. Cameron 1991. Tillage and water content effects on surface soil physical properties. *Soil and Tillage Res.* 21: 67-83.
- Da Silva, A. P. , B.D. Kay y E. Perfect. 1994. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1775-1781.
- Davis B., Eagle, D. and B. Finney 1982. Manejo del suelo. El Ateneo, 228 págs.

- Deibert E. J. 1981. Soil aggregation under no-till as compared to conventional tillage systems. Presentado en Third Manitoba-North Dakota Zero-till Workshop. Agricultural Extension Centre, Brandon, Manitoba.
- Dexter A. R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil and tillage Research*, 20: 87-100.
- Dexter, A. R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Res.* 11: 199-235.
- Elijah, D. L. And J. A. Weber. 1971. Soil failure and pressure patterns for flat cuttings blades. *Transactions of the ASAE*, pp. 581-785.
- Erbach, D.C. 1982. Tillage for continuous corn-soybean rotation. *Transactions of the ASAE* 25 (4):906-918.
- Erbach, D.C., Benjamin, J.G., Cruse, R.M., Elamin, M.A., Mukhtar, S. y C.-H. Choi 1992. Soil and corn response to tillage with paraplow. *Transactions of the ASAE*, vol.35(5): 1347-1354.
- Ferreras, L.A., De Battista, J.J; Ausilio A. Y C. Pecorari. 1988. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz- Córdoba- Argentina. Pags. 23-24.
- Foster, G.R., Johnson, C.B. y W.C. Moldenhauer 1982. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. *Transactions of the ASAE* 25(4):940-947.
- Gerard C. J., Cowley y col. 1962. Soil hardpan formation as affected by rate of soil moisture loss, cyclic wetting and drying and surface applied forces. *Soil Sci. So. Amer. Proceed.* 26: 601-605.
- Gill, K.S. Gajri, P.R., Chaudhary, M.R. y B. Singh 1996. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. *Soil and Tillage Research*, vol.39 (3-4): 213-227.
- Griffith, D.R., Mannering J.V. y J.E. Box 1986. Soil and moisture management with reduced tillage, págs.: 19-57 En: Sprague M.A. y G.B. Triplett (Eds.). *No-tillage and surface – tillage agriculture. The tillage revolution.* John & Sons, USA. 467 págs.
- Hadas, A. Y D. Wolf 1983. Energy efficiency in tilling dry clod-forming soils. *Soil Tillage Res.*, 3: 47-59.
- Hakansson I. Y J. Liepic. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*. 53: 71-85
- Harrison, D.F., Cameron, K.C. and R.G. McLaren 1994. Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 37: 559-567.
- Hatibu, N. and D. R. P. Hettiaratchi 1993. The transition from ductile flow to brittle failure in unsaturated soils. *J. of Agric. Eng. Res.* Vol. 54, no. 4: 319-328.
- Henin S. (1960). *El Perfil Cultural. Principios de física de Suelos.* Sociedad de Ediciones de Ing. Agrícola Paris.
- Jayawardane N.S. y E. L. Greacen 1987. The nature of swelling in soils. *Aust. J. Soil Res.* 25: 107-113.
- Johnson R. 1988. Soil Engaging Tool Effects on Surface Residue and Roughness with Chisel-type Implements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 237-243.
- Karlen, D. L., Edwards, J. K., Busscher, W. J. and D. W. Reeves 1991. Grain sorghum response to slit-tillage on Norfolk loamy sand. *J. Prod. Agric.*, 4: 80-85.

- Klein, V. A., Boller W., Dallmeyer, A.U., Candaten, A., Bortolloti, D., Civardi, E., Vieira, M. y R., Dalpaz 1992. Avaliação do desempenho de seis escarificadores em lotosolo vermelho escuro distrofico. XXI Congresso Brasileiro de Eng. Agr. Vol. 3: 1337-1347.
- Koolen, A. J. and H., Kuipers 1983 Agricultural soil mechanics. Springer-Verlag. Berlín, 241 págs.
- Logsdon S. D., Parker J. C. y Reneau R. B. Jr. 1987. Root growth as influenced by aggregate size. Plant Soil, 99: 267-275.
- Machado, R.L.T., Turatti, A.L., Alonco, A.dos S. , Machado, A.L.T. y A.V.dos Reis 1996. Efeito da escarificacao sob diferentes condicoes em parámetros físicos de um Planossolo. Memorias de trabajos completos del IV Congresso Argentino y II Internacional de Ing. Rural, Neuquén- Argentina, pp.553-558.
- McKyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Developments in Agricultural Engineering 7.Chapters 3 y 4, págs. 87-104. Elsevier Sc. Publishers B.V.The Netherland
- McNabb D.H. and L. Boersma 1993. Evaluation of the relationship between compressibility and shear strength of Andisols. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 923-929
- Mialhe, L.G. 1996. Máquinas Agrícolas. Ensaio & certificação. CNPq-PADCT/TIB-FEALQ. 722 págs.
- Misra R. K., Alston A. M. y Dexter A. R. 1988 . Root growth and phosphorus uptake in relation to de size and strengthof soil aggregates. I. Experimental studies. Soil and Tillage Res. 11: 103-116.
- Misra R. K., Dexter A. R. y A. M. Alston 1986. Penetration of soil aggregates of finite size. II Plant roots. Plant Soil, 94: 59-85.
- Orellana, M., R.G. Barber and O. Diaz, 1990.Effects of deep tillageand the fertilization on the population, growth and yield of soya during an exceptionally wet season on a compacted Ustochrept, Santa Cruz, Bolivia. Soil and Tillage research, 17: 47- 61.
- Perfect, E. , Kay, B.D., Loon, W. K. P. van, Sheard, R. W. and T. Pojasok 1990. Factors influencing soil structural stability within a growing season: Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 173-179.
- Pikul, J.L. y J.K.Aase 1999. Wheat response and residual soil properties following subsoiling of a sandy loam in eastern Montana. Soil and Tillage Research, 51:61-70.
- Sojka, R.E., W.J. Busscher, D.T. Gooden and W.H. Morrison. 1990. Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1107-1112.
- Rajaramn G. And D. C. Erbach. 1996. Journal of Terramechanics, Vol. 33, No. 6, pp. 265-272.
- Richard, G., Boizard, H., Roger-Estrade, J., Boiffin, J. y J. Guerif 1999. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. Soil and Tillage Research. 51(1-2):151-160.
- Servicio de Conservación de Suelos del Dpto. Agric. de los Estados Unidos (SCS-USDA)1992. Crop Residue Management Guide. 19 págs.
- Shafiq M., Hassan A. and S. Ahmad 1994 Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field conditions. Soil and Tillage Research, 29: 13-22.
- Smith, D.L.O., Godwin R.J. y G. Spoor 1989. Modeling soil disturbance due to tillage and traffic. En: W. E. Larson, G. R. Blake, R.R. Allmaras, W. B. Voorhees and S. C. Gupta (Edit). Mechanics and related processes in structures agricultural soils. Kluwer Academic Publishers NATO ASI Series. Serie E: Applied Sc. Vol.172. 273 pps.

- Snyder V. Y R. D. Miller 1989. Soil deformation and fracture under tensile forces. En: W. E. Larson, G. R. Blake, R.R. Allmaras, W. B. Voorhees and S. C. Gupta (Edit). Mechanics and related processes in structures agricultural soils. Kluwer Academic Publishers NATO ASI Series. Serie E: Applied Sc. Vol.172. 273 pps.
- Sojka R.E., W.J. Busscher, D.T. Gooden and W.H. Morrison. 1990. Subsoiling for sunflower production in the Southeast Coastal Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1107-1112.
- Sojka, R.E., Westermann, D.T., Brown M.J. y B.D., Meek 1993. Zone-subsoiling effects on infiltration, runoff, erosion, and yields of furrow-irrigated potatoes. Soil and Tillage Research, 25: (351-368).
- Sojka, R.E., Horne, D.J., Ross, C.W. y C.J. Baker 1997. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. Soil and Tillage Research 40: 125-144.
- Spoor G. y R. K. Fry 1983. Soil disturbance generated by deep-working low rake angle narrow tines. J. Agric. Engng. Res. 28, 217-234.
- Spoor, G. and Godwin, R. J. 1978 An experimental investigation into deep loosening of soil by rigid tines. J. agric. Engng. Res. 23, 243-258.
- Stafford J. V. 1979. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. J. Agric. Engng. Res. 24, 41-56.
- Taboada M.A., Micucci F.G., y D. J. Consentino 1996. Evaluacion de la siembra directa como causante de compactacion en dos suelos de la Pampa Ondulada. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa de La Pampa, Argentina: 217-218.
- Tisdall, J. M. y J. M. Oades 1982. Organic matter and Water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, 33:141-163.
- Tollner, E. W., Hargrove, W. L. and G.W. Langdale 1984. Influence of conventional and no-till practices on soil physical properties in the southern Piedmont. Journal Soil Water Conservation 39: 73-76.
- Unger P. W. 1993. Reconsolidation of Torrertic Paleustoll after tillage with paratill Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 195-199.
- Unger P.W. y O.R. Jones 1994. Infiltration of simulated rainfall: dry aggregate size effects. J. Agronomy and Crop Science 173: 100-105
- Unger, P. W. 1997. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of a - Torrertic Paleustoll. Soil and Till. Res. 42: 95-113.
- Vallejos A. G., Echeverria N.E., y J. Silenzi 1998. Efecto del escarificado en un Haplustol entico compactado subsuperficialmente, del sur de la provincia de Bs. As. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz- Cordoba- Argentina. Pags. 257-258.
- Vepraskas M. J., Busscher W.J. and J. H. Edwards 1995. Residual effects of deep tillage vs. no-till on corn root growth and grain yield. Journal of Production Agriculture, Vol. 8. no. 3: 401-405
- Vepraskas, M. J. 1988. Bulk Density Values Diagnostic of Restricted Root Growth in Coarse-textured Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1117-1121.
- Vepraskas, M. J. y G.S., Miner 1986. Effects of subsoiling and mechanical impedance on tobacco root growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 423-427.
- Vepraskas, M. J. y D. S. Gthrie 1992. Identifying soils where subsoiling can increase yields of tobacco, corn, and cotton. Journal of Production Agriculture, vol.5, no.4: 482-488.

Wells L.G. and O.Treesuwan 1978. The response of various soil strength indices to changing water content and bulk density. Transactions of the ASAE, Vol. 21, no. 5, págs. 854-861).