

## MECANIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES Y ENMIENDAS

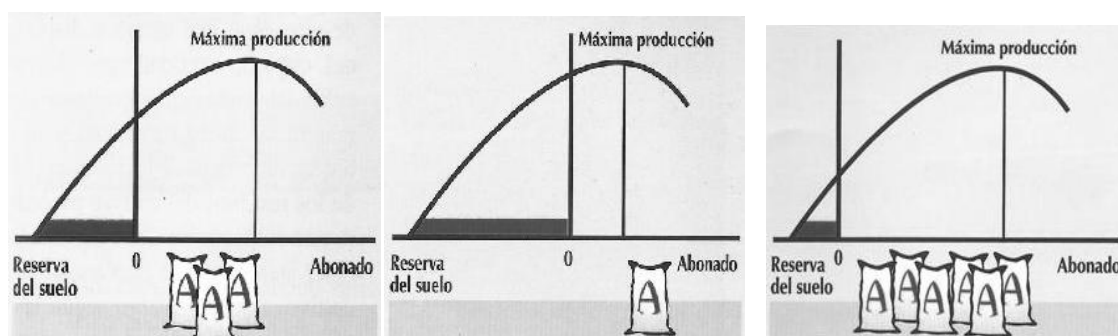
**Ing Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur, Ing. Agr. Telmo Palancar**

Cada cultivo posee una curva característica de respuesta a la aplicación de un determinado fertilizante, la cual depende, esencialmente, de la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, es decir del nivel de fertilidad del mismo, y de la influencia directa que dicho nutriente ejerce sobre la producción.

El aprovechamiento que el cultivo hace del fertilizante aportado no varía linealmente con la cantidad aportada, sino que la eficacia cae progresivamente como se indica esquemáticamente en la Figura 43.

La distribución no uniforme de fertilizantes y cal agrícola puede reducir los rendimientos de los cultivos. Cuando un área del lote es sub fertilizada (o sub encalada), mientras que otra es sobrefertilizada (o sobre encalada), el rendimiento total del cultivo puede ser inferior a que si las dosis de fertilizante (o cal agrícola) fuesen adecuadamente distribuidas. Los efectos de la variabilidad en la distribución de fertilizantes son mucho más notables en los lotes de suelos menos fértiles, debido a que la respuesta a los nutrientes aportados es mayor.

Resulta de fundamental importancia la realización de un correcto muestreo de suelo para saber, a ciencia cierta, la disponibilidad de cada nutriente, en vista a la posterior fertilización, para poder predecir el comportamiento de los principales elementos que se incorporan en la fertilización mineral.



*Figura 43. Respuesta de los cultivos al abonado (M. Aullé 2008)*

Los primeros aportes de fertilizante producen un incremento aproximadamente lineal de la producción para, a continuación, seguir una curva, por lo general, de tipo parabólico, hasta alcanzar su valor máximo. Si la cantidad aportada de fertilizante supera ese máximo, pueden acontecer una caída de la producción, y posibles anomalías en el cultivo, o bien transformarse en un "consumo de lujo" con el consiguiente perjuicio económico, e incluso medioambiental.

La fertilización "de fondo" como por ejemplo de fósforo y en menor medida potasio, al tener menor influencia directa sobre la producción admiten la planificación de la fertilización, incluso pensando en dosis no solamente restituyentes de lo que podría extraer el cultivo, sino recomponentes del nivel de fertilidad del suelo. En cambio, las fertilizaciones nitrogenadas resultan mucho más complejas tanto por su potencial percolación, como por su difusión a la atmósfera en estado gaseoso, como por la acción directa que tiene el nitrógeno sobre la producción.

Para una utilización óptima de los fertilizantes y enmiendas de suelo es necesaria una aplicación precisa y uniforme de los mismos. Los **fracasos** en el resultado final de la fertilización y/o la corrección del suelo puede ser atribuída, con frecuencia, a la **aplicación no uniforme** ocasionada por fallas en el equipo aplicador o por desconocimiento de las regulaciones necesarias para conseguir una correcta dosificación del producto a aplicar.

Los problemas para la aplicación uniforme de fertilizantes y enmiendas se incrementan, notablemente, en la medida que la granulometría de los productos es menor (correctores cálcicos, cálcicos-magnésicos, yeso, azufre elemental). Estos problemas pueden estar originados por la mayor densidad de los productos pulverulentos, su dificultad de transporte, y por estar más sujetos a la posibilidad de deriva por el viento.

Los fertilizantes se pueden encontrar en tres estados diferentes:

- sólidos
- líquidos
- gaseosos

De las tres formas, la utilización de fertilizantes sólidos es mayoritaria en la República Argentina, en un porcentaje variable según las diferentes regiones, entre el 60 y el 70% aproximadamente . En relación a los líquidos y gaseosos, estos últimos, todavía, de difusión incipiente para cultivo extensivos.

Las máquinas responsables de la aplicación de fertilizantes y enmiendas son las **fertilizadoras**, y se entiende como tal a *toda herramienta capaz de llevar el producto a aplicar dentro de una tolva y entregarlo con una localización determinada, consiguiendo un grado de uniformidad tal que las diferencias de distribución no se vean reflejadas en el cultivo.*

En este capítulo se desarrollarán características básicas y regulaciones para herramientas aplicadoras de fertilizantes y enmiendas sólidas y líquidas.

### **Aplicación de fertilizantes y enmiendas sólidas**

La aplicación de fertilizantes y enmiendas en estado sólido puede efectuarse bajo tres principios básicos:

- sistema gravitacional
- sistema centrífugo o de proyección
- sistema con asistencia neumática

**Sistemas gravitacionales:** En estas máquinas el producto se deposita por caída libre desde una tolva por medio de un mecanismo dosificador de distintas características de construcción. Entre los diferentes diseños se ha popularizado el uso del sistema **Chevrón** (Figura 44), en las sembradoras-fertilizadoras (Figura 47) que ha reemplazado gradualmente a los tradicionales **rodillos acanalados**. Ya en menor medida, pueden encontrarse sistemas de **estrellas**, (Figura 45) limitados actualmente a algunas máquinas fertilizadoras de uso específico para esta labor. (Figura 46)

Estos implementos presentan, en líneas generales, una adecuada distribución, pero adolecen de una reducida capacidad operativa, por poseer un ancho de distribución efectivo similar al ancho de la máquina y, además, pueden presentar el inconveniente de una reducida capacidad de tolva para aquellas aplicaciones que ameritan elevadas dosis por hectárea (enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas). Por otra parte, la aplicación del fertilizante junto con la labor de siembra dificulta siempre el trabajo de la sembradora, tanto por problemas de penetración de la máquina, adecuación de la dosis de fertilizante y semilla, reducción de la capacidad de trabajo del conjunto,

aumento del esfuerzo de tracción, movimiento de terrones que modifican la uniformidad de ubicación de la semilla en profundidad, entre otros factores.

Estas máquinas, al tomar movimiento sus órganos dosificadores de ruedas de mando en contacto con el terreno, tienen una distribución proporcional, dentro de ciertos límites, a la velocidad de avance.

Para la aplicación de productos pulverulentos y, fundamentalmente, en dosis elevadas como las enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas, se han desarrollado máquinas especiales con tolvas de gran capacidad de almacenamiento, montadas sobre neumáticos de alta flotación para reducir la presión específica sobre la superficie del suelo y reducir, de esta manera, el problema de la compactación superficial. Estas máquinas pueden tener un botalón de gran ancho de trabajo y un sistema de transporte de tornillo sin fin (Figura 48), con varias bocas de salida para la deposición del material. Asimismo, pueden contar con un sistema de cortinas que reducen la incidencia del viento durante la aplicación, pudiendo bajar la incidencia de la deriva, tan común en la aplicación de este tipo de productos de reducida granulometría.

Cabe aclarar que se entiende por **deriva** a todo producto que abandona la máquina y no se deposita en el objetivo (en este caso el suelo). La deriva, puede producir una potencial contaminación sobre operarios, de lotes vecinos, fuentes de agua, animales que se encuentren en la proximidad de la aplicación, además de acarrear una pérdida económica al productor.



Figura 44. Dosificador tipo chevron

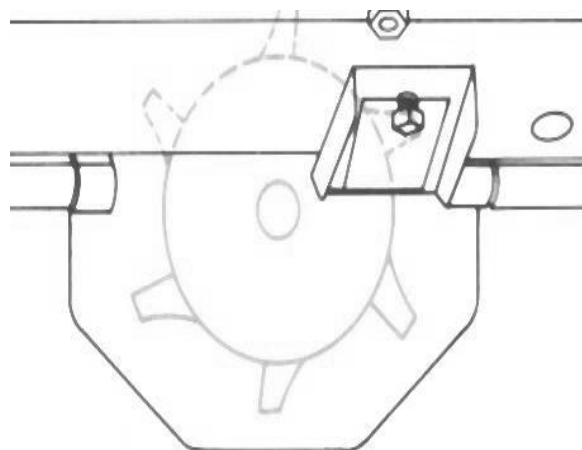


Figura 45. Esquema de dosificador tipo estrella



Figura 46. Fertilizadora



Figura 47. Sembradora-fertilizadora



Figura 48. Aplicadora de enmiendas con botalón a tornillo sinfín

El fertilizante puede ubicarse en una monotolva, o bien en tolvas individuales, actualmente están muy difundidos los materiales plásticos, tanto para las tolvas como para los dosificadores. Las aplicadoras de de enmiendas, dado las dosis usualmente elevadas que se utilizan, son del tipo monotolva de gran capacidad, con removedores-mezcladores, o piso móvil con cadenas transportadoras.

Las máquinas que realizan la incorporación del fertilizante, una vez que éste abandona la tolva, conducen el material por mangueras hacia el surco realizado, generalmente, con dobles discos, discos simples angulados o bien cuchillas inclinadas, los cuales poseen habitualmente un mecanismo de control de la profundidad de trabajo. También la deposición puede efectuarse con cinceles o púas que penetran por succión, siendo importante destacar que estos elementos pueden provocar un disturbio importante en el suelo, especialmente con velocidades de desplazamiento superiores a los 7-8 km/h.

**Sistema centrífugo o de proyección:** estas herramientas tienen la característica en común de poseer mecanismos de dosificación, si bien distintos entre sí, que realizan la proyección del fertilizante a distancias considerables. Los mecanismos de dosificación más difundidos son:

- **discos rotativos**
- **péndulo o tubo oscilante**

Dado el principio de funcionamiento de estas herramientas, cada partícula de fertilizante es tratada como un "proyectil" y en virtud de ello, el alcance de los mismos está regido por el *principio de la balística*, es decir, que la trayectoria del fertilizante va a depender de:

- **el peso y su relación con la densidad aparente de la partícula:** esta debe ser constante y superior a los  $850 \text{ kg/m}^3$ , lo cual permite alcanzar un mayor ancho de cobertura efectivo
- **su tamaño (granulometría):** este debe ser lo más uniforme posible, siendo recomendable que el 80% del producto se encuentre entre 2,5 y 4.0 mm de diámetro, lo que produce una distribución más uniforme y de mayor alcance

- **de su forma:** preferentemente con gránulos esféricos los cuales presentan menor rozamiento, menor generación de polvo y una trayectoria más uniforme
- **de la velocidad inicial:** la velocidad inicial alta tiene incidencia sobre la distancia a la cual pueden llegar las partículas de fertilizante. La misma depende del diámetro del disco y / o la longitud de las paletas en las fertilizadoras de discos, y de la longitud de la trompa dosificadora y el ángulo de barrido en las pendulares
- **de la resistencia del aire**
- **de la gravedad**

Además, influyen otras características en la uniformidad de la distribución tales como: la necesidad que el material tenga baja higroscopicidad, alta dureza para evitar la formación de polvo, contenido de polvo inferior al 1%, ausencia de apelsonamiento del material, etc.

Estas máquinas se caracterizan, entre otras condiciones, por:

- transmitirle energía cinética a la partícula de fertilizante para producir su proyección
- poseer un gran ancho de cobertura (en máquinas de doble disco cercana a los 50 metros), en relación al ancho de la máquina y, por consiguiente, una elevada capacidad de trabajo
- tener **un ancho efectivo de trabajo menor al ancho total de distribución** por requerir un solapamiento entre pasadas, situación que hace necesaria una evaluación más precisa y compleja del patrón de distribución, debido a la obligatoriedad de solapar pasadas sucesivas, para conseguir una distribución uniforme del producto a aplicar
- poseer un tipo de mecanismo distribuidor que permite mayores velocidades de trabajo que las aplicadoras gravitacionales
- una calidad de distribución que depende, en mayor medida que para las gravitacionales, de las características físicas del fertilizante a aplicar y de las regulaciones que se realizan sobre los mecanismos de proyección. El viento puede ocasionar alteraciones en el patrón de distribución de la herramienta.
- el grado de precisión de la aplicación, que suele ser menor que para las aplicaciones gravitacionales
- presentar, en líneas generales, un menor costo de adquisición y mantenimiento que las fertilizadoras gravitacionales
- ser herramientas dependientes de la nivelación longitudinal y transversal, como así también de mantener un adecuado y constante régimen de rotación de la toma posterior de potencia (si su mecanismo distribuidor no es movido por motores hidráulicos), para mantener un adecuado diagrama de distribución
- poseer una tolva, generalmente de forma tronco cónica invertida en cuya base menor posee un sistema de remoción de fertilizante y una compuerta por cada mecanismo dosificador
- la modificación del patrón de distribución cuando, para una misma regulación de la máquina, se modifica la dosis o tasa de aplicación.

### **Fertilizadora centrífuga con discos rotativos**

En líneas generales, las aplicadoras de doble disco presentan un perfil de distribución más uniforme que las de disco simple (Figuras 49 y 50). La forma que habitualmente presenta la distribución es triangular o trapezoidal en las máquinas de

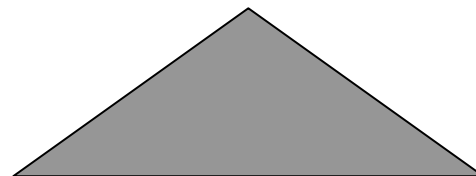
doble disco, aunque la regulación de las mismas tiende frecuentemente a generar patrones de distribución trapezoidal (Figura 51). Tanto los perfiles trapezoidales como los triangulares simétricos (Figura 52) permiten la circulación de las máquinas en forma alternada, ida y vuelta, con una adecuada eficiencia de labor, en lo relacionado a las pérdidas de tiempo en las cabeceras. Por lo expuesto, esta forma de trabajo alternada implica la superposición o solapamiento del lado derecho con el derecho y luego del lado izquierdo con el izquierdo.



*Figura 49. Fertilizadora centrífuga bidisco. Figura 50. Detalle de los platos giratorios*



*Figura 51. Perfil trapezoidal típico máquinas centrífugas bidiscos*



*Figura 52. Perfil de distribución triangular de*

En relación a estos patrones, resulta claro que la superposición trata de lograr uniformidad en la distribución, la cual se alcanza teóricamente cuando se superponen aquellos sectores que presentan un 50% del producto que se encuentra en la parte central de la distribución, cuando el perfil es normal y no muestra defectos o anomalías. Tal como se ha dicho en forma precedente y dada la variabilidad de los factores que determinan el alcance máximo del fertilizante proyectado por los mecanismos u órganos activos es imprescindible la caracterización y cuantificación del fertilizante en el ancho de esparcido de la máquina. Lamentablemente los procedimientos de control en campo son poco frecuentes y como consecuencia de ello se producen errores de superposición que afectan la uniformidad. Existe en este sentido una tendencia a sobreestimar el ancho de esparcido y que se produzcan zonas con menor dosis de fertilizante que la deseada. Si bien este problema afecta a los dos patrones característicos, trapezoidales y triangulares, resultan más tolerantes estos últimos, ya que las pendientes suaves de los extremos hacen que los defectos en el solapamiento produzcan menores variaciones en la dosis de los diferentes sectores.

Otro problema frecuente a nivel de campo es que las regulaciones de las máquinas se efectúan para alcanzar el mayor ancho de cobertura posible, produciendo como consecuencia de dichas acciones un perfil de distribución desuniforme, con sectores centrales o intermedios con menor cantidad de fertilizante.

En cambio, las máquinas monodisco, suelen producir patrones de forma triangular, asimétricos, que ocasionan la necesidad de trabajar en forma continua, en redondo, superponiendo permanentemente el lado derecho con el lado izquierdo de la distribución en los pasajes sucesivos. Esta forma de trabajo aumenta las pérdidas de tiempo en las cabeceras del lote y la necesidad de contar con banderilleros que marquen la pasada, recorriendo largas distancias. Este problema es fácilmente solucionado con la incorporación de auto guías o "banderilleros satelitales", pero resulta poco habitual entre pequeños productores que poseen este tipo de máquinas. Como consecuencia de las dificultades mencionadas y ante la falta de identificación del problema los productores suelen trabajar ida y vuelta, provocando ante una misma superposición a derecha e izquierda, zonas de mayor y menor tasa de aplicación, fácilmente visibles en aquellos ambientes con fuerte respuesta a la aplicación del fertilizante, ya que sobre el cultivo se visualizan diferentes alturas, en franjas coincidentes con los sectores de mayor y menor cantidad de fertilizante aplicado.

Por otra parte, independientemente del número de discos, estas máquinas presentan aspectos básicos de diseño comunes que inciden sobre la calidad del trabajo realizado y su capacidad de trabajo. La prestación y capacidad de trabajo de las máquinas de fertilizadoras de discos dependen de aspectos básicos de diseño y regulación de los órganos activos.

Las principales características de diseño de los órganos de trabajo son el diámetro interno del disco, el diámetro externo del disco, la velocidad de giro, la forma del disco, el número de paletas, la forma de las paletas, la longitud de las paletas, la forma de alimentación de los discos, la distancia entre los discos (en las máquinas de doble disco) y las posibilidades de regulación de algunos de estos factores. Esto se complementa con la altura de distribución posible de alcanzar por la máquina en su conjunto y la capacidad de carga de la tolva.

El diámetro interno de los discos se relaciona con el punto de caída del fertilizante sobre el disco. Este parámetro encuentra mayores restricciones de diseño cuando la tolva se encuentra por encima de los discos, ya que el diámetro mínimo estará condicionado por la alimentación del fertilizante, el cual no puede reducirse ya que comprometería en cierta medida el flujo del material desde la tolva hacia el disco. Si el punto de caída determinado por el radio interno mínimo está muy alejado del centro de giro, las paletas del disco al tomar contacto con el fertilizante, con una mayor velocidad tangencial por un mayor radio para una misma velocidad de giro, producirá un impacto de mayor energía, con posibilidades de romper los gránulos, generar polvo y un menor alcance efectivo.

El radio máximo se encuentra asociado a la longitud de las paletas, en una relación directa, aunque por lo general el largo de las mismas suele ser mayor que el radio de los discos. Cuanto mayor sean ambas medidas, mayor será el ancho de cobertura de la máquina, al alcanzar el fertilizante una mayor velocidad resultante al momento del lanzamiento.

Sin embargo, es frecuente encontrar diseños que presentan diferentes longitudes de paletas, ya que las mismas entregarán el fertilizante en distintos sectores del perfil de distribución, siendo las paletas más cortas las encargadas de la entrega hacia el sector hacia el cual están girando los discos y la parte media del perfil, mientras que las de mayor longitud lo harán más lejos y hacia la parte externa del perfil de



distribución. La presencia de paletas de diferente longitud en un mismo disco permitirán una mayor facilidad para alcanzar una mayor uniformidad de la fertilización, al estar más claro para el usuario con qué elemento y que acción produce una determinada modificación del patrón establecido.

La velocidad de giro también incide sobre el ancho de cobertura y la distribución, permitiendo las mayores velocidades un mayor alcance. No obstante, la mayor velocidad de giro puede producir mayor rotura del fertilizante, por lo que no es recomendable sobrepasar las velocidades indicadas por el fabricante. Las máquinas que poseen una mayor velocidad de giro deberán tener un diseño de entrega del material que minimice estos inconvenientes, tendiendo a aumentar la velocidad a la cual el fertilizante llega al disco.

La forma del disco se refiere a si los mismos son planos o cónicos. Siendo estos últimos los que permiten teóricamente un mayor alcance. Un ángulo de proyección de 45° es según los principios de balística el que permite un mayor alcance, pero los problemas de rozamiento, aceleración, densidad y resistencia del aire del fertilizante hacen que nunca se alcance esa angulación en las fertilizadoras de discos.

El número de paletas cobra importancia en las máquinas actuales en función de la velocidad de desplazamiento de las máquinas. Cuanto mayor sea dicha velocidad, debería ser mayor el número de paletas para no producir una distribución desuniforme. En este sentido existen máquinas de 2, 3, 4 y hasta 8 paletas. Las dificultades para el trabajo con un número reducido de paletas es a veces compensado con una mayor velocidad de rotación, lo cual puede traer aparejado una mayor rotura del fertilizante y generación de polvo según el diseño de entrega del material a los discos.

La forma de las paletas es también variable entre las distintas máquinas existiendo paletas rectas, curvas, con perfil en L o en U. estos parámetros inciden sobre la aceleración que sufre el material, lenta o rápida, como así también la ubicación y contención ante altas dosis de entrega. Por último, la distancia entre los discos, en las máquinas de doble disco, incide sobre el perfil de distribución y las regulaciones que la máquina debe ofrecer para alcanzar uniformidad del mismo.

Las regulaciones más comunes que pueden realizarse en las máquinas centrífugas de disco son las siguientes:

- **posición de caída del fertilizante:** permite, de acuerdo a las características físicas del fertilizante y del patrón de distribución determinado modificar o corregir el mismo. Existen 2 posibilidades de modificación (Figura 53): a) adelantar o atrasar el punto de descarga en relación con el sentido de giro del disco; b) descarga del fertilizante hacia el centro o hacia la periferia del disco (distintos radios de aplicación).

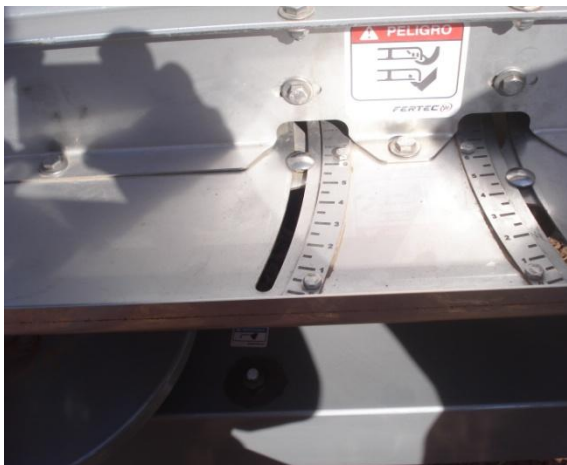




Figura 53. Regulación en función del ángulo y del radio en forma conjunta.

- **modificación del largo de las paletas** dosificadoras (Figura 54) por deslizamiento del extremo de la paleta, sobre una guía o por cambio de paletas de distinta longitud.

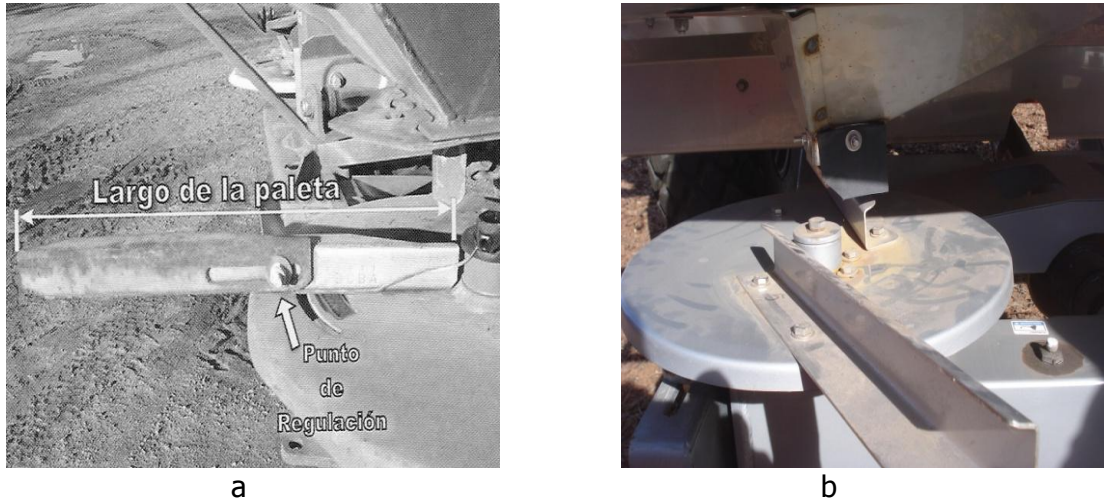


Figura 54. a) modificación del largo de las paletas de forma continua. b) presencia de paletas de distinta longitud

- **modificación de la posición de las paletas:** la misma es relativa al sentido de giro y al radio del disco. Las paletas se pueden atrasar (ángulos negativos) o adelantar (ángulos positivos) tomando como referencia al radio del disco, con lo cual se varía el ángulo de ataque de las mismas (Figuras 55 y 56)



Figura 55. Modificación de la posición de las paletas en forma discontinua.



Figura 56. Modificación de las paletas en forma continua

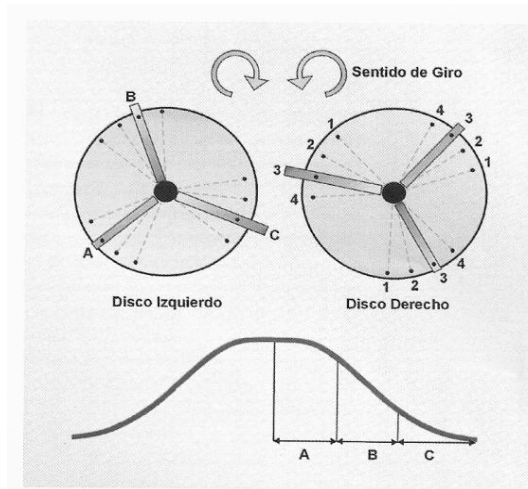


Figura 57. Presencia de paletas de distinta longitud y posición. Sectores de distribución de las distintas paletas. A: cortas; B: medias; C: largas

- modificación de la velocidad de giro del disco:** poco frecuente en máquinas con accionamiento mecánico a través de la TPP, es habitual en las que poseen movimiento asistido por motores hidráulicos. La velocidad es mencionada como forma de modificar tanto el alcance como los patrones de distribución, pero generalmente con la salvedad que su aumento puede provocar la rotura del fertilizante y producir problemas en la distribución aún cuando se lo haya propuesto como forma de solución. Si es frecuente su uso cuando la máquina se acerca a los extremos de la parcela (al final de la aplicación) para evitar la proyección por afuera de los límites del predio.

### Fertilizadoras pendulares

Por su parte, las máquinas pendulares generan un perfil triangular (Figura 52). Su principio de funcionamiento se basa en la acción de un tubo o trompa oscilante (Figura 58) que, al recibir una cantidad de fertilizante desde la tolva, lo lanza hacia el terreno cubriendo un sector que puede extenderse, en ciertos casos, los 100° de amplitud. Para tal fin, el tubo oscilante está animado de movimiento alternativo, dotado de un régimen elevado de carreras por minuto.

Si bien el ancho de cobertura efectivo suele ser menor que para las fertilizadoras centrífugas de disco, si están bien pensadas desde su diseño, este defecto se compensa por una mayor uniformidad de reparto de material.

Con la finalidad de poder variar el ancho de cobertura, así como permitir una mayor adaptabilidad a distintas granulometrías de fertilizantes, algunas marcas pueden proveer ángulos variables de barrido del péndulo (38°, 48°, 56°), en líneas generales, a mayor angulación de barrido, mayor sería también el incremento en el ancho de esparcido.

En estas máquinas, el ancho de esparcido también depende de la longitud del tubo oscilante. Algunas empresas contemplan la posibilidad de intercambiar tubos para localizar el material de acuerdo a la necesidad de la aplicación (por ejemplo aplicaciones entre hileras de frutales o forestales). Estos implementos son sensibles a la pérdida de uniformidad en la distribución cuando se trabaja con abonos de poca consistencia, que se adhieran en el interior del péndulo.



*Figura 58. Fertilizadora centrífuga de péndulo o tubo oscilante*

Es necesario, para conseguir uniformidad en la distribución, que el deflector de esparcido, ubicado en la salida del tubo oscilante, se encuentre en perfectas condiciones. De no ser así, puede resentirse en gran medida la calidad de aplicación, apareciendo patrones irregulares de difícil solapamiento. Sin embargo, las características de la aplicación cuando el tubo oscilante no cuenta con difusor es aprovechado para el trabajo en montes frutales, donde resulta conveniente la concentración de la distribución sobre la hilera de los cultivos. En estos casos, además de la utilización de tubos sin lengüeta o difusor, se emplean los de menores dimensiones, o con ángulos de barrido reducido, a los efectos de adecuar el flujo a la distancia entre hileras o marco de plantación.

Para incrementar el ancho de cobertura puede adicionarse, por debajo del péndulo, unas pantallas deflectoras donde el material rebota y se proyecta a mayor distancia. En estos casos, la distribución puede variar de triangular a trapezoidal, dentro de ciertos límites.

Estas máquinas pueden ser sensibles a la rotura de mecanismo distribuidor cuando se emplean velocidades de régimen por encima de la estipulada por el fabricante.

**Sistema con asistencia neumática:** estos implementos han comenzado a difundirse en los últimos años, buscando mejorar la aplicación de las fertilizadoras por proyección, combinando un adecuado ancho de trabajo, con la mejora de la distribución del producto por la asistencia de aire.

En líneas generales, cuentan con grandes tolvas que pueden poseer, en su parte inferior, un gran distribuidor mecánico (similar a un rodillo acanalado de una sembradora), capaz de extraer el fertilizante del recipiente que lo contiene. Este mecanismo toma movimiento, generalmente, de las ruedas de la máquina, con regulaciones para variar la tasa de aplicación, siendo ésta proporcional a la velocidad de avance. Una vez retirado el producto de la tolva, es tomado por una corriente de aire, provista por una turbina, que moviliza el material hasta un el punto de descarga,



pudiendo ser la misma localizada incorporada (figura 59) o distribuida al voleo sobre la superficie del terreno



*Figura 59. Fertilizadora neumática con mecanismos para la incorporación del fertilizante*

Estos dispositivos pueden disponerse sobre grandes chasis que, a su vez, pueden llevar tolvas de semillas, con un sistema de distribución similar al del fertilizante, constituyéndose en las sembradoras-fertilizadoras difundidas como diseños air-drill, reconocidas por su gran capacidad de trabajo (Figura 60).



*Figura 60. Sembradora Fertilizadora con transporte neumático (diseño air drill)*

Otras máquinas con este mismo principio de distribución se asemejan a pulverizadores de botalón, debido a que la conducción del fertilizante, una vez extraído

de la tolva, la realiza una corriente de aire a través de sendos caños con difusores de aplicación distribuidos a intervalos regulares sobre el cuerpo del botalón. (Figura 61)



*Figura 61. fertilizadora con asistencia neumática con botalón y difusores.*

En los últimos años se han comenzado a desarrollar diseños que permitan la aplicación de fertilizantes sólidos en estadios avanzados del cultivo, tratando de competir y complementar la aplicación de fertilizantes líquidos. Por ello, dichos diseños se basan en la utilización de la estructura básica de las máquinas pulverizadoras de botalón automotrices, aprovechando el despeje de las mismas. Estas máquinas montan en algunos casos sistemas de proyección centrífuga de discos y en otros sistemas neumáticos

### **Aplicación de fertilizantes líquidos**

Los fertilizantes líquidos son productos que a la presión atmosférica se mantienen en estado líquido y que pueden ser trasvasados, transportados y aplicados en ese estado. En un principio solamente se podían encontrar soluciones nitrogenadas, pero en la actualidad los fertilizantes líquidos disponibles en el mercado cumplen una amplia gama de productos para cualquier cultivo y necesidad. Si bien con el aumento de la concentración se economiza el transporte, existen límites para ello debido al alto costo de la formulación.

El fertilizante líquido más difundido, en cultivos extensivos, es el UAN que es una solución de Urea y Nitrato de Amonio que posee una concentración de, solamente, 30 % de nitrógeno y el CAN (Nitrato de Amonio Calcáreo)

### **Ventajas de la aplicación de fertilizantes líquidos:**

- **dosificación precisa:** con la adecuada elección de las pastillas aplicadoras y el control de la presión de trabajo en forma manual o automática

- **independencia de la humedad ambiente:** a diferencia de la aplicación de sólidos, los fertilizantes líquidos no sufren apelmazamientos y taponamientos de tubos de descarga
- **aplicación simultánea:** con otros productos con afinidad fisico-química con una mayor homogeneidad de aplicación
- **fertirrigación:** se pueden inyectar directamente en la línea de riego de goteo, aspersión o surco
- **versatilidad:** los equipos aplicadores se pueden adaptar a implementos de labranza (escarificadores) y de siembra
- **capacidad de trabajo:** por el ancho de distribución y la velocidad de desplazamiento
- **menores costos de manejo:** dado que el producto se puede movilizar con bombas, reduciendo mano de obra y el envase contenedor puede ser reutilizado
- **disponibilidad:** su composición química permite una absorción y asimilación más directa por las plantas
- **facilidad de almacenamiento:** en tanques de hasta 30 toneladas

#### **Desventajas de la aplicación de fertilizantes líquidos:**

- **corrosión química:** las partes metálicas en contacto con el producto pueden acortar su vida útil si están compuestas por cobre, latón, hierro, zinc, hierro galvanizado y acero. Los materiales resistentes serían: acero inoxidable, fundición plastificada o esmaltada, materiales plásticos, polisteres, aluminios, neoprene, vidrios y materiales cerámicos (óxidos de aluminio y esteatitas. Es muy importante el lavado diario de la máquina
- **abrasión física:** en especial de aquellos productos en suspensión que pueden desgastar elementos como bombas, juntas grifería, válvulas y pastillas
- **separación de fases:** proceso que se puede dar en productos en suspensión cuando no son adecuadamente removidos dentro del depósito que los contiene



*Figura 62. Sembradora con aplicación de fertilizante sólido y líquido*

#### **Formas de aplicación:**

##### **en forma superficial:**

- chorreado o pulverizado en cobertura total en presiembra



- chorreado en pos emergencia

**con incorporación:**

1. En presiembra con implementos de labranza vertical o de discos
2. Al momento de la siembra con sembradoras adaptadas (Figura 62)
3. Con incorporadotas de fertilizantes líquidos

**Pastillas para la aplicación de fertilizantes líquidos**

Para la aplicación de este tipo de fertilizantes se deben utilizar pastillas que permitan una familia de gotas gruesas y homogéneas para evitar las pérdidas de deriva por acción del viento en conjunción con la generación de corrientes motivadas por la velocidad de avance.

Pueden ser utilizadas pastillas convencionales de **abanico plano** (de hendidura) generalmente utilizadas para la aplicación de herbicidas (Figura 63 a), teniendo en cuenta que las presiones de trabajo deben ser bajas (no mayor a 3 bares) dentro de lo posible, para disminuir el riesgo de deriva. Estas pastillas tienen un perfil de distribución triangular que debe ser superpuesto para conseguir una distribución uniforme. Estas pastillas deben ubicarse de manera tal que sus proyecciones no se toquen entre sí para evitar que no se produzcan coalescencia de gotas y desuniformidad de aplicación.

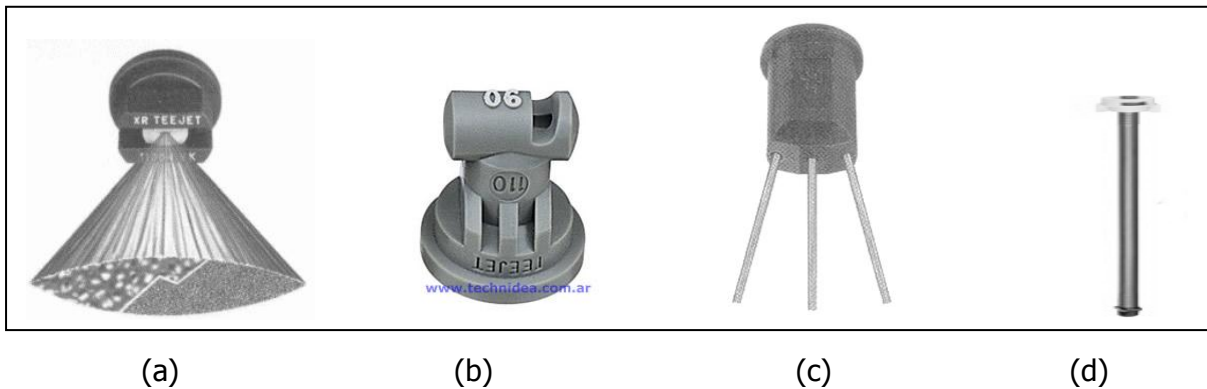


Figura 63. (a) pastilla abanico plano; (b) pastilla de impacto o espejo; (c) pastilla 3 orificios; (d) accesorio para la aplicación de UAN

Otra pastilla que se puede usar es la de **de impacto, espejo o deflectoras** (Figura 63 b). En estas pastillas la vena líquida impacta sobre una superficie deflectora pudiendo tener un ángulo de aplicación entre 90° y 140°, lo que permite un importante espaciado entre pastillas sucesivas. Estas pastillas permiten trabajar a presiones bajas (0,5-2,5 bares) en las específicas para aplicaciones sobre suelo desnudo o entre 1 a 6 bares para los nuevos diseños en cobertura total.

Por último, dentro de las pastillas de uso convencional para la aplicación de agroquímicos pueden ser usadas también **las pastillas con inducción de aire**. Este tipo de pastillas también resulta, presentando como ventaja al igual que las de impacto con respecto a las de hendidura que poseen orificios grandes, redondos, que facilitan el flujo del líquido sin favorecer la obturación de los mismos.

Las pastillas específicas para pulverización pueden ser de 1 o múltiples orificios (Figura 63 c), produciendo un chorro de producto que permite realizar aplicaciones dirigidas cuando el cultivo ya ha emergido, entre las líneas del mismo, con accesorios de bajada (Figura 63 d) minimizando los riesgos de quemaduras sobre las hojas, por no producir niebla en la aplicación. Normalmente, en la aplicación con estas pastillas el

líquido se puede distribuir entre 1 a 4 bares, pudiendo efectuarse también a la presión atmosférica (chorreo) y a una altura sobre el suelo de 0,70 a 1m

### **Calibración de fertilizadora gravitacional de aplicación en línea**

La calibración de estas máquinas es similar a la que se realiza para las sembradoras de grano fino. El ensayo de calibración debe realizarse en condiciones estáticas (dentro de un galpón, por ejemplo) con antelación a la fertilización, para reconocer problemas más importantes que ameritan mayor tiempo de reparación. Es recomendable repetir la calibración en el momento de la aplicación, ya sobre el mismo terreno de trabajo y con el fertilizante que se va a emplear.

#### **Ensayo estático:**

- **limpieza y lubricación:** cualquier resto de fertilizante de una anterior aplicación, tanto en la tolva como en los dosificadores o tubos de descarga puede ocasionar alteraciones en la entrega del fertilizante. Es conveniente la revisión de las cadenas y su mantenimiento previo al control. La distribución del fertilizante produce una resistencia al movimiento que puede ocasionar discontinuidades en el mismo y variaciones en la uniformidad de la distribución en la línea, por "cadeneo" o patinamiento de la rueda de mando.
- **llenado de la tolva:** se debe colocar suficiente cantidad de fertilizante para que se produzca una carga adecuada de los dosificadores que represente una condición real
- **elevación del implemento:** de acuerdo al ancho de la máquina habrá una o más ruedas de mando del tren cinemático de la fertilizadora, que entrega movimiento a los dosificadores de fertilizante. Este paso es necesario para que, manualmente, podamos mover a los dosificadores a través del giro de las ruedas de mando
- **determinación del perímetro del rodado:** esta medición es necesaria para saber el desarrollo de pisada de la rueda cuando cumple una rotación completa (cabe hacer notar que esta determinación puede sufrir modificaciones en la regulación dinámica, condiciones de trabajo, dependiendo del tipo de rodado, la presión de inflado y de la carga normal que recae sobre el neumático, en función del peso de la máquina y de la dotación de fertilizante en la tolva). Este paso se puede cumplir recorriendo el neumático con una cuerda y luego medir dicha longitud, o bien emplear la siguiente ecuación:

**Perímetro= 3,1416 x diámetro de la rueda**

- **elección de la relación de transmisión:** de acuerdo a tablas de referencia que la máquina presente en relación al sistema de transmisión de movimiento hacia los dosificadores (por ejemplo combinación de engranajes), junto con otras regulaciones (por ejemplo apertura de compuertas de entrega al dosificador), y en relación al fertilizante y dosis a aplicar, se buscará la regulación tentativa que convenga a nuestras necesidades
- **cargado de dosificadores:** una vez embragada la máquina se hace girar la o las ruedas de mando para cargar a los mecanismos dosificadores

- **colocación de bolsitas en los tubos de descarga:** el chequeo de la máquina debe realizarse en la totalidad de los mecanismos dosificadores para evaluar el estado de funcionamiento de los mismos. Las bolsas se tomarán a los tubos de descarga por medio de banditas elásticas o precintos
- **giro de la rueda de mando y recolección del fertilizante:** debe hacerse girar la rueda de mando el número de veces que, de acuerdo a su perímetro, represente una distancia de desplazamiento de por lo menos 50 metros, o bien la distancia que nos permita recolectar una cantidad suficiente de producto, de acuerdo a la sensibilidad de la balanza utilizada. En líneas generales, a mayor distancia recorrida mayor precisión de la determinación
- **pesado individual de las bolsitas:** Cada bolsita será pesada individualmente. Luego del pesaje individual se procederá a sumar los datos obtenidos y se determinará el promedio de la cantidad de fertilizante recogido en las mismas dividiendo el peso total por el número de distribuidores evaluados.
- **determinación de los desvíos con respecto a la media y revisión/ reparación de los dosificadores fuera de rango:** para esta tarea se considera que un dosificador está fuera de rango cuando la cantidad recogida, en la bolsita respectiva, se aparte de la **media  $\pm 10\%$** . Aquellos distribuidores que distribuyan por exceso se revisarán para su eventual reparación o ajuste, controlando los mecanismos o lengüetas que puedan incidir también en el flujo de material. Los que se encuentran por debajo de la media serán revisados en sus elementos activos y bocas de descarga por la posibilidad de suciedad y restos de fertilizantes que puedan limitar el movimiento del fertilizante. También deberá constatarse la presencia y funcionamiento de los removedores. Por último, si las diferencias en más o en menos se corresponden con un sector de la máquina, se deberá revisar el estado de los neumáticos, su presión de inflado o corroborar la igualdad de alistamiento del tren cinemático en sus distintos puntos de regulación.
- **confirmación de la dosis de aplicación:** relacionando la distancia supuestamente recorrida ( $n^{\circ}$  de vueltas de la rueda  $\times$  el perímetro de la misma) con el ancho efectivo de la máquina, se obtiene la **superficie** barrida por la fertilizadora. En dicha superficie se aplicó una cantidad equivalente a la sumatoria del contenido de las bolsitas colocadas. Luego de obtenido este dato, se relaciona la **cantidad de fertilizante entregada**, en la superficie recorrida, con la cantidad que se aplicaría si se recorriera una hectárea del lote. La **tolerancia** de aplicación no debería variar dentro de lo posible en un 5% con la dosis objetivo planteada, salvo que las discontinuidades en las relaciones de transmisión impiden alcanzar dicho grado de precisión.

En el **ensayo dinámico** se reproducen los pasos detallados anteriormente, con la salvedad de que en lugar de levantar la máquina y hacer girar la rueda de mando, se recorre con la sembradora la distancia determinada. La realización de este ensayo es sumamente necesaria porque incorpora, en su determinación, factores que podrían alterar la calibración realizada en forma estática al considerar, por ejemplo y entre otras cuestiones, las vibraciones que se originan en condiciones de marcha con el consecuente acomodamiento y segregación que se produce en el material a entregar. Además, en este ensayo se incorpora como variable el patinamiento de la rueda de

mando, el cual afecta disminuyendo la dosis de aplicación. También incidirá la relación rueda suelo, según las características del rodado y el estado mecánico del sustrato.

### **Calibración de fertilizadoras centrífugas**

Como ya fuera expresado en párrafos aparte, estas máquinas necesitan de una precisa determinación del ancho efectivo de trabajo para que, a partir del mismo, pueda establecer en forma correcta la superposición necesaria entre pasadas, en virtud de conseguir la homogeneidad de aplicación.

Aspectos previos a tener en cuenta:

- **verificación del estado general de la máquina:** debe estar limpia, sin restos de fertilizante y engrasada en sus partes móviles
- **verificación de la presencia de dispositivos de seguridad:** generalmente estas máquinas reciben potencia rotacional por medio de la Toma Posterior de Potencia del tractor, la cual debe contar con la respectiva protección homologada por el IRAM, para prevenir accidentes que, en un buen número de ellos, pueden ser mortales.

Una vez revisada la máquina se procede a su regulación, efectuando los siguientes pasos:

- 1. Enganche de la máquina:** el tipo de vinculación de estas máquinas con el tractor puede ser del tipo de tracción libre (arrastre) o bien, a través del sistema hidráulico tripuntal. En el acoplamiento se debe verificar el paralelismo de los mandos cardánicos para evitar angulaciones que puedan resentir las crucetas
- 2. Verificación de las velocidad de giro (revoluciones por minuto) de la toma de fuerza del tractor:** como se dijo anteriormente, el correcto funcionamiento de estas máquinas, como su performance en la distribución, dependen en buena medida de que la caja de mandos de la fertilizadora reciba la velocidad de régimen estandarizada de acuerdo a si es de categoría 1 (540 rpm) o categoría 2 (1000 rpm). Esta tarea debe controlarse cada vez que se produzca una desaceleración y vuelta a colocación en régimen de giro del dispositivo durante el trabajo con la máquina. Para ello es de fundamental importancia el correcto funcionamiento del tacómetro del tractor o de la máquina en el caso de las autopropulsadas.
- 3. Nivelación de la máquina:** prestar especial atención a esta regulación, debido a la estrecha relación entre ella y el patrón de distribución del producto. Deben buscarse el paralelismo en sentido longitudinal y transversal al avance
- 4. Nivelación de altura:** esta es otra de las regulaciones fundamentales para conseguir entrega uniforme del material a aplicar. El fabricante de la máquina, a través del manual de la misma, suele recomendar la altura necesaria para una correcta distribución y alcance, la cual debe variar en acuerdo con la altura del cultivo, según se realice el trabajo durante el barbecho, sobre suelo desnudo o una vez crecido el mismo.
- 5. Determinación de la dosis de aplicación:** La **ecuación** que se utilizará para la calibración de la fertilizadora es la siguiente:

$$\text{kg/ha} = \frac{\text{kg/min} \times 600}{\text{Ancho efectivo (m)} \times \text{Velocidad (km/h)}}$$

- 6. Determinación de la velocidad de avance:** si bien la recomendación de velocidad de trabajo se encuentra en el rango de 6 a 10 km/h, esta debe ser verificada en el campo, debido a la dependencia de la misma con el estado del terreno. Al hacer la corroboración de la velocidad de trabajo es necesario respetar el régimen estandarizado de la Toma Posterior de Potencia. Se medirá sobre el campo una distancia de 100 metros y se determinará con un cronómetro el tiempo en recorrerla, atendiendo que:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Espacio recorrido (m)}}{\text{Tiempo empleado (s)}}$$



Para convertir m/s en km/h, se debe multiplicar por 3,6

- 7. Ajuste del caudal de entrega (kg/min):** de acuerdo a las tablas orientativas que provee la máquina, al tipo de producto y a la cantidad a entregar, se procederá a la apertura de las compuertas de alimentación de la tolva. La información de dosificación del manual de la máquina es solo orientativa y debe ser corroborada cada vez que se cambia de material a aplicar, debido a que con cada partida de fertilizante las propiedades físicas del mismo suelen también modificarse, como así también las condiciones atmosféricas al momento de aplicación. Para realizar esta operación se determina una apertura de la compuerta de entrega, se cubre la máquina con una lona, para recoger el material entregado en un minuto, en condiciones de régimen estandarizado de la Toma Posterior de Potencia y se procede al pesaje del material entregado. Si la cantidad recibida no se corresponde con la de la tabla de la máquina se abrirá o cerrará la compuerta, repitiendo la operación hasta obtener la cantidad deseada. En algunos casos, los diseños permiten la remoción de los elementos de esparcido y la colocación de recipientes a la salida de la máquina que simplifican la operación y disminuyen los riesgos que implica el control con bolsas ubicadas cercanas a los órganos de trabajo. En otros, la máquina cuenta con balanza y computadora que indica para un determinado ancho de trabajo la dosis de aplicación, por lo cual es posible establecer la entrega en kg/ha o el caudal en kg/min por medio de la ecuación utilizada para la calibración, ya que en estos casos normalmente se estima también la velocidad de avance por medio de un sensor de proximidad metal no metal asociado a una de las ruedas de la máquina.
- 8. Cálculo del ancho de trabajo efectivo:** al distribuir el fertilizante por proyección esta máquinas tienen un ancho teórico (mayor) y un ancho

efectivo (menor), con un patrón de distribución cuya regularidad depende de numerosos factores, ya aclarados más arriba, y, por supuesto, de la calidad de diseño de la máquina. Generalmente suele ocurrir una mayor deposición de material cerca del órgano distribuidor, y menor cantidad a medida que nos alejamos de éste. Esta condición de trabajo amerita la necesidad de superponer pasadas sucesivas. El Instituto de Ingeniería Rural del INTA Castelar sugiere tomar como **tolerancia para el solapamiento  $\pm$  el 30 % de la densidad media calculada** (tolerancia basada en la Norma ISO 5690/1 del año 1985. otra Norma que reglamenta el ensayo de calibración de estas máquinas es la ASAE S341.2 del año 1992) El procedimiento es el siguiente:

- sobre una línea perpendicular al paso del tractor ubicar **cajas de 50 cm x 50 cm o bien 25 cm x 100 cm** (1/4 de metro cuadrado, medidas normalizadas), en lo posible contiguas unas a otras, o bien caja por medio, dejando lugar para el pasaje de las ruedas del tractor en el centro de la línea de cajas. Numerar las cajas de izquierda a derecha. En ellas se recogerá el fertilizante distribuido
- en lo posible cubrir las cajas con una malla **de cuadrícula de 5 x 5 cm, hasta 10 x 10 cm**, para evitar el rebote del fertilizante. Se recomienda no tensar la malla. La norma también indica la colocación de un reticulado interior en lugar de la malla, con una altura relacionada a la altura de las cajas utilizadas (Figura 65).
- **realizar varias** pasadas con el tractor, siempre en el mismo sentido (al menos 4 pasadas), hasta verificar la recolección de material en una cantidad tal que permita ser evaluada con la precisión de la balanza con que contemos
- **Pesado del material.** El fertilizante recolectado en cada caja se debe pesar individualmente y los datos se vuelcan en una planilla de cálculo
- calcular el **peso medio**, promediando los pesos de material recolectados en todas las cajas
- establecer **valores de tolerancia mínimos y máximos**: estos valores determinan la cantidad de cajas que pueden ser superpuestas. De acuerdo a las Normas se establece como valor de tolerancia aquel que se aparta en **30% del promedio** de las muestras. Revisamos en la planilla las cajas del lado izquierdo y derecho de la aplicación cuántas cajas tienen un valor entre el rango de la tolerancia. Siempre se debe superponer igual cantidad de cajas del lado derecho que del izquierdo. Si superponemos hasta la tolerancia máxima (más cajas) reduciremos nuestro ancho efectivo pero tendremos una aplicación más uniforme
- el **ancho efectivo** surge de la multiplicación del número de cajas que debemos colocar desde el centro de una pasada del equipo al centro de la otra pasada, multiplicado por el ancho de cada caja (sumaremos los espacios muertos si colocamos una caja por medio). Una vez obtenido este dato, lo incorporamos a la ecuación del punto **5** y se obtiene la dosis por hectárea.





Figura 65. Vista de las cajas normalizadas para la recolección del material con los elementos para impedir el rebote y pérdida de fertilizante

La determinación de la eficiencia de aplicación se debe referir a una medida estadística de dispersión que se denomina **Coefficiente de Variación (Desvío estandar/la media x 100)** y que expresa cuanto se aleja la distribución de la media de la población. La bibliografía internacional recomienda la siguiente escala de Coeficientes de Variación (Tabla 40).

Tabla 49. Calificación del coeficiente de variación para la calibración de fertilizadoras

<b>Ensayos de laboratorio</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Pruebas de campo</b>
<b>0 &lt; CV &lt; 10%</b>	Bueno-muy bueno	0 < CV < 15%
<b>10 &lt; CV &lt; 15%</b>	Aceptable	15 < CV < 25%
<b>&gt; 15%</b>	Malo-a deshechar	> 25%

La metodología desarrollada en los puntos precedentes difícilmente pueda llevarse a cabo a nivel de campo. Habitualmente las fábricas nacionales no ofrecen como equipamiento de la máquina fertilizadora un kit de cajas de calibración del ancho de trabajo efectivo. En algunos casos, se ofrece un equipo básico a costos elevados, siendo escasos los proveedores que lo entregan como un accesorio dentro del costo de adquisición de la fertilizadora. Frecuentemente, no se dispone tampoco de una balanza que brinde adecuada precisión para la pequeñísima cantidad de fertilizante que se recolecta en los extremos de la distribución, haciendo imprecisa la determinación del ancho de cobertura efectivo. En otros, con máquinas de gran ancho de esparcido, se requiere un número elevado de cajas para realizar la calibración.

Por otra parte, resulta conveniente siempre realizar un gráfico con las determinaciones de peso llevadas a cabo para establecer las características del patrón de distribución, que permitan efectuar las regulaciones pertinentes ante la presencia de desuniformidad en la entrega de fertilizante en los distintos sectores.

En función de lo antedicho, existen soluciones de compromiso que permiten solucionar parcialmente los inconvenientes mencionados, ya que lo más importante es que se cuantifique y establezca de manera aunque sea aproximada la forma o patrón de distribución.

En cuanto al número de cajas, de contar con pocos elementos, es conveniente que las mismas se distribuyan uniformemente a izquierda y derecha del pasaje del tractor, dejando al menos una caja en el medio del pasaje entre las ruedas del mismo. Si las mismas no son pocos, pero no alcanzan a cubrir el ancho de cobertura total, se deben colocar mayor cantidad de cajas en la parte central de la distribución, cercana al pasaje del tractor y luego espaciar regularmente las mismas hasta los extremos de la distribución. De esta forma, se podrán detectar los problemas de anormalidad de los patrones de distribución (ni trapezoidal ni triangular).

Si existe reticencia a realizar múltiples pasajes en la misma senda y se cuenta con cajas suficientes, se pueden colocar 4 cajas apareadas en la dirección de avance del conjunto, en la parte central y en la zona de posible superposición de las pasadas. De esta forma, en esos sectores se simula el pasaje del tractor 4 veces, en el mismo sentido. Luego se debe juntar el material recolectado en cada sector (centro por un lado y extremo por otro) y proceder a pesarlo. La cantidad en los extremos debe ser la mitad de lo recolectado en el centro. De ser la cantidad menor, se deberá disminuir el ancho de cobertura y si se supera el 50% se deberá aumentar el ancho al pre-establecido cuando se ubicaron las cajas recolectoras.

En el caso de no contar con balanza de precisión adecuada a la cantidad de fertilizante distribuido, se pueden utilizar tubos tipo "Falcon" (tubos plásticos graduados) con tapa. Los tubos permiten efectuar una medición volumétrica, no tan precisa como la gravimétrica pero lo suficientemente buena como para efectuar una adecuada superposición y determinación del ancho de cobertura efectivo. Resulta conveniente antes de realizar la lectura efectuar en cada tubo un mismo número de golpes (2 o 3) para permitir que el fertilizante se ubique de manera correcta dentro del tubo.

Por otra parte, la tapa permite una vez realizadas las lecturas y las anotaciones correspondientes invertir los tubos, colocar los mismos parados uno al lado del otro y obtener un patrón de distribución gráfico que ayuda a visualizar con claridad la presencia de perfiles indeseados.

Además de la metodología detallada, existen software de uso gratuito que grafican los datos ingresados, establecen la variación del coeficiente de variación en función del ancho de trabajo efectivo y simulan el pasaje del conjunto y la distribución del fertilizante con distinto grado de solapamiento entre pasadas, tanto para el trabajo ida y vuelta (alternado) como en redondo (continuo, girando siempre en las cabeceras en un mismo sentido)

## **Calibración de fertilizadoras para fertilizantes líquidos**

La metodología para la calibración de aplicadoras de fertilizantes líquidos en cobertura es similar a la regulación de pulverizadoras de botalón.

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

### **Aspectos generales**

- **revisión de las boquillas:** todas las boquillas deben ser del mismo tipo y con una adecuado estado de conservación, atendiendo a que la calidad de la aplicación depende, en gran medida, de este aspecto
- **revisión de los filtros:** son responsables de retener partículas que pueden alterar el normal funcionamiento de una determinada parte del circuito. Existen varias instancias de filtrado con filtros de distinta capacidad de filtrado. La capacidad de filtrado se mide en *mesh* (cantidad de filamentos del filtro por pulgada lineal). Pueden existir filtros a nivel de boca de llenado del tanque, a la

salida del mismo (antes de la bomba), en la entrada de alimentación a las secciones del botalón y a nivel de las pastillas de aplicación

- **válvulas antigoteo:** elemento necesario para evitar posibles efectos fitotóxicos del fertilizante y sobredeposiciones en la cabecera del cultivo, que podrían generar un impacto ambiental desfavorable
- **manómetro.** Elemento indispensable de lectura periódica durante la aplicación para corroborar la presión del sistema. Se deben ubicar a la vista del operario para facilitar su lectura. Es recomendable que tenga una escala de lectura que abarque las presiones normales de trabajo, teniendo la mayor sensibilidad en esa zona de lectura. Deberían contar con baño de glicerina para aislar al mecanismo de medición del contacto con el producto y también para amortiguar las oscilaciones de la aguja de medición. Debe contar con llave de corte para que funcione solamente cuando se desee chequear la presión del sistema y así prolongar su vida útil
- **revisar mangueras y conexiones:** para corroborar la ausencia de fugas.

#### Aspectos particulares:

- **control de la presión del botalón:** es necesario verificar si existen variaciones de presión entre la lectura del manómetro y la presión a nivel de las boquillas del botalón (pérdidas de carga). Esta lectura se puede hacer al inicio, al medio y en el extremo del botalón
- **determinación del caudal por boquilla y cálculo de su dispersión en relación al promedio:** con la pulverizadora a la presión de trabajo recomendada por el fabricante de las pastillas, se recoge el líquido en un recipiente graduado durante un minuto (Figura 60). Se debe tener en cuenta que deberían reemplazarse las boquillas cuya desviación, en relación al caudal erogado por una pastilla nueva sea **mayor al 10%**. Si el caudal es menor al 10% que el correspondiente a la pastilla nueva se deberá proceder a la inspección y limpieza de la pastilla o los filtros de la misma. Si el problema afecta a un sector de la máquina corresponde la revisión de los filtros de línea correspondientes. Es recomendable realizar esta determinación solamente con agua dentro del depósito de la pulverizadora para evitar contaminaciones



Figura 66. Evaluación del caudal erogado por las pastillas

- **regulación del espaciamiento entre boquillas:** para una distribución uniforme es necesario que todas las pastillas tengan el mismo distanciamiento en el botalón
- **elección del caudal de aplicación (litros/ha):** de acuerdo a lo indicado en la etiqueta o marbete del producto a aplicar. Puede admitirse una tolerancia máxima del  $\pm 20\%$  entre el caudal recomendado y el obtenido a campo y un **5%** entre el caudal deseado y el efectivo
- **verificación de la altura del botalón:** la altura de la barra pulverizadora es una determinación esencial a la hora de conseguir una aplicación uniforme. La misma depende del tipo de pastilla que se utiliza. Por ejemplo para una pastilla de  $110^\circ$  de apertura se recomienda una altura de 50 a 60 cm. Si el ángulo es de  $80^\circ$ , la altura recomendada debería ser entre 70 a 90 cm. Si la altura es mayor a la recomendada, se favorece la deriva del producto. Si la altura es menor, se reduce el solapamiento de cada pastilla, cuando éstas lo ameritan, dejando zonas sin tratar
- **determinación de la velocidad de trabajo:** la mayoría de las pulverizadoras guardan estrecha relación entre la velocidad y el volumen de aplicación. Esto hace necesaria la determinación precisa de la velocidad de desplazamiento del implemento. Para la misma seguir el procedimiento señalado en el punto 6 de la calibración de fertilizadoras centrífugas.
- **cálculo del volumen real aplicado:** para este cálculo se puede proceder de la siguiente manera:
  1. Se llena el depósito de la máquina con agua
  2. Se mide en el campo una distancia tal que multiplicada por el ancho de cobertura de la pulverizadora determine una superficie de  $1000 \text{ m}^2$
  3. Se pulveriza la zona marcada a la velocidad de trabajo seleccionada
  4. Una vez recorrida la distancia establecida, se procede a reponer el agua gastada hasta el nivel de partida. El volumen de agua gastado multiplicado por 10, determina el volumen por hectárea que se está aplicando
- la **ecuación** que se puede aplicar para facilitar la regulación de la máquina es la siguiente:

$$\text{litros/ha} = \frac{\text{litros/min} \times 600}{\text{Distanciamiento entre boquillas (m)} \times \text{Velocidad (km/h)}}$$

O bien:

$$\text{litros/min} = \frac{\text{litros/ha} \times \text{Distanc. entre boquillas (m)} \times \text{Veloc. (km/h)}}{600}$$

Si las aplicaciones son en fajas, la única diferencia metodológica en el procedimiento radica en el reemplazo del valor de la distancia entre boquillas por el de la anchura de la faja pulverizada (m)

## TRÁFICO AGRÍCOLA Y COMPACTACIÓN DE SUELOS

***Ing. Agr. Roberto Balbuena; Ing. Agr. Matilde Mur***

La producción agropecuaria, así también como la explotación forestal ha incorporado como una parte fundamental de la actividad los procesos de moto mecanización. Esta tendencia, creciente en los últimos 60 años, ha tenido últimamente profundos cambios, acompañando a procesos de intensificación de la producción, tanto en los cultivos extensivos como intensivos.

Uno de ellos, lo constituye sin lugar a dudas la presencia de nuevos actores, los prestadores de servicios, prácticamente en la totalidad de las tareas agropecuarias. La Argentina, desde hace muchos años, incorporó a los contratistas de cosecha como los responsables de la recolección de granos, por los altos costos de adquisición de las máquinas. Sin embargo, los grandes productores con capacidad económica y financiera realizaban las tareas de cosecha con máquinas propias, tratando de disminuir los costos que siempre implicó la pérdida de la oportunidad de labor una vez que el cultivo se encontraba en el rango de humedad óptimo para la recolección. Pese a ello, los cambios acontecidos en el uso y tenencia de la tierra fueron haciendo que la superficie cosechada por los contratistas sea cada vez mayor, superando en la actualidad el 90%. Como consecuencia de ello, la rentabilidad de la operación de cosecha se basa en ofrecer un servicio accesible para todas las categorías y tipos de productores, tomando la mayor cantidad de hectáreas posibles, aumentando la ganancia a través de un aumento de escala en la prestación del servicio. Esto no implica desconocer que una parte de los contratistas también establece la toma de superficie productiva bajo la forma de arrendamiento, alquiler o a porcentaje con el dueño de la tierra.

En función de lo expuesto, quien ofrece el servicio debe contar con una alta capacidad de trabajo. Es también conocido que la capacidad de trabajo de las máquinas con desplazamiento es el producto del ancho de trabajo y la velocidad de desplazamiento. Por otra parte, la velocidad de trabajo de las máquinas se encuentra limitada en muchas operaciones por la disminución de la eficiencia de la labor en términos de calidad de trabajo desde el punto de vista agronómico tanto como de pérdidas en el plano económico, ya sea directas o indirectas. En algunos casos, la limitante surge como consecuencia de la capacidad de procesamiento de las máquinas, como ocurre tanto en las cosechadoras de forrajes y de granos. En otros, las pérdidas de granos que se ocasionan con el aumento de la velocidad de trabajo a nivel de plataforma son de tal magnitud que la única manera de aumentar la capacidad de trabajo es a través del ancho de trabajo de la máquina cosechadora, aumentar la capacidad de procesamiento y de almacenamiento temporario, lo cual conlleva un aumento del peso de las máquinas.

Este proceso, de incremento del contratismo, delegación de las tareas agrícolas a terceros, aumento de la capacidad de trabajo, aumento del ancho de labor, no queda limitado a las tareas de cosecha, sino que ha sumado a labores de roturación, la descompactación de suelos, aplicación de productos para la defensa y cuidado de cultivos, pulverizadoras y fertilizadoras, siembra de cultivos y cosecha de plantas forrajeras. Dentro de este contexto, la extracción de la producción del campo por medio de acoplados y tolvas de gran capacidad constituyen el último eslabón de una cadena de acciones que permiten hipotetizar la insuficiencia de la respuesta de los sistemas biológicos ante los niveles de agresión a la que se somete al suelo y un compromiso serio hacia la fertilidad física del recurso. Tal es así que tareas que

tradicionalmente constituían trabajos de bajo esfuerzo de tracción, resueltas con tractores de escasa potencia y poco peso, hoy encuentran dificultades para la conformación de conjuntos. Los problemas para la sustentabilidad del suelo y el mantenimiento de una condición física que atienda a proveer una adecuada estructura para el desarrollo radical, provisión de agua y mantenimiento de una tasa de difusión de oxígeno suficientes para no limitar el rendimiento de los cultivos, se han ido incrementado como consecuencia de la dinámica de procesos descripta someramente en los párrafos anteriores.

A ello se suma en la Argentina, la creciente adopción del sistema de siembra directa, la disminución notable de roturación del suelo, la ausencia de rotaciones y la prevalencia de monocultivo de soja, en detrimento de la incorporación de cereales de invierno y verano, la existencia de sistemas mixtos agrícolas - ganaderos, la implantación de praderas y el uso de cultivos de cobertura.

Esta tendencia no se limita a la República Argentina sino que, en menor medida, se menciona en numerosos reportes de Europa y Estados Unidos. Por lo tanto, se ha producido un aumento de la potencia de los tractores y máquinas agrícolas autopropulsadas y asociado al mismo, junto a la mayor demanda de esfuerzo de tracción de las máquinas de mayor ancho de trabajo, un significativo aumento del peso.

A modo de ejemplo puede citarse que en el período 1980-1990, 30 años atrás, la potencia media de los tractores se ubicaba alrededor de los 100 CV, con una relación peso/potencia de 35 a 50 kg/CV para la condición sin lastre y con lastre respectivamente. Por lo tanto los tractores pesaban entre 3500 kg y 5000 kg. Los tractores en la actualidad en cambio tienen una potencia media para el trabajo con máquinas sembradoras de gran ancho de labor superior a los 200 CV, los cuales manteniendo las mismas relaciones peso/potencia alcanzan un peso total mayor a los 10000 kg en algunos casos, llegando a los 15000 cuando se acercan a los 300 CV.

También se ha producido en los últimos años una fuerte intensificación de la producción agropecuaria, tratando de aumentar el número de cultivos por ciclo productivo y un desplazamiento de la producción de ganado fuera de las áreas de mayor potencial productivo. Además, la expansión de la frontera productiva lleva consigo la introducción de procesos de mecanización a ambientes naturalmente frágiles.

Esto significa un importante tráfico anual y variable, en intensidad, de acuerdo al sistema productivo que se trate. La cantidad de tránsito anual sobre un suelo productivo, puede expresarse en términos de Intensidad de Tráfico (IT), cuya expresión más frecuente es en ton x km /ha. Es decir: la masa del tractor más la máquina que lleve, multiplicada por la distancia lineal (km) que debe recorrer dentro del cuadro trabajado, para hacer una hectárea del trabajo que corresponda.

La intensidad de tráfico sobre el terreno es muy variable y estrechamente relacionada con la intensidad de la producción. Por lo expuesto, tanto el número de pasajes sobre el suelo, como la masa de los vehículos y máquinas agrícolas inciden sobre el suelo agrícola, causando modificaciones en su estructura, que habitualmente afectan su fertilidad física. Las peores consecuencias del incremento de la intensidad de tránsito ocurre, por supuesto, cuando ambos factores son elevados, ya que habrá una mayor superficie del suelo que estará sometida a mayores cargas, que afectarán a un mayor volumen de suelo, puesto que los procesos de degradación física del suelo se manifestarán a mayores profundidades en el perfil.

Como resumen de lo analizado en los párrafos puede aseverarse que los requerimientos de incrementos en la productividad que permitan la producción de alimentos a costos razonables implican entre otros factores:



- El incremento en la potencia y tamaño de los tractores, pulverizadoras, sembradoras, fertilizadoras y carros para transporte de lo cosechado.
- El incremento de las zonas agrícolas y la reducción de los períodos de rotación y descanso.
- un aumento en el tamaño de las explotaciones
- Mayor susceptibilidad a la degradación de las condiciones físicas

### **Compactación del suelo bajo tráfico**

El problema de la compactación de los suelos es una de las temáticas de la relación suelo – máquinas que más ha sido estudiada en las últimas tres décadas. Sin embargo, la misma ha sido desatendida por mucho tiempo. Las razones de la escasa importancia que se le ha dado en el medio productivo, se vincula en parte con las características de los sistemas productivos y su evolución.

Durante la prevalencia de los sistemas de labranza tradicionales o convencionales, con intensa roturación del suelo, la potencia, peso y capacidad de trabajo de las máquinas utilizadas eran reducidas y por lo tanto, los efectos del tránsito que afectaban al recurso suelo se limitaban principalmente a los estratos superficiales.

Cuando a mediados de la década del 90´comenzó la adopción de la siembra también se produjo el cambio gradual de tenencia de la tierra, disminución del número de productores y aumento del contratismo, a la vez del incremento mencionado de potencia y peso de los vehículos. En estas condiciones, tampoco se visualizaron con claridad los procesos de compactación asociados al tránsito de tractores y máquinas agrícolas. La ausencia de remoción enmascaró en parte el aumento de la masificación del suelo en distintos estratos y los beneficios del sistema de siembra directa, por mantenimiento de adecuados niveles de cobertura atemperaron los efectos nocivos del tránsito. Sin embargo, el paso del tiempo, la acumulación de los efectos a nivel subsuperficial, la disminución de las rotaciones agrícolas y la disminución de la producción pecuaria, terminaron dejando al descubierto el detrimento de la producción agrícola como consecuencia de la compactación del suelo. Esto conlleva a una preocupación creciente de productores, técnicos, profesionales e investigadores en relación con los procesos de compactación de suelos, tanto en sistemas de labranza convencional como en los más ampliamente generalizados de siembra directa de cultivos.

Existe consenso que los problemas de compactación resultan de difícil solución desde el punto de vista ingenieril, ya que una vez producido los mismos son complejos y la mayoría de las veces con consecuencias negativas sobre múltiples aspectos. Por lo tanto, las propuestas de solución deben integrar tanto acciones mecánicas como biológicas que frecuentemente desde la óptica económica pueden resultar inviables o de difícil implementación. En ese contexto, su conocimiento y prevención son las principales herramientas de lucha con que cuentan los productores agropecuarios.

Sin embargo, el problema de la compactación de suelos no es visualizado muchas veces a nivel productivo y menos aún comprendido. Para todos resulta claro que la presencia de huellas en el campo, producto del tránsito de cosecha se asocia a una compactación del suelo a nivel superficial. No obstante, son pocos quienes se preocupan más allá de la necesidad de roturar superficialmente el predio con rastras de discos y solucionar los problemas de nivelación del terreno que atentan contra un adecuado desempeño de las máquinas sembradoras y la correcta implantación de los cultivos. Seguramente, el problema de compactación se prolonga hacia el subsuelo a mayores profundidades cuanto mayor haya sido la carga aplicada, pero el mismo no se ve ni se manifiesta claramente si no se realiza una calicata o se descubre el suelo para ver el crecimiento radical.

El caso planteado, extremo en cuanto a sus consecuencias y visibilidad, dista mucho de ser el único tipo de evento y, peor aún, muchos de las labores mecanizadas causan en inadecuadas condiciones de tráfico problemas tanto a nivel superficial como subsuperficial, sin dejar "huellas" visibles del daño producido.

Entre las razones que dificultan su prevención y entendimiento está el hecho que las características del suelo que aportan a una buena traficabilidad, en general son exactamente **opuestas** a las que contribuyen a la capacidad productiva y la fertilidad física del mismo. Para aclarar lo antedicho es posible analizar la siembra de cultivos. Las plantas necesitan para la germinación, emergencia y desarrollo radicular y radical un suelo húmedo y preferentemente no compactado. Para ello se labra antiguamente y en la actualidad se trabaja intensamente la línea de siembra con cuchillas onduladas. No obstante la solución alcanzada parcialmente a nivel superficial para la implantación de los cultivos, no ocurre lo mismo con respecto a la humedad ya que es imposible efectuar la labor en condiciones de escasa humedad puesto que no se cubrirían los requerimientos de la semilla. Por lo tanto, se deberán prioritar los aspectos vinculados al cultivo en detrimento de aquellos que atentan contra el tránsito, la eficiencia tractiva y la compactación del suelo.

Por lo expuesto, es que resulta importante encontrar una solución de compromiso entre eficiencia en trabajos de tracción, tratamiento mecánico del suelo y sustentabilidad del recurso, con las actuales intensidades de tráfico y masa de los vehículos y máquinas agrícolas.

Como resultado de los repetidos pasajes sobre el terreno, el suelo se compacta rápidamente cuando la estructura del mismo es debilitada por la labranza o la excesiva humedad. La labranza destruye la estructura y el tráfico subsiguiente rápidamente recompacta el suelo, incluso a valores superiores a los niveles de compactación anteriores al laboreo mecánico. El primer pasaje, de los repetidos que se hacen sobre la misma senda luego de la labranza, es el más crítico por tomar al suelo en una situación de altísima compactabilidad.

### Compactación de los suelos bajo tráfico

La **compactación** es un proceso inducido por el tráfico vehicular principalmente. Se dice que un suelo está compactado cuando ha roto el equilibrio entre las unidades estructurales, la estabilidad de las mismas, los poros, las grietas y las fisuras. Esa rotura del equilibrio en el perfil no permite asegurar un rápido drenaje, ni una adecuada aireación, ni tampoco un contenido de humedad suficiente para garantizar el crecimiento de los cultivos.

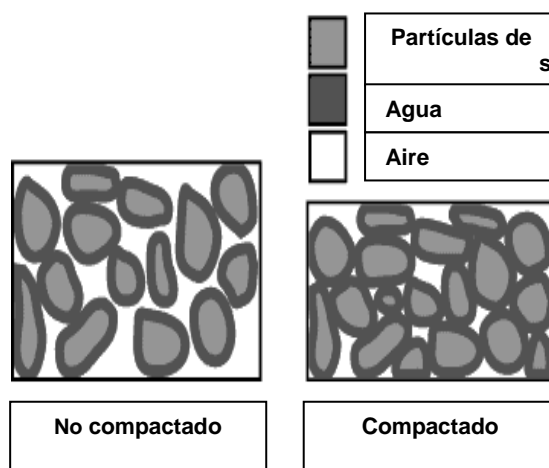


Figura 67. Esquema de 2 condiciones de suelo

En los procesos de compactación por tráfico se desequilibra la matriz porosa del suelo (Figura 67), incrementándose la proporción de microporos a expensas de la destrucción de los macro y mesoporos (ver Figura 67 y Tabla 50), con la consecuente afectación de diversas propiedades, tal como se visualiza en el esquema de la figura 68.

Tabla 50. Clasificación de poros del suelo y su función.

Tipo	Tamaño (micras)	Tensión (atm)	Función
<b>Macroporos</b>	> 60	0.05	Aireación; Infiltración; Conductividad Saturada
<b>Mesoporos</b>	60 – 10	0.05 -- 0.33	Conducción lenta
<b>Microporos</b>	10 – 0,2	0.33 – 15	Almacenaje
<b>Microporos</b>	< 0,2	< 15	Agua no disponible

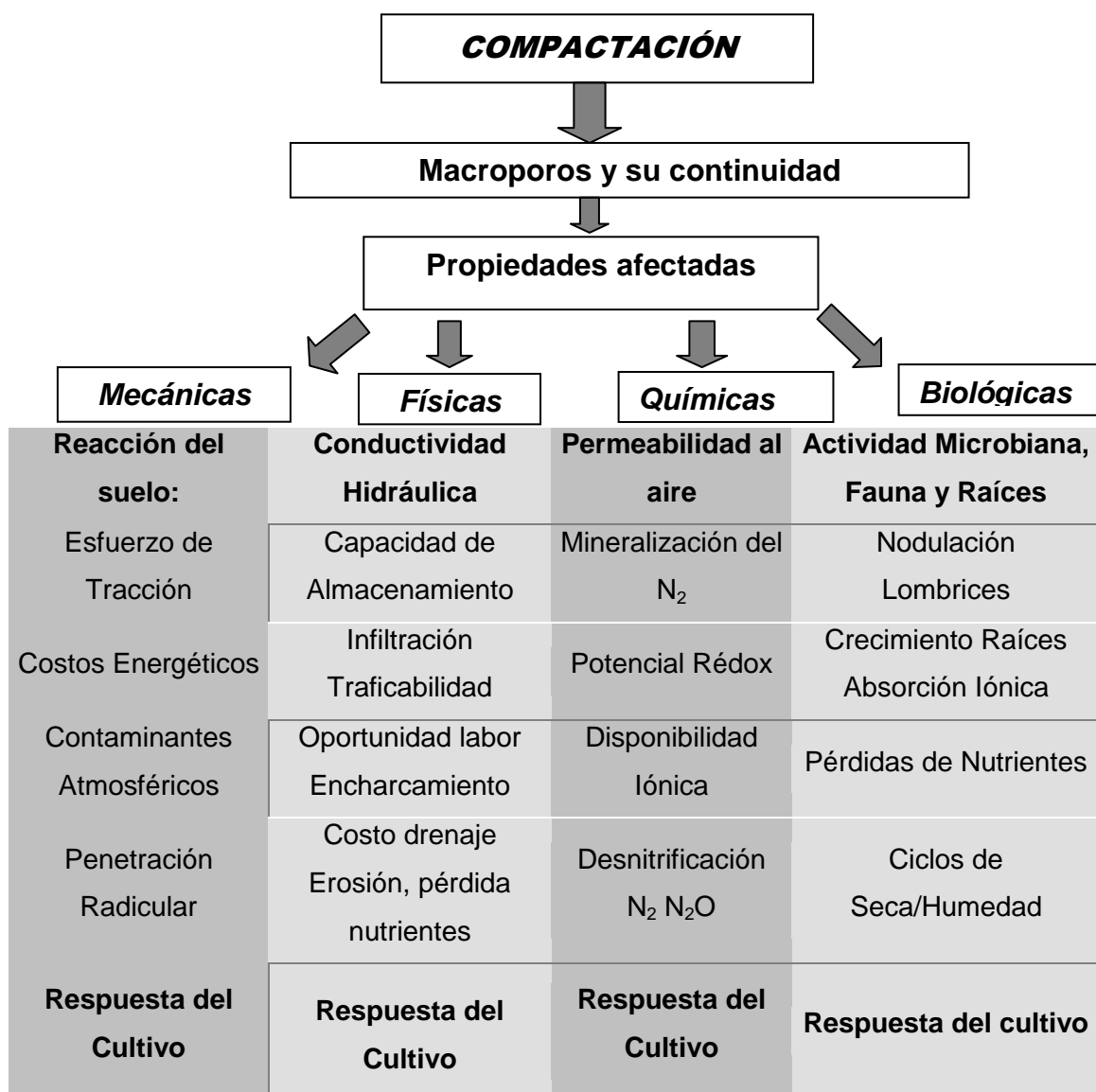


Figura 68. Efecto de la compactación del suelo (tomado de Jorajuría, 2005)

## **Compactación Superficial y Subsuperficial del suelo**

Tan importante como su comprensión, resulta la diferenciación de los procesos y factores que inciden sobre la generación de compactación en distintos estratos del suelo. En el medio productivo, se tiene la percepción que los procesos de compactación prácticamente se controlan con una adecuada dotación de neumáticos de los tractores y máquinas agrícolas, como así también disminuyendo el tráfico durante los períodos y estados de mayor susceptibilidad. Ambos aspectos son importantes en la reducción de la compactación del suelo, pero su prevención no debe ni puede limitarse a dichas soluciones.

### **Compactación superficial del suelo**

La compactación del suelo a nivel de los primeros centímetros del mismo depende principalmente de la presión en el área de contacto rueda/suelo. Esto implica que tanto el aumento del ancho como del diámetro de los neumáticos utilizados permite aumentar el área de contacto, por lo cual se disminuye la presión y por lo tanto la compactación en el estrato superficial. Por supuesto que también será determinante la masa del tractor, trabajar con una adecuada presión de inflado y el número de pasadas sobre una misma huella. Desde el punto de vista del suelo, el tipo y estado del terreno, tanto en su capacidad portante, estado de pre – compresión y humedad. Sin embargo, estas variables son poco manejables a nivel de producción y muchas veces la propia labor, desde el punto de vista agronómico requiere de un estado de humedad y precompactación que favorece los procesos de compactación.

### **Compactación subsuperficial del suelo**

Está ampliamente demostrado que la compactación de los estratos más profundos se produce principalmente como consecuencia de la masa de los tractores y máquinas agrícolas, de manera casi independiente de la superficie de contacto rueda/suelo. Cuando la masa/eje supera 4 a 6 Tn., según diferentes autores, se producen procesos de compactación subsuperficial en un solo pasaje del tractor, los cuales suelen ser acumulativos en las condiciones imperantes en la llanura pampeana. Por supuesto que también inciden trabajar con una adecuada presión de inflado y el número de pasadas sobre una misma huella. Desde el punto de vista del suelo, el tipo y estado del terreno, tanto en su capacidad portante, estado de pre – compresión y humedad.

La profundidad a la cual se produce mayormente la compactación dependerá de la relación entre los distintos factores durante el momento del tráfico sobre el suelo, pero la misma alcanza habitualmente profundidades variables entre 0,3 y 0,5 m, tanto en sistemas de laboreo convencional como en planteos de siembra directa.

Estos problemas de compactación subsuperficial son siempre menos visibles para el productor y tanto más riesgosos en el largo plazo, como así también más difícil y costosa su eventual solución.

## **Parámetros utilizados para la cuantificación de la compactación**

### **Resistencia a la penetración**

El dato que más utilizado para estimar el estado mecánico del suelo, es la resistencia a la penetración. Indica la presión necesaria para penetrar un suelo y puede obtenerse con un penetrómetro de cono (Figura 69), dispositivo de fácil operación, que permite hacer muchas determinaciones en poco tiempo, lo cual posibilita compensar la

muy alta variabilidad que los suelos agrícolas tienen respecto a este parámetro, y permite relevar datos hasta profundidades importantes (Tabla 51).

Hay muchos factores que tienen incidencia en los valores de resistencia a la penetración obtenidos y quizás el más relevante sea el porcentaje de humedad presente en el suelo, por lo tanto para poder comparar datos es importante expresar la humedad presente al momento de la determinación de la resistencia a la penetración.

Tabla 51. Clases de suelo en relación a valores de resistencia a la penetración



Clase de suelo	RP (kPa)	Condiciones mecánicas
<b>0</b>	> 2000	Sin huellas visibles. Pastura vieja muy seca. <i>Posible detención del desarrollo radicular</i>
<b>I</b>	900 - 1800	Sin problemas de tracción. Rastrojo seco del año anterior. <i>Limitaciones para el óptimo desarrollo radicular</i>
<b>II</b>	450 - 900	Condiciones pobres de tracción. Rastrojo blando o tierra consolidada suelta
<b>III</b>	200 - 450	Marginal para el tránsito, huellas muy profundas. Suelo recién labrado.

Figura 69. Penetrómetro de cono

Las especies vegetales tienen diferentes capacidades para penetrar el suelo con alta resistencia. Como datos indicadores de las posibilidades de exploración de las raíces, valores cercanos a 1 MPa aparecen como potenciales limitantes del crecimiento satisfactorio. Cuando la resistencia mecánica alcanza 1,5 MPa el crecimiento radical es más lento, mientras que al superar valores de 2 a 2,5 MPa el mismo se detiene. Alta resistencia a la penetración también reduce la emergencia de las plántulas. Se han encontrado reducciones importantes en la emergencia de trigo con valores de RP algo superiores a 1,2 MPa.

Como ya se ha dicho, óptimas condiciones para el tráfico de las máquinas no son las mejores para garantizar el mejor desarrollo de los cultivos. A modo de resumen, en la Tabla 51 se dan valores orientativos de resistencia a la penetración en diferentes condiciones de suelo y sus implicancias.

La compactación puede alterar el desarrollo radicular al incrementar la impedancia mecánica, alterar el volumen y la configuración del espacio poroso o crear ambientes de humedades propicias para el desarrollo de enfermedades. El incremento en la impedancia mecánica del suelo también acarrea alteraciones en el normal crecimiento de diferentes cultivos, tanto en la parte aérea como en la subterránea de los mismos.

### Densidad aparente

Otro de los parámetros cuantificadores del estado físico del suelo es la **densidad**. En el suelo, como en cualquier otro cuerpo físico, la densidad se define

como la relación entre una masa y el volumen que ella ocupa. Ahora bien, dado el carácter poroso del suelo, conviene distinguir entre la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los poros, por ello se definen dos tipos de densidad.

**Densidad real:** Se designa de esta forma a la densidad de la fase sólida. Es un valor muy estable, pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico. Muy semejante es la de los minerales más abundantes en las arenas, como cuarzo, feldespatos, etc. Los carbonatos presentan una densidad algo menor así como la materia orgánica, que puede llegar a valores de 0.1.

**Densidad aparente:** Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, que incluye tanto la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla, debe tomarse un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado.

El término compactación puede definirse también como la compresión de una masa de suelo en un volumen menor, o la disminución del volumen del suelo a expensas de su espacio poroso (Taboada, 2002). A diferencia de la consolidación, la compactación es el resultado de tensiones generadas por el peso de los vehículos que transitan sobre el suelo, las vibraciones originadas y el patinamiento activo de las ruedas motrices (Adebiyi y col. 1991).

Diversos autores utilizan la medición de los valores de densidad del suelo para caracterizar la restricción al crecimiento de raíces por compactación. Para cada suelo considerado existe un valor crítico de densidad, a partir del cual la resistencia se torna tan elevada que virtualmente impide la penetración de raíces. Los valores críticos de densidad del suelo propuestos por Reinert y col. (2001) son aproximadamente 1,45 t/m<sup>3</sup> para suelos con horizonte de textura arcillosa (más de 55 % de arcilla), 1,55 t/m<sup>3</sup> para suelos con horizonte de textura media (arcilla entre 20 y 55 %) y 1,65 t/m<sup>3</sup> para suelos con textura arenosa (menos de 20 % de arcilla). Otras fuentes citan, para suelos limosos a franco limosos, el valor de 1.55 t/m<sup>3</sup> como límite de densidad aparente por encima del cual se observan restricciones en el crecimiento radical (Logsdon y col. 2004). Giardinieri y col. (2004) reportan curvaturas de la raíz de soja con densidades de 1,70 t/m<sup>3</sup> y una disminución de peso seco de raíces en un 56,76%.

### **Determinación de la densidad aparente**

Si bien para la densidad real pueden tomarse valores promedio sin que el error sea excesivamente significativo, la densidad aparente es importante medirla en cada caso por su mayor variabilidad. Puede obtenerse por métodos directos e indirectos.



*Figura 70. Determinación de densidad con cilindros*



**Métodos directos:** Método del cilindro (Figura 70): consiste en tomar un volumen fijo de suelo sin perturbar y pesarlo una vez seco, por calentamiento a 105° C hasta peso constante. Para ello se suele utilizar un cilindro metálico con un volumen conocido.

Una vez lleno y enrasado en ambos extremos, se extrae el suelo contenido, cuyo volumen corresponde con el del cilindro, se seca y se pesa. La densidad queda determinada por la relación entre el peso obtenido y el volumen correspondiente.

**Método indirecto:** medición indirecta de la densidad aparente por atenuación de rayos gamma, utilizando una sonda nuclear, que suele también hacer la evaluación de la humedad presente del perfil por retrodispersión de neutrones emitida por la misma fuente radiactiva. Luego el propio equipo calcula la densidad aparente en seco. (Erbach, 1987) (Figuras 71 y 72).

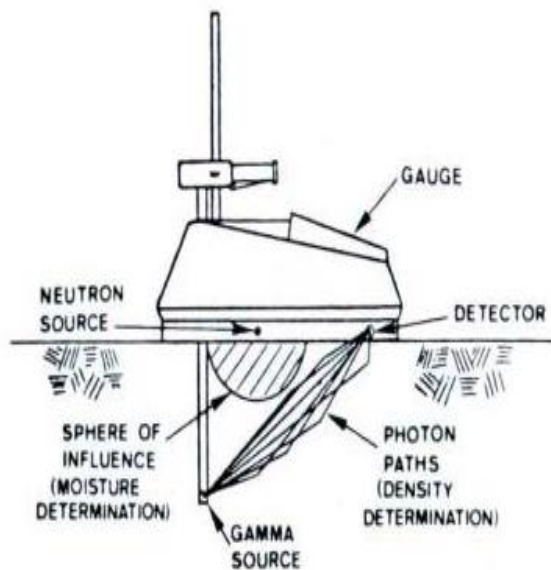


Figura 71. Sonda de neutrones



Figura 72. Determinación de densidad en profundidad

### **Efectos de la compactación sobre el flujo de agua, gases, disponibilidad del nitrógeno y emisión de NO<sub>2</sub> en la matriz del suelo**

El suelo agrícola es un sustrato formado por tres fases: líquida, sólida y gaseosa, en una proporción aproximada del 50%, 25% y 25%, respectivamente. Los cambios causados a la matriz de poros del suelo (incremento de la proporción de microporos en detrimento de poros mayores) por el efecto de la aplicación de fuerzas externas, pueden ocasionar, entre otros problemas, alteraciones en el transporte de líquidos y gases, volatilización de estos últimos junto con problemas en el transporte, inmovilización y extracción de nutrientes, como, por ejemplo en la mineralización o desmineralización del nitrógeno. Los efectos de la compactación del suelo sobre el movimiento y redistribución del agua en el perfil son debidos principalmente a los cambios en sus propiedades hidráulicas e indirectamente por las influencias del estado de aireación y resistencia mecánica relacionados al crecimiento y alcance de las raíces (Figura 73). La disminución en la disponibilidad de oxígeno puede acarrear, en casos extremos, asfixia a nivel celular, perdiendo funcionalidad las raíces y provocando decaimiento de las plantas.

En cuanto a la capacidad de infiltración de un suelo, además de la clase textural a la que pertenezca el mismo, el uso y el manejo cultural del lote son los factores que mayor influencia tienen sobre la tasa de infiltración. Alakukku (1996), reporta reducciones significativas en la conductividad hidráulica producto de la compactación del suelo en la huella efectuada por los vehículos, en comparación con las de las áreas no disturbadas, lo cual fue asociado con un incremento de la densidad aparente y un decrecimiento de la macroporosidad.

Distintos autores enuncian que, en ciertos casos, las alteraciones en el rendimiento y calidad de los productos no se producirían por el efecto directo de la impedancia mecánica originada por el tránsito sino, por los efectos secundarios que de ella derivan. Es decir, la alteración de la matriz de poros del suelo traería condiciones de acumulación de humedad en el perfil, originando un ambiente de saturación y una disminución de la capacidad de intercambio gaseoso de ese suelo, que se traduciría, por ejemplo, en interrupciones del ciclo del nitrógeno, condiciones de hipoxia y un ambiente propicio para la proliferación de diversas enfermedades que obedecen a diferentes orígenes (fúngicas, bacteriales y virales). Esta situación predispondría también a la aparición de diversas plagas de insectos. Lo anteriormente expresado, señala una clara diferencia entre el alcance de los efectos de la compactación en referencia a si se trata de cultivos conducidos al aire libre o en ambientes protegidos.

El nitrógeno es un elemento esencial para el proceso de fotosíntesis y su carencia puede tornar clorótica a la planta y reducir su crecimiento. Diversos pueden ser los motivos que causen una alteración en la disponibilidad del nitrógeno. Una drástica reducción en el volumen de poros del suelo, luego de un evento de compactación, puede incrementar la aparición de condiciones de anaerobiosis, en la medida que dichos poros sean ocupados por agua. La situación anteriormente planteada es propicia para afectar o modificar la mineralización del nitrógeno. Además, la falta de oxígeno puede incrementar la actividad de un grupo de microorganismos anaeróbicos que ocasionan pérdida de nitrógeno por desnitrificación. De hecho, la evaluación de valores altos de nitritos en el suelo es usado como indicador de sobrecompactaciones que provocan baja difusión de oxígeno y por ende una insuficiente oxidación del nitrógeno. Los nitritos, no pueden ser absorbidos por las plantas y en estas condiciones es probable encontrar deficiencias de nitrógeno. Existe evidencia suficiente como para considerar que la compactación reduce el aprovechamiento del nitrógeno aportado por medio de fertilizantes nitrogenados, lo cual eleva los costos de producción e incrementa los riesgos de contaminación de napas freáticas por las sobredosis aplicadas.

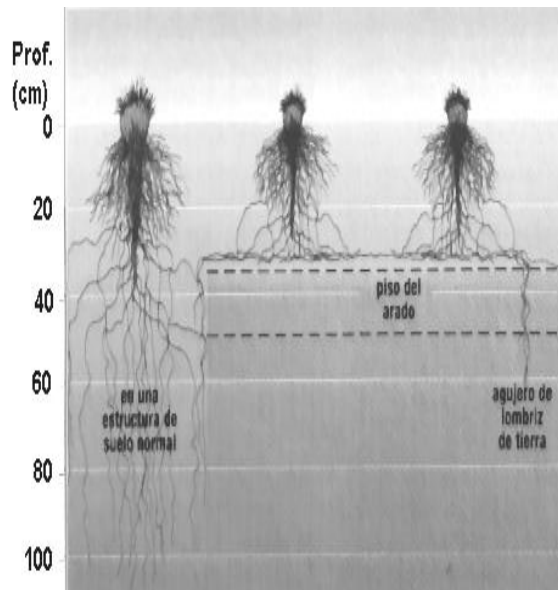
### **Visualización de problemas en suelos compactados**

Tal vez, a nivel de producción, el crecimiento radical, la exploración de los distintos estratos del suelo por las raíces, constituya el método de diagnóstico y visualización de procesos de compactación en el perfil cultural.

Por otra parte, para la misma solamente se requiere de una pala, un cuchillo y agua. La realización de una mínima calicata, el desprendimiento de agregados de la pared "fratachada" por la pala con el cuchillo y su humectación posterior, permite oscurecer el suelo y ver con facilidad las raíces del cultivo, identificando su presencia, características y continuidad. Para ello, no se requiere de instrumental sofisticado, costoso, sino por el contrario solamente un poco de voluntad de trabajo y habilidad, con la ventaja adicional de evaluar los órganos de la planta que efectivamente interactúan y son afectados por el estado físico del suelo.



*Encharcamientos*



*Crecimiento diferencial de las raíces*

*Figura 73. Problemas de anegamiento y crecimiento radical*

### **Consejos útiles para evitar la sobrecompactación**

- **Adecuada dotación de cubiertas:** Usar las cubiertas de mayor tamaño o bien duales redundará en una menor compactación superficial.
- **Manejo de peso y presiones de inflado:** Quitar los lastres o contrapesos en aquellas labores de bajo esfuerzo de tiro. Allí son innecesarios pues no habrá un importante patinamiento. Evitaremos así incrementar las pérdidas en el autotransporte del propio tractor y minimizaremos la compactación. Controlar presiones de inflado para alcanzar una adecuada superficie de apoyo.
- **Control del tráfico:** Planificar las tareas de forma de mantenernos dentro del mínimo de pasadas que el cultivo demande.
- **Descargas en cosecha:** La cosecha implica el retiro del predio de mucho peso en productos. Situar el carro que lo transportará en un borde del cuadro de producción, llevando lo cosechado hasta allí, puede minimizar el pasaje de uno de los conjuntos más pesados.
- **Combinación de labores:** Si en un pasaje del tractor resuelvo dos operaciones, tendré las ventajas provenientes de una pasada menos.
- **Limitantes al peso por eje:** Valores de peso por eje que debieran respetarse:
  - Hakannsson 1988 5 toneladas
  - Botta 1998 para Argentina 4 toneladas en el eje trasero.
- **Equipos doble tracción de ruedas iguales trabajando sobre la misma huella:** Significaría el uso de tractores del tipo articulados.
- **Evitar el tráfico cuando la humedad es alta:** Es la principal herramienta a manos del responsable del manejo del suelo.
- **Aprovechamiento de la potencia mediante elementos mecánicos a la toma de potencia en lugar de solamente el tiro:** Siempre que la máquina utilizada pueda evitar tomar movimiento del suelo para asistencia de sus

órganos activos, pues habrá un beneficio en la menor necesidad de peso del tractor.

- **Armonización de equipos. Incremento de las velocidades de trabajo en lugar de anchos con grandes demandas de esfuerzo:** Siempre existe la coyuntura de hacer trabajos de tracción con equipos de mucho ancho de labor, que obligarán a contrapesar mucho el tractor para evitar altos patinamientos, o bien usar equipos reducidos en su ancho de labor, que demandarán menos esfuerzo de tracción, pero seguramente puedan usar la potencia del tractor dándoles una mayor velocidad de avance, si la misma no afecta la eficiencia, calidad de la labor.

## DESCOMPACTACIÓN SUB-SUPERFICIAL

***Ing Agr. Roberto Balbuena, Ing. Agr. Matilde Mur***

En los suelos bajo producción existen diversos procesos que se presentan como factores atenuantes de los efectos de la compactación. Entre los mismos se mencionan procesos de auto-estructuración del perfil, tales como ciclos de humectación-desección, congelamiento- descongelamiento, actividad biológica, generación de poros por acción de las raíces. A ellos, se suman las estrategias de rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica, la planificación de las labores mecanizadas y el uso de descompactadores. Algunos de los factores "naturales" no se presentan en muchas regiones, por lo que en esas situaciones, de existir problemas de compactación, la descompactación mecánica, se constituye en una de las principales alternativas.

Las características inherentes a la labor de descompactación a nivel subsuperficial, han determinado que la totalidad de los implementos utilizados estén equipados con arcos rígidos. Los equipos destinados a la descompactación de suelos pueden clasificarse en implementos con montantes rectos e implementos con montantes inclinados. Los primeros reciben la denominación de escarificadores rígidos y subsoladores. Aquellos de montantes inclinados se los conocen, generalmente, por la marca o nombre comercial de mayor difusión. Por ejemplo, los de montantes inclinados de lámina recta se denominan vulgarmente paraplow y paratill, mientras que los de lámina curva se los reconoce como cultivie, eoltier, siendo todas ellas marcas registradas. Últimamente, se ha generalizado para la mayoría de ellos la identificación de los mismos como "paratill". En los últimos años, se han introducido también escardillos subsuperficiales para las tareas de descompactación, aunque en nuestro país todavía no están difundidos más que a nivel experimental.

Los descompactadores son máquinas agrícolas de sencilla construcción y operación. Sus órganos activos son de formas simples que habitualmente presentan simetría lateral o, en caso contrario, se disponen de forma tal que el conjunto de órganos activos presentan simetría en su configuración, lo que implica que no se generen componentes laterales sobre el implemento que dificulten el desplazamiento rectilíneo del mismo. Estos aspectos resultan en una facilidad de regulación y trabajo que es reconocida a nivel técnico y productivo. Pese a ello, los principios de trabajo y roturación del suelo de los escarificadores que deben usarse en procesos de descompactación de suelos no son habitualmente conocidos o comprendidos. Esto conlleva no solamente la posibilidad de realizar un trabajo ineficiente desde el punto de vista energético, sino también que la labor no genere los efectos agronómicos buscados.

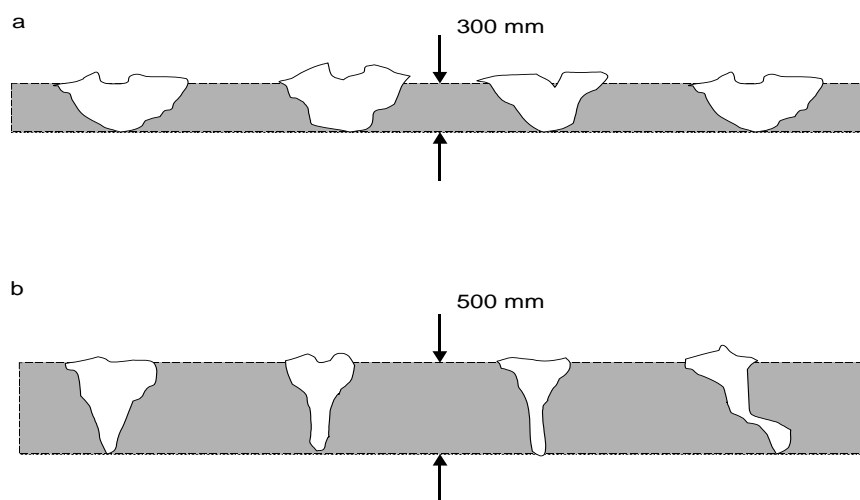
### **Características de la labor y de los órganos activos**

#### **Patrón de roturación**

A partir de fines de la década del 70, comenzaron a encontrarse precisiones sobre algunos de los aspectos básicos de trabajo de los escarificadores. A niveles superficiales, el suelo es desplazado por las rejas hacia adelante, arriba y lateralmente, bajo un patrón de roturación denominado fracturamiento o falla creciente, rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagan desde el extremo de

la reja hacia la superficie con una angulación aproximada a los 45° con respecto a la horizontal.

El modelo o patrón de roturación continúa con el incremento de la profundidad, hasta que a un determinado nivel, denominado **profundidad crítica**, el suelo comienza a deslizarse solamente hacia adelante y los lados (fracturamiento lateral), generando compactación en profundidad, la cual depende de la geometría de la reja. Las observaciones a campo muestran que la profundidad crítica, para órganos activos de 65 mm, de ancho se producía en un rango de entre 300 y 400 mm, es decir, a relaciones profundidad/ancho de 5 a 7, alcanzando niveles más superficiales en la medida que el suelo se torna más plástico o los horizontes superficiales más secos. Además, ambos patrones de rotura se encuentran presentes siempre en las labores con escarificadores, predominando uno u otro, según distintas variables de suelo y relaciones suelo – máquina. También se ha indicado que la profundidad crítica es aquella a la cual se produce compactación más que una efectiva remoción del suelo (Figura 74) y puntualizaron que para lograr una roturación efectiva del mismo se debe producir fracturamiento creciente por lo cual la profundidad crítica tiene influencia sobre la máxima profundidad a la que podría ser empleada una determinada reja



*Figura 74. Patrones de roturación de diferentes órganos activos, trabajando a dos profundidades: a) 300 mm; b) 500 mm. (Adaptado de Spoor y Godwin, 1978).*

Las relaciones establecidas por los distintos autores que estudiaron el trabajo de los descompactadores determinan que la simple decisión de realizar un trabajo de escarificación y más aún de descompactación profunda obliga a realizar un proceso de análisis, que pocas veces se efectúa a nivel de producción, que requiere al menos contestar los siguientes cuestionamientos:

- 1) ¿El estado del suelo es el adecuado para efectuar un trabajo de roturación en profundidad?
- 2) ¿Las características de diseño del órgano activo y del montante que lo soporta permitirán realizar un trabajo de roturación efectiva del suelo (bajo el patrón de fallas crecientes), garantizando el fracturamiento de las capas compactadas?

La primera pregunta implica que se debe valorar el estado del suelo a través de una mínima calicata y observar la condición del suelo por debajo de la capa compactada que se quiere roturar. En acuerdo con los resultados experimentales, el suelo debe estar seco o poco húmedo en profundidad, de forma tal que las fallas crecientes abarque una porción importante de la zona compactada, sin generar

problemas por superar la profundidad crítica y provocar compactación en profundidad por desplazamiento lateral del suelo.

La segunda cuestión debe tenerse en cuenta al momento de seleccionar, comprar el implemento o contratar su uso. Sin embargo, las alternativas de anchos de la reja en los escarificadores están bastante acotadas entre los 50 y 100 mm entre los distintos descompactadores y generalmente entre 50 y 80 mm. Los mayores anchos permitirán a las rejas de diseño convencional trabajos más profundos sin modificar el patrón de roturación pero incrementarán los esfuerzos de tracción en forma importante, limitando las posibilidades de conformación armónica de conjuntos tractor-aperos.

### Procesos de interacción

Los escarificadores, cualquiera sea su diseño constructivo básico y objetivos de labranza que alcanzan los mismos, se diferencian de las otras máquinas usadas para labranza en los procesos de interacción desarrollados entre los órganos activos. Estos procesos también ocurren en los descompactadores del tipo de montantes rígidos, rectos o angulados. Esta característica diferencial surge de la forma de roturación, es decir de los patrones de trabajo de los distintos órganos activos, principalmente a partir de los efectos producidos bajo el sistema de fallas crecientes. Una manera de definir en forma sencilla el concepto es identificar el predominio de los efectos laterales al órgano activo, en relación al área de suelo directamente en contacto con la reja del apero. De su comprensión dependerá la correcta selección y preparación del implemento para la realización de la labor, como así también la eficiencia de roturación de la capa compactada y la energía requerida para la realización de la labor.

Cuando dos órganos activos trabajan a una determinada distancia, la interferencia de uno sobre los límites de trabajo del otro provoca un considerable cambio en los requerimientos energéticos de ambos y tiene influencia sobre la disturbación de suelo resultante. Si las mismas operan con interacción a la misma profundidad producen una mayor disturbación del suelo que trabajando en forma aislada, con una reducción del esfuerzo de tracción (Figura 75).

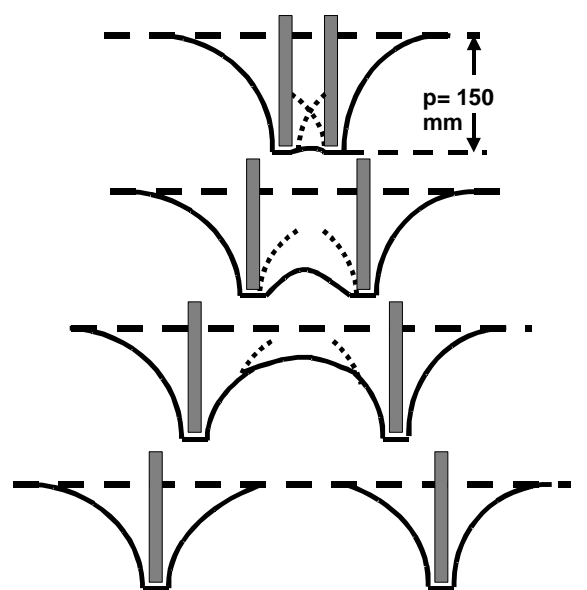


Figura 75: Proceso de interacción, a profundidad constante, para diferentes distanciamientos entre órganos activos. (Adaptado de Soomro y col. 1982).

Numerosos ensayos en campo arrojan como resultado valores mínimos de resistencia específica (relación entre el esfuerzo de tracción y el área removida) y uniformidad en el laboreo con espaciamientos entre órganos activos del orden de 1,5 veces la profundidad de trabajo (Figura 76)

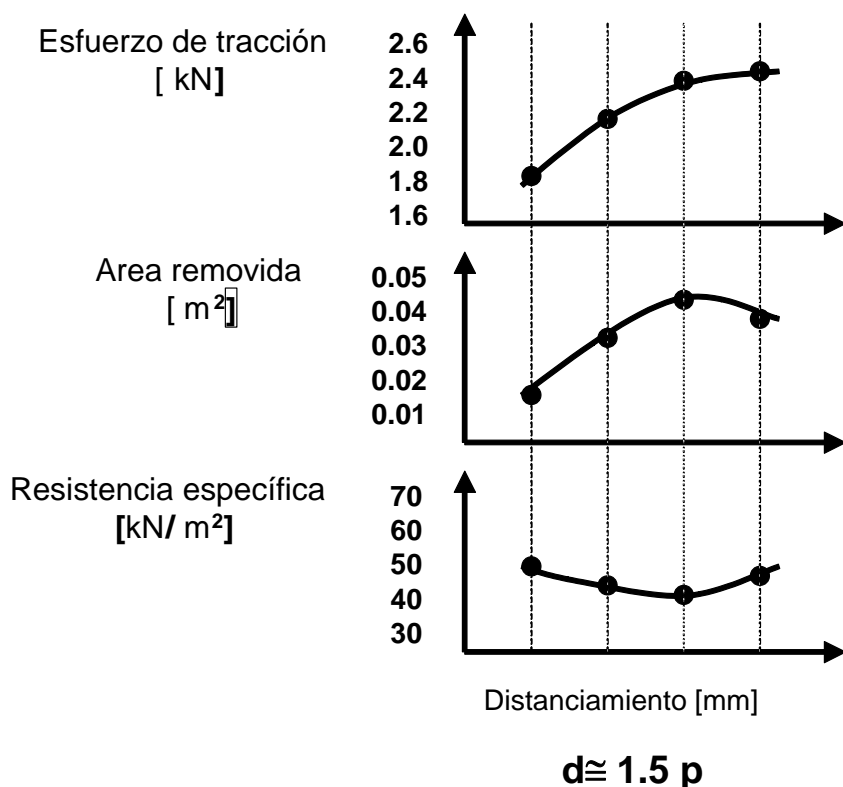


Figura 76. Relación entre esfuerzo de tracción y área removida en función del distanciamiento entre órganos activos. (Adaptado de Godwin y col. 1984).

### Ángulo de ataque de la reja

El ángulo de ataque de las rejas de los implementos de labranza es uno de los aspectos de diseño de mayor importancia. Del mismo dependen aspectos fundamentales de la labor del implemento, la energía requerida para el corte, la roturación del suelo, el grado de desterronamiento, la capacidad de penetración, la elevación del terreno en contacto con los órganos activos y el desplazamiento y volteo de residuos de cosecha.

El ángulo de ataque queda definido por una recta que coincide con la superficie plana de la reja y otra recta coincidente con la superficie del terreno (o sea con la horizontal). En el caso de rejas curvas por convención se acuerda definir el ángulo de ataque entre la horizontal y una recta que pasa por los agujeros de fijación de la reja al timón, cuando la misma se encuentra en posición de trabajo (Figura 77)

Los descompactadores de arcos rígidos presentan habitualmente posibilidades de modificación o selección del ángulo de ataque, quedando a criterio de los usuarios, la responsabilidad de la selección. La variación de la posición se alcanza en muchos



diseños a través de la ubicación del montante sobre la pieza que lo une al bastidor, en forma discontinua, por el perno que cumple las funciones de fusible de seguridad ante incrementos importantes del esfuerzo de tracción. Los ángulos de ataque de la reja se encuentran en el orden de 30° a 50°. Se podrá, en acuerdo con la decisión tomada, trabajar con los menores ángulos, produciendo mayores efectos laterales y hacia delante, con bajos esfuerzos de tracción, con menor resistencia específica y roturación en agregados de mayor tamaño. En contraposición, los mayores ángulos de ataque provocarán efectos contrarios a los enunciados. Cabría preguntarse, cuáles serían los beneficios efectivos de la mayor roturación del terreno, es decir, de alcanzar un tamaño de agregados menor en una labor de descompactación, tanto en condiciones de sistemas de labranza convencional como de siembra directa. Al respecto, deben relacionarse no solamente los aspectos energéticos sino también las consecuencias que dicha decisión tiene sobre la persistencia de los efectos de la descompactación sobre las propiedades físicas del suelo.

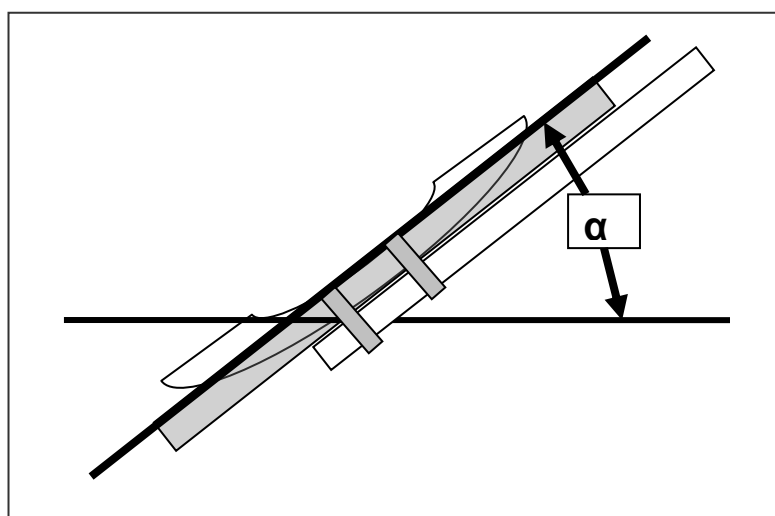


Figura 77. Ángulo de ataque de la reja de escarificadores. Esquema de 2 rejas (una plana y una curva con similar ángulo de ataque)

### Energía requerida por la labor

La calificación de las labranzas ha sido un aspecto problemático que hasta el presente no ha tenido una adecuada resolución. Resulta difícil acordar sobre una problemática que conlleva tantas calificaciones y opiniones como objetivos diferentes se busquen a través de las mismas. Sin embargo, en algunos aspectos parciales vinculados a la prestación tractiva de distintos diseños de implementos agrícolas, ha existido un amplio consenso entre los distintos grupos de investigación en Ingeniería Rural. Inicialmente se ha definido a un sistema de labranza eficiente cuando el mismo minimiza la energía requerida para el laboreo, cuantificada a través de la resistencia específica. Es decir, un sistema de labranza o una máquina en particular será tanto más eficiente cuanto menor sea el esfuerzo de tracción requerido para trabajar cada unidad de área de suelo. Prácticamente la totalidad de los investigadores que desarrollan trabajos experimentales con distintos diseños de máquinas agrícolas, incluyen determinaciones de esfuerzo de tracción, área de suelo removida (frente de labor), obteniendo la resistencia específica como cociente de ambos valores. También se ha propuesto que el grado de interacción puede ser valorado a través de la

resistencia específica al laboreo, encontrándose ambos parámetros en relación inversa, indicando los valores más bajos de resistencia específica la mejor interacción posible en una situación dada.

La realización de labores de descompactación profunda ha sido siempre dificultosa. El aumento de profundidad implica aumentos de esfuerzos de tracción que obliga a su ejecución con tractores de alta potencia y alta relación peso/potencia. Las primeras labores con equipos de labranza vertical se hacían en dos pasajes, el primero superficial y el segundo más profundo. Sin embargo, se ha comprobado que el trabajo con escarificadores en dos pasajes incrementaban los valores de potencia insumida, concluyendo que la labranza en un solo pasaje resultaba energéticamente más eficiente. De todas formas, el esfuerzo de tracción de un único pasaje de un descompactador implica altísimos esfuerzos de tracción, a veces difíciles de armonizar con los tractores de diseño doble tracción de ruedas iguales (4WD) o de doble tracción asistida (FWA). En parte, la sobrecarga del mismo suelo, en los trabajos profundos, incide sobre el esfuerzo de tracción por el propio peso que es necesario elevar, como por los problemas asociados a la profundidad crítica, que también incrementan, por el cambio en el tipo de fracturamiento y el movimiento del suelo, el esfuerzo de tiro, sin que en este caso se transforme en un efecto positivo sobre la condición mecánica del suelo.

En este contexto, el objetivo de hacer más eficiente la labor ha conducido al estudio del efecto del trabajo de implementos cuyos órganos activos se disponen en estratos crecientes de profundidad. Es decir, se busca que se puedan compatibilizar los beneficios de las distintas alternativas de trabajos planteadas.

Para esto, a partir de 1990, aproximadamente, se desarrollaron implementos de labranza simultánea y complementaria que alcanzaron una gran difusión, principalmente en EEUU. Algunos de ellos recibieron inicialmente el nombre de cinceles combinados y constaban en los diseños más elementales de cuchillas circulares para el corte de residuos y montantes rígidos con rejas convencionales, eliminando la necesidad en algunos sistemas de realizar una labor previa con rastras de discos para cortar los restos de cosecha y evitar las atoraduras (Figura 78)



*Figura 78. Escarificador combinado con cuchillas circulares, cinceles de arcos flexibles y descompactadores rígidos*

En otros diseños, se avanzó combinando rastras de discos con escarificadores flexibles o rígidos para posteriormente complementar prácticamente dos o tres labores en una sola pasada. Primero casquetes, luego escarificadores rígidos a profundidad superficial y en el último plano de trabajo del apero colocar los descompactadores rígidos, que realizarán el trabajo de roturación a la profundidad final deseada. De esta manera, se pretende y logra "engañar" a los encargados de realizar el trabajo en

profundidad, haciéndolos comportar como si no estuvieran efectivamente trabajando a dicha profundidad

Como variantes a estos diseños, se desarrollaron máquinas que combinaban también rastras de casquetes con descompactadores, pero en lugar de trabajar secuencialmente los discos primero y luego los descompactadores, los mismos eran intercalados entre los dos paquetes de discos de la rastra, por lo cual primero trabajaban los paquetes delanteros "hendiendo", desplazando la tierra del centro hacia los laterales, a la vez que cortan los residuos de cosecha; luego, los arcos del descompactador trabaja el segundo estrato, hasta la profundidad final de labor; por último, los paquetes de discos traseros, trabajan el suelo "alomando", moviendo la tierra de afuera hacia adentro, completando la roturación superficial del suelo, sellando la labor para evitar la pérdida de humedad del perfil y nivelando el terreno trabajado en el mismo pasaje (Figura 79). De diversos trabajos de investigación, surge que el laboreo en dos estratos permite reducciones del 50% del esfuerzo de tracción en comparación con la misma labor efectuada a la misma profundidad con una configuración convencional. Asimismo, se informa que el empleo de órganos activos trabajando en forma superficial por delante de rejas más profundas (Figura 80) determina incrementos en el área removida y disminución de la resistencia específica.

Es de importancia destacar que la mayor eficiencia no resulta únicamente de la disminución de la energía requerida para trabajar una cierta sección del terreno sino también sobre otros parámetros de la labor. Al disminuir la carga normal que ejercen las capas superiores del suelo sobre las inferiores, se reducen los riesgos de superar la profundidad crítica y por lo tanto, de generar compactación en profundidad.



*Figura 79. Descompactador de montantes rígidos combinado con paquetes de discos delanteros y traseros*

A su vez, al realizarse un único pasaje sobre el terreno se reduce el número de pasajes sobre el suelo, los riesgos de aumentar la compactación inducida por tránsito de vehículos, por el aumento del número de pasadas sobre un suelo que presenta lógicamente, mayores riesgos de compactabilidad. Al no realizar, con los implementos que trabajan en 2 estratos, una pasada luego del laboreo superficial para alcanzar la profundidad final de labor, se reducen las pérdidas de potencia variables, patinamiento y resistencia a la rodadura. Estas pérdidas de potencia suelen adquirir valores muy elevados en el segundo pasaje, puesto que el suelo ha disminuido sustancialmente su

capacidad portante en los primeros 150 mm de profundidad, generando deformaciones en los planos horizontales y verticales al paso de las ruedas del tractor



*Figura 80. Escarificador combinado de rastras de disco desencontrada (1), cinceles y rejas convencionales superficiales (2) y descompactadores rígidos con rejas convencionales (3)*

No obstante lo expuesto en los párrafos precedentes, debe tenerse en cuenta, independientemente de la mayor eficiencia, que los esfuerzos de tracción de cualquier alternativa de descompactación del perfil en un solo pasaje (ya sea en uno o dos estratos) serán muy altos. Esto implica que los costos de la labor serán elevados y que la conformación de equipos o conjuntos armónicos no resultará sencilla. En un análisis elemental de la problemática puede entenderse fácilmente que los mayores requerimientos tractivos implicarán al menos las siguientes consecuencias: 1) Será necesario contar con tractores pesados, en lo posible de alta relación peso/ potencia, para trabajar con valores de patinamiento bajos. 2) El tractor deberá vencer un elevado par resistente, por lo que se necesitará trabajar con motores que ofrezcan un elevado par nominal, potentes y seguramente en marchas de relativamente alta relación de transmisión, lo cual implica una baja velocidad de desplazamiento sobre el terreno. El hecho de conformar un equipo de descompactación en el cual el implemento cubra al menos en su labor la distancia entre caras externas del tractor, habitualmente genera esfuerzos de tracción que determinan la condición especificada en los puntos 1 y 2, por lo cual la capacidad de trabajo del conjunto será no muy elevada, tanto por la velocidad de trabajo como por el ancho de labor.

Otras características de diseño de los descompactadores que resultan de importancia analizar, en relación con la energía requerida y los patrones de roturación e interacción entre arcos son las diferentes alternativas de rejas y arcos que pueden utilizarse en los descompactadores

El **tipo de reja** constituye un elemento de importancia para la adaptación de los descompactadores a diferentes condiciones del terreno. Los trabajos efectuados sobre subsoladores, subsoladores alados y escarificadores rígidos encuentran que la profundidad crítica puede alcanzar mayores valores en la medida que se adicionan alas a los órganos activos. El trabajo de descompactación, por lo general, supera los 0,3 m de profundidad llegando a 0,40 ó 0,50 m, según la profundidad de la zona

compactada. Esto depende de cuál es el origen de la compactación, el espesor o desarrollo de la capa compactada y los vehículos que transitaban frecuentemente el terreno, concentrando las tensiones en determinados sectores del perfil. En acuerdo con los relevamientos realizados en distintos trabajos de investigación, es posible afirmar que la amplia mayoría de los procesos de compactación inducida por tránsito determinan que la capa compactada se encuentre con mayor frecuencia entre los 0,30 m y los 0,40 m. Para poder efectivamente roturar el suelo a esa profundidad será necesario, en un análisis preliminar y en acuerdo con la mayoría de los trabajos, alcanzar una profundidad efectiva de labor, al menos mayor que la de la capa compactada.

Las condiciones del suelo para poder realizar la descompactación a dichas profundidades, no son fáciles de encontrar y, no siempre, cuando se dan esas condiciones, se encuentra la oportunidad de labor. En diversas clases texturales, dentro de los suelos finos y medio finos, los mismos permanecen, en los climas templados de la región central del país, con humedad por largos períodos del año. Por otra parte, salvo en períodos de sequías prolongadas, difícilmente el perfil se seque en su totalidad, al menos hasta los 0,5 m de profundidad. Tampoco es común que se realice un exhaustivo análisis del perfil para hacer la labor. Por lo general, las tareas de descompactación se ejecutan cuando el suelo, en los estratos superiores se encuentra seco o poco húmedo. En esas condiciones, existen elevadas posibilidades que, cercano a la capa compactada y por debajo de la misma, el suelo permanezca con una humedad mayor a la habitualmente recomendada.

En virtud de lo antedicho, el laboreo de descompactación en profundidad requiere un minucioso análisis previo. La profundidad de trabajo permite inferir que si se trabaja con rejas convencionales, seguramente se superará la profundidad crítica. La posibilidad de colocar rejas de mayor superficie (más anchas) implicará mayores esfuerzos de tracción con relativamente escasa roturación de la capa compactada. No debe perderse de vista, que la distancia recomendable entre órganos activos para un trabajo a 0,40 m de profundidad será de 0,60 m. Por lo tanto, al ser el patrón roturado de forma triangular, con la base mayor en la superficie, la reja realizará una roturación relativamente pequeña del sector compactado entre los montantes. Si el objetivo es fracturar en su totalidad el estrato del perfil compactado, las posibilidades de éxito serán evidentemente escasas, más aún si las condiciones del suelo no llegan a ser las ideales, si es que dicha condición realmente existe y pudiese definirse de una manera adecuada.

La totalidad de los escarificadores favorecen procesos de estratificación de los agregados. A través de los mismos, los agregados de menor granulometría se desplazan verticalmente en el perfil del suelo, mientras el mismo está avanzando, migrando hacia la parte inferior del suelo trabajado, concentrándose en el vértice del triángulo, donde se ubica la reja. Esta característica, deseable para los trabajos de escarificación, en planteos conservacionistas, tratando que los agregados de mayor tamaño queden en la superficie del suelo para disminuir los riesgos de erosión, puede resultar contraproducente en los trabajos de descompactación en sistemas de siembra directa, ya que tiende a disminuir la persistencia del trabajo hecho en profundidad y dificulta la siembra posterior, por la mayor rugosidad superficial. Algunas cuestiones de diseño, como el ángulo de ataque de la reja y la relación profundidad / ancho de la reja pueden incrementar la generación de tierra fina y por lo tanto los procesos de reagrupamiento posterior a la labor. El paso de vehículos de elevado peso sobre el eje, en condiciones inadecuadas de humedad y a veces el simple paso del tiempo asociado a los procesos naturales de consolidación producido por las precipitaciones, induce la pérdida de los efectos de la descompactación en períodos relativamente cortos

Debe recordarse que el trabajo de descompactación busca prioritariamente romper las capas compactadas en profundidad pero el aflojamiento conseguido a nivel superficial puede también mejorar aspectos de implantación de cultivos en sistemas de siembra directa. Por ello, las alternativas de trabajo con descompactadores han surgido de diferentes modificaciones que permitieron aumentar los efectos de roturación en profundidad y alcanzar un adecuado grado de trabajo de la totalidad del perfil.

## **Las rejas aladas**

Diversos trabajos afirman que la utilización de las alas acopladas al subsolador (Figura 81) si bien incrementan el esfuerzo de tracción, producen una disminución en la resistencia específica al laboreo o coeficiente de labranza del implemento debido al importante incremento en el frente de labor. La denominación de rejas aladas, subsoladores con alas ha sido utilizada para un conjunto de órganos activos que en principio derivan de los subsoladores convencionales. Sobre la zapata del subsolador, e independientemente de la reja se colocan rejas, sobre cada lateral. En otros diseños, el conjunto de reja más alas laterales, es el que se vincula a la zapata. Estas diferencias, solamente tienen importancia en la mayor o menor versatilidad que presenta el conjunto para conformar distintas alternativas y sobre el mantenimiento y reposición que de los órganos activos debe realizarse, variando los costos según las alternativas de acoplamiento planteadas.

Conceptualmente y en relación a los problemas de roturación y recompactación planteados en el apartado anterior, las rejas utilizadas deberían garantizar que el efecto de su trabajo abarque la mayor parte de la capa compactada. Para ello existen básicamente dos soluciones. La primera, trabajar a grandes profundidades, de manera tal que el triángulo teórico de rotura del suelo, a la profundidad de la capa compactada adquiera un ancho que llegue casi a superponerse con el triángulo contiguo. La segunda, que las rejas fueran de un ancho lo suficientemente grande para cubrir, trabajando inmediatamente por debajo de la zona compactada, la mayor parte de la misma. La primera de ellas como fuera sugerido anteriormente, no cuenta con posibilidades de éxito por problemas de profundidad crítica y esfuerzo de tracción, ya que debería llegarse a una profundidad cercana a los 0,55 m para romper en su totalidad una capa compactada que alcance un desarrollo no mayor a los 0,30 m de profundidad.

La segunda opción implicaría también altas probabilidades que el esfuerzo de tiro sea muy alto, ya que el ancho de las alas, no de la reja central debería alcanzar aproximadamente 0,15 a 0,20 m hacia cada lateral. La única forma posible que el esfuerzo en estas circunstancias no sea muy alto es que el ángulo de ataque de las rejas se mantenga en el rango inferior del intervalo citado por la mayoría de los autores (correspondiente con ángulos de ataque cercanos a  $20^\circ$ ). Ello provocaría que el tipo de rotura que producen las rejas, se asemeje en mayor medida a un fisuramiento del suelo, en grandes bloques, que a una roturación completa en agregados de pequeño tamaño.

Con referencia a estos aspectos, tanto la disposición, distanciamiento, profundidad y adición de alas influyen sobre el esfuerzo traccional, el área removida y la resistencia específica al laboreo. El distanciamiento entre las líneas de acción de los arcos con el cual se alcanzan los menores valores de resistencia específica, es de aproximadamente 2 veces la profundidad de labor.



*Figura 81. a) rejas de descompactador convencionales y aladas. b) vista de un trabajo de descompactación con rejas combinadas en un mismo escarificador, roturando una capa compactada*

Al analizar los distintos diseños existentes a nivel comercial, tanto nacionales como internacionales, las decisiones de los fabricantes de máquinas agrícolas han tendido a una solución intermedia entre las dos posibilidades planteadas. Las rejas para descompactación profunda tienen en su totalidad bajo ángulo de ataque, pero no alcanzan un ancho tal que puedan roturar completamente capas compactadas entre 0,30 y 0,50 m de profundidad, trabajando inmediatamente por debajo de la zona a roturar. Por lo tanto, si ese es el objetivo, se tendrá que trabajar a mayores profundidades y/o con menores distanciamientos que los sugeridos para alcanzar la mayor eficiencia desde el punto de vista energético.

De todas formas, si se compara el uso de rejas convencionales con las aladas, no deberían quedar dudas sobre la conveniencia del uso de estas últimas, integrando la totalidad de los factores puestos en juego

En función de lo antedicho, técnicamente resultaría recomendable la utilización de rejas de diseño alado que, si bien demandan mayores esfuerzos tractivos, permiten incrementar la roturación en profundidad, a la vez que permiten aumentar la eficiencia de la labor desde el punto de vista energético. Por otra parte, posibilitan contar con una mayor oportunidad para la realización de la labranza, en la medida que se adecúan a trabajar con mayores tenores de humedad que las rejas convencionales.

También resultan válidos para el trabajo con rejas aladas los conceptos de trabajo en dos estratos analizados anteriormente. Más aún, los beneficios desde el punto de vista energético se optimizan en la medida que se conforman conjuntos que combinan el trabajo en 2 estratos con rejas aladas traseras. Por lo general, no se encuentran razones que invaliden la configuración de rejas aladas delanteras y traseras en al menos dos profundidades de labor diferentes, pero se ha difundido más la alternativa de trabajo de rejas delanteras convencionales, con rejas traseras aladas como se ve en la figura 75. Cabe destacar, que estos diseños causan una fuerte modificación del suelo a nivel superficial, con frecuente presencia de agregados de tamaño intermedio a nivel superficial y disminución del porcentaje de residuos remanente posterior al pasaje de los mismos.

Por ello, su mayor adopción se vincula a la presencia de procesos de compactación en sistemas de labranza convencional, mínima, reducida o conservacionista, pero poco en sistemas de siembra directa de cultivos. La situación post labranza implica a veces la necesidad de pasajes adicionales previos a la siembra de los cultivos. Si se trata de realizar la menor cantidad de pasajes sobre el suelo para

que no se genere un círculo vicioso de descompactación – tránsito - compactación, resulta conveniente, en sistemas conservacionistas, trabajar con rejas aladas, montantes estrechos y cuchillas de corte de residuos en la línea de acción de las rejas. De esta manera, se disminuye la elevación del suelo y la presencia de terrones grandes a nivel superficial, complementando el trabajo eventualmente con rolos en tándem que rompan los agregados de mayor tamaño que puedan dificultar alcanzar un adecuado grado de precisión en la siembra del cultivo posterior.

Pese a todos los antecedentes existentes, hasta el presente no se han difundido mayormente en el mercado argentino descompactadores con rejas de diseño alado, a diferencia de lo ocurrido tanto en Estados Unidos como en Europa a partir de la última década del siglo XX. Estas diferencias en la adopción de las alternativas tecnológicas podrían explicarse a partir de un conjunto de factores técnicos, productivos y económicos. Por un lado, la problemática de los procesos de compactación y su incidencia en los sistemas productivos no ha sido visualizada con claridad. La compactación subsuperficial del perfil del suelo no es visible desde la superficie del terreno y los indicadores secundarios, diversos efectos sobre el cultivo, no responden solamente a procesos de compactación.

A su vez, en la década del noventa, la rápida evolución de la siembra directa de cultivos sin remoción previa del terreno, coincidió lógicamente con la disminución de los sistemas de labranza mínima o reducida con utilización de implementos de labranza vertical. La oferta, de alternativas tecnológicas de aperos para la descompactación también se redujo como consecuencia de estos cambios. Por otra parte, los diseños alados requieren que el fabricante dimensione el conjunto montante-reja para los mayores esfuerzos requeridos, debiendo modificar para ello también la estructura del bastidor (Figura 82). En un contexto de reducción de ventas de equipos de labranza, necesidad de readecuación de los diseños existentes y de mantenimiento de altos niveles de cobertura del suelo, estas alternativas encuentran todavía escasas posibilidades de adopción en el medio productivo.



*Figura 82. Rejas aladas con refuerzos estructurales y cresta central*



En cuanto al tipo de montante utilizado en los descompactadores, pueden considerarse tradicionales o convencionales a los de montante recto, en relación a los de montante angulado (recto o curvado) en el plano transversal a la dirección de avance, conocidos como Paratill, Paraplow o Cultivie entre otras denominaciones técnicas y comerciales.

### **Montantes angulados lateralmente**

El trabajo con descompactadores de montantes angulados ha alcanzado una importante difusión en los últimos años. Ello se debe a las características de escasa inversión de los estratos del suelo y bajo porcentaje de volteo y enterramiento de residuos que los mismos ofrecen.



*Figura 83. Trabajo realizado por un descompactador de brazos angulados y rolos desterronadores sobre rastrojo de soja*

Tal como se aprecia en la Figura 83, la modificación de la superficie del terreno es muy baja, con escaso enterramiento de residuos de cultivo. En función del tipo de suelo (en cuanto a su textura), su estado de humedad y compactación del mismo se producirán distintos tamaños de agregados, que a nivel superficial pueden perjudicar parcialmente la eficiencia de la máquina sembradora, cuando este tipo de implementos es usado en planteos de siembra directa de cultivos. Para atemperar estos efectos, suelen colocarse el conjunto con los descompactadores, tomados al mismo bastidor, rolos que cubren la totalidad del ancho de trabajo de los órganos activos (Figura 84). Estos rolos deben cumplir con el trabajo de romper y disminuir el tamaño de los terrones de mayor tamaño que queden a nivel superficial. Para ello debe ajustarse la tensión que ejercen sobre el terreno, a través de la tensión de los resortes que los mantiene en posición de trabajo. Si la posición de los mismos es muy baja (en relación con la del montante y la reja del descompactador) y la tensión muy alta, la eficiencia de roturación de los agregados será mayor. Sin embargo, también limitarán, lógicamente la profundidad de trabajo del descompactador en su conjunto. En virtud de ello, deberá prestarse especial atención a este aspecto, compatibilizando la mejora de la condición del suelo para la labor de siembra y la profundidad efectiva de descompactación, tanto a nivel de la punta de las rejas como también en el centro del espacio entre órganos consecutivos en el trabajo del suelo. No debe olvidarse que en cierta medida, la presión necesaria para romper los agregados de mayor tamaño que salen a la superficie es alta, por lo cual se favorece con el trabajo de los rolos el asentamiento, compresión, del suelo inmediatamente de producido el aflojamiento. De

todas formas, es de esperar que si el terreno fue trabajado con la humedad apropiada, suelo poco húmedo, no se produzca inmediatamente por dicha acción un proceso de compactación.



*Figura 84. Detalle de los rolos complementarios de un descompactador y la regulación de los mismos. 1) Regulación de la tensión; 2) Regulación de la posición*

En estos implementos, el trabajo sobre el suelo es realizado en parte por la reja que se encuentra sobre la zapata del subsolador y principalmente por la reja que se encuentra adosada sobre la lámina curva o recta angulada del montante. Teniendo en cuenta las dimensiones de la reja adosada a la zapata, la misma tendría importancia en la penetración inicial del equipo, más que la roturación del suelo en profundidad. En virtud de las características diferenciales de los distintos diseños de descompactadores, variará la adecuación y aptitud de los implementos para su inclusión en diferentes sistemas de labranza. Las evaluaciones de este tipo de implementos indican que el Paratill puede ser utilizado, como máquina de labranza, para extender los sistemas conservacionistas a suelos que son naturalmente inapropiados para técnicas de mínima y no labranza. También se indica que los mismos provocan el desmenuzamiento del suelo, con una mínima alteración de la superficie del suelo. Tal como fuera mencionado en el análisis de los patrones de roturación de los descompactadores, las características de roturación de los subsoladores de montantes inclinados, rectos, son similares a los de otros diseños de escarificador.

Con respecto a los requerimientos tractivos de estos implementos, las evaluaciones de la energía requerida para el trabajo con subsoladores de montantes curvos, arrojaron resultados similares a las de los implementos angulados lateralmente de montantes rectos. Asimismo, los menores valores de resistencia específica se corresponden en condiciones medias con distanciamientos entre órganos activos de 1,5 veces la profundidad de labor. Sin embargo, la configuración espacial de los órganos activos, en los subsoladores de montantes angulados, varía en los

implementos, tanto en la distancia entre las líneas de acción de las rejas, como así también en la simultaneidad y progresividad del proceso de interacción.

Los diseños de montantes angulados laterales presentan en nuestro país dos configuraciones básicas. Los arcos pueden disponerse convergiendo hacia el centro del equipo en forma conjunta o, hacerlo por pares, trabajando ambas unidades en forma independiente del resto de los órganos activos. Los estudios realizados en forma comparativa, entre ambos arreglos, concuerdan con lo indicado en los párrafos precedentes en relación con la eficiencia energética alcanzada para distancias de 1,4 a 1,6 veces la profundidad del órgano activo. Los autores concluyeron que la resistencia específica es independiente de la disposición de los montantes y variable en relación a la distancia entre los órganos activos. Sin embargo, los parámetros de prestación, esfuerzo de tracción y área de suelo removida, son afectados por la disposición y distanciamiento de los montantes y órganos activos. El análisis de los resultados indica que el área trabajada es mayor para la disposición con arcos convergentes por pares (Figura 85), lo cual determina una mayor homogeneidad en la profundidad de labor.

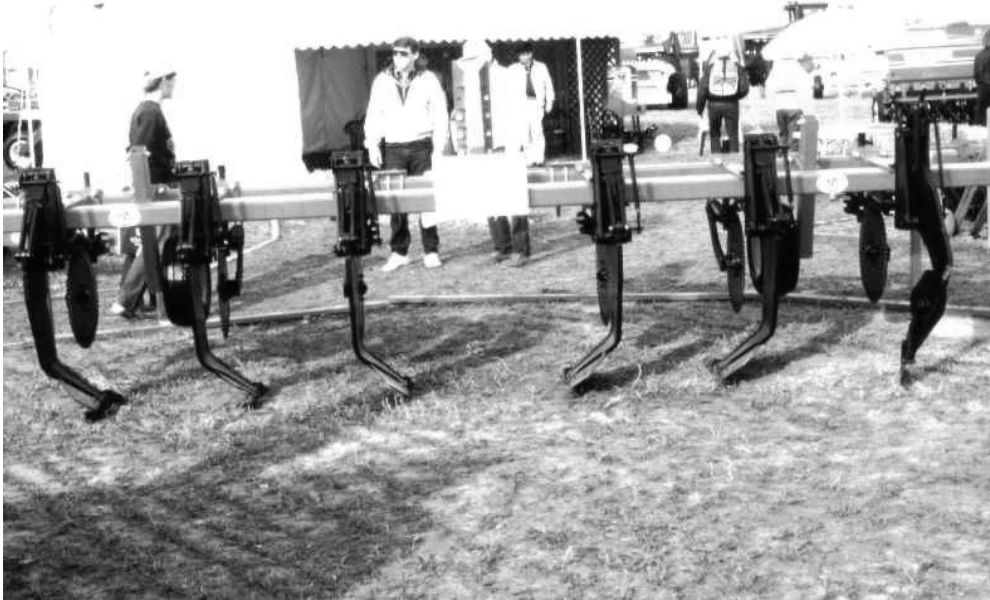
En correlación con el incremento del área trabajada, los esfuerzos de tracción fueron también mayores para esta disposición en relación a los registrados cuando el proceso de interacción se genera por el trabajo de montantes ubicados por detrás de otro delantero y lateral con la misma disposición. En función de las perfilometrías realizadas, para la separación entre arcos que tuvo la menor resistencia específica, la altura del sector no trabajado entre las rejas, tomando como base o referencia la profundidad de la reja alcanzó en promedio 0,10 m (28,57% de la profundidad de labor), mientras que para los arcos convergentes en conjunto, el sector de suelo no roturado llegó a una altura de 0,15 m (42,8% de la profundidad de las rejas). Esto podría configurar una limitación, en la medida que sea necesario por algún motivo, una remoción homogénea en profundidad y superior a los 0,20 m.



*Figura 85. Descompactador de montantes angulados curvos y configuración por pares hacia el centro.*

En un análisis general, los descompactadores de montante angulado producen una menor rugosidad de la superficie del suelo con respecto a otros implementos. A esta mayor o menor uniformidad, contribuye el ángulo lateral del montante, variable

entre 30°, 45° y 60° con respecto a la superficie del terreno. Los mayores ángulos producirían menor remoción superficial, mientras que angulaciones de 45° y 30° favorecerían una mayor elevación de la cota del terreno y modificación de la posición de los agregados del suelo, que podría favorecer una mayor duración de los efectos de la labor (Figura 86)



*Figura 86. Descompactador de montantes angulados laterales rectos de 45° con disposición simétrica del conjunto hacia el centro.*

### **Escardillos subsuperficiales**

En la última década, se ha tratado de realizar un abordaje integral de la problemática de la compactación de suelos, los procesos de descompactación, su 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 suelo 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 lograrse 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 (Figura 87).

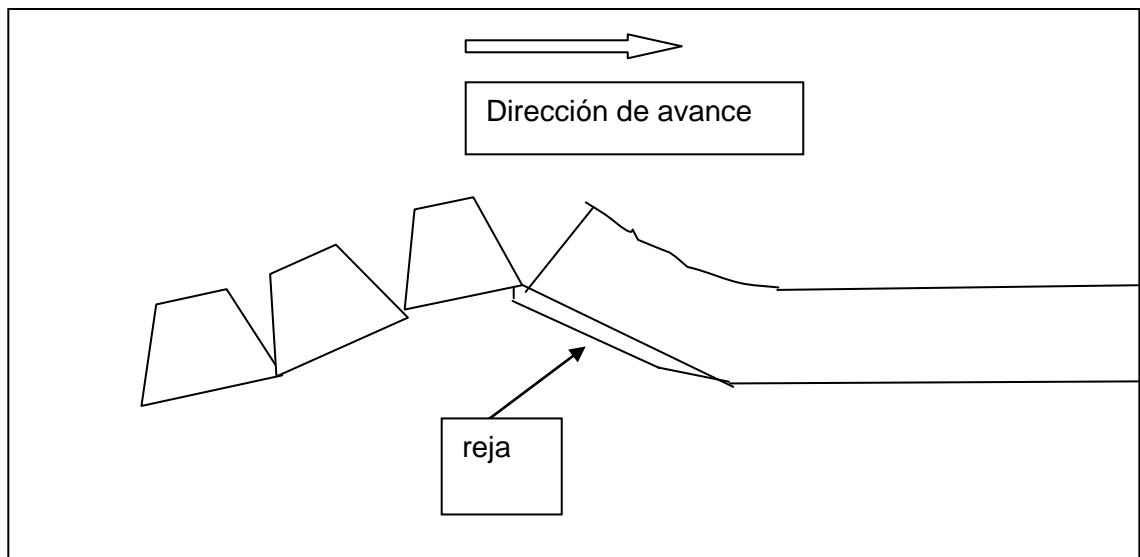


Figura 87. Esquema de roturación por flexión de la capa del suelo endurecida por flexión

Entre los diseños de descompactadores que son capaces de efectuar este tipo de roturación del suelo se menciona a los subsoladores alados, los subsoladores de montante angulado lateralmente, tipo Paratill (ya explicados) y los escardillos subsuperficiales. (Figura 88)

Los escardillos o cultivadores subsuperficiales no han sido utilizados hasta el presente a nivel subsuperficial para la descompactación del suelo. Los mismos podrían asimilarse a los cultivadores del tipo de escardillos grandes, con reducido ángulo de ataque. También resultan semejantes a los aperos denominados "Pie 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 0,90m de ancho para cada órgano activo, a diferencia de los usados internacionalmente para descompactación subsuperficial, que rondan 0,20 a 0,60 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 entre otros factores del ángulo de ataque de las rejas aladas o de escardillo, sino también de la altura de elevación, la profundidad de trabajo y de las condiciones de humedad del suelo. Para un determinada altura de elevación producida por las alas o rejas, 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.



*Figura 88. Escardillo subsuperficial con rejas de 0,53 m de ancho*

La uniformidad de las fisuras en el terreno depende también 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 y del ancho de las rejas, suelen ser necesarios para lograr este objetivo; Estos espaciamientos también deberán dejar la superficie del suelo nivelada. La profundidad de trabajo, 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. Además, 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. Serán las plantas y sus raíces, el mejor y más sencillo indicador para establecer cuándo es necesario realizar una intervención mecánica en el suelo, como así también quienes permitan estabilizar el sistema y darle continuidad en el tiempo.

### **Capacidad de paso**

En el trabajo con escarificadores ha sido reiteradamente mencionada la dificultad para el desplazamiento sobre el suelo con restos vegetales en superficie debido al diseño de los montantes y la configuración espacial de los órganos activos. Esto implica una serie de características de diseño que resultan importantes tener en cuenta al momento de evaluar la prestación de los implementos, entre las cuales puede destacarse el despeje, la presencia de órganos de corte de residuos vegetales y

el número de planos de acción y distancia entre planos de acción de los órganos activos.

El **despeje** del implemento (distancia entre el extremo de la reja y el punto más bajo en la vinculación del montante al bastidor) adquiere importancia ya que cuanto, mayor sea, se incrementaran las posibilidades de evitar el atoramiento del equipo, determinando, además, su capacidad para el trabajo a mayores profundidades.

Las **cuchillas circulares** son empleadas para auxiliar en el corte vertical del suelo y para cortar los residuos vegetales, de manera de disminuir las posibilidades de atoraduras. El corte de los residuos producido por la cuchilla circular provoca la formación de un canal a través del cual el montante órgano activo puede desplazarse sin inconvenientes. La utilización de las mismas, en los descompactadores actuales, debe ser permanente. Existen 2 diseños difundidos de ubicación de las cuchillas circulares en escarificadores: a) en forma individual, inmediatamente por delante de cada arco (Figura 89; Figura 90) o en la parte delantera de la estructura del bastidor y b) en forma conjunta, en la parte anterior del bastidor, pudiendo el corte producido por cada cuchilla coincidir o no con la línea de acción de los arcos. Este último tipo, fue más difundido en los escarificadores de arcos flexibles (cinceles)



*Figura 88. Escarificador de montantes rígidos con cuchillas individuales en la línea de acción de las rejas dispuestas en la parte delantera del bastidor*

La colocación de cuchillas circulares en la parte frontal de los descompactadores genera, por lo tanto, distintas configuraciones espaciales en relación a la ubicación relativa de la línea de trabajo de cuchillas y rejas. Trabajos con cuchillas circulares por delante de rejas de escardillo de 0,4 m de ancho concluyeron que la adición de aquellas favorecía el movimiento del suelo hacia los costados en detrimento de la elevación del mismo. Indicaron, además, la formación de un cuerpo de arcilla por delante de la reja, que no es desplazado de ese sitio debido al corte del terreno producido por las cuchillas cuando las mismas trabajaron en la línea de acción de las rejas, con una visible reducción de la remoción del suelo. Otros ensayos han determinado que el corte producido por la cuchilla favorece una mayor cobertura de rastrojo, al disminuir el entremezclado del mismo con el suelo, atribuyendo dicho efecto a la disminución de la elevación del terreno sobre el montante durante el

desplazamiento del conjunto, lo cual coincidiría en parte con antedicho para rejas de escardillo. En relación al área trabajada, adjudicaron a la colocación de cuchillas sobre la línea la reducción significativa del frente de labor de dicho tratamiento con respecto a la ubicación entre las líneas de acción. Concluyeron que el uso de cuchillas circulares incide sobre la energía requerida para la labranza del suelo con escarificadores de arcos rígidos y que la colocación de cuchillas circulares por delante y en la misma línea de acción de las rejas reduce los esfuerzos de tracción y disminuye el área de suelo removida incidiendo sobre la resistencia específica.

Esto implica que la colocación de cuchillas circulares resulta siempre conveniente, con respecto a su no inclusión, puesto que se mejoran aspectos operativos y de prestación tractiva del conjunto; podría deducirse que, en condiciones en las cuales la presencia de residuos resulta limitante, es conveniente colocar las cuchillas en la misma línea de trabajo de las rejas, pero aumentando el grado de interacción entre los órganos activos, acercándose a una relación distancia entre rejas/profundidad de labor menor a 1,5. De esta forma, se minimizarían tanto las dificultades de capacidad de paso, como así también los efectos negativos sobre la prestación tractiva.



*Figura 89. Cuchillas circulares onduladas de filo liso, de montaje individual en la parte delantera de un descompactador de montantes angulados lateralmente y lámina curva*