

FUNDAMENTOS DE LA SIEMBRA DIRECTA Y SU UTILIZACIÓN EN URUGUAY

Fernando García Préchac¹

1. INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con el Conservation Technology Information Center de los EEUU (CTIC, 1992), “No-Tillage”, o sea Siembra Directa o Plantio Direto, es el sistema de preparación del suelo y la vegetación para la siembra en el que el disturbio realizado en el suelo para la colocación de las semillas es mínimo, ubicándolas en una muy angosta cama de siembra o surco, que depende del uso de herbicidas para el control de las malezas; el suelo se deja intacto desde la cosecha hasta una nueva siembra, excepto para inyectar fertilizantes. Los elementos tecnológicos que caracterizan a la siembra directa (SD) son las máquinas de SD y los herbicidas, en particular los que tienen al glifosato como principio activo, de acción sistémica y espectro total.

Durante más de 6000 años la agricultura se basó en el laboreo del suelo (Shear, 1985). Es ampliamente conocido que el laboreo es la principal causa de erosión y degradación del suelo (García Préchac, 1992a). Diversos estudios citados por Shear demostraron que el mayor efecto del laboreo sobre la producción de los cultivos es el control de malezas. El origen de la SD se puede ubicar en los graves episodios de erosión eólica ocurridos a principios de los años 30 en los EEUU y más tarde en los trabajos de Ellison (1944), demostrando que la erosión hídrica del suelo es principalmente provocada por la energía de las gotas de lluvia, que se disipa en su choque con la superficie del suelo en los trabajos de ruptura de los agregados estructurales, dispersión y salpicado de partículas elementales, de fácil transporte por el escurrimiento asociado a la lluvia. En 1939, Duley y Russell (cit. por Shear, 1985) publicaron un trabajo sobre el efecto de la cobertura del suelo por residuos sobre la conservación del suelo y el agua. La limitante a la aplicación de este concepto estaba en que debía encontrarse un sustituto al laboreo para el control de las malezas. La misma comenzó a ser levantada con el desarrollo de los herbicidas, que tienen como mojón histórico el descubrimiento del 2,4-D (Zimmerman y Hitchcock, 1942, cit. por Shear, 1985).

La historia desde entonces hasta el presente es conocida, se desarrollaron más y mejores herbicidas y máquinas capaces de plantar en suelo no perturbado. En la década de los 80, con el vencimiento de la patente del Roundup que redujo sensiblemente el precio de los herbicidas con glifosato como principio activo, en interacción con la evidente insostenibilidad de la agricultura con laboreo convencional por la erosión y degradación que generan, se inició la etapa de mayor difusión y adopción de la SD.

En este artículo se presentan resumidamente las principales ventajas y desventajas que se atribuyen al uso de esta nueva tecnología como sistema, con énfasis en las condiciones de Uruguay, así como se comenta la información disponible sobre su adopción. Por razones de espacio, no se mencionarán los detalles de los ejemplos que se presentarán para ilustrar los principales conceptos, pero se incluyen las citas bibliográficas correspondientes.

Al lector interesado por una revisión completa sobre este tema, pero con énfasis en sistemas de agricultura cerealera en los EEUU, se le sugiere consultar a Blevins y Frye (1993).

¹ Ing. Agr., M. Sci., Ph. D., Profesor de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Univ. de la República Oriental del Uruguay y Consultor del INIA-Uruguay.

2. VENTAJAS DE LA SIEMBRA DIRECTA.

A continuación se presenta el listado de las ventajas atribuidas a la SD, para enseguida pasarlas a discutir individualmente:

- Drástica reducción de la erosión y degradación del suelo.
- Mayor contenido de agua en el suelo.
- Menores consumo de combustible y energía, parque de maquinaria, gasto de operación y mantenimiento de la maquinaria, mayor plazo de amortización de la maquinaria: Menor costo.
- Mayor oportunidad de siembra, cosecha y pastoreo.
- Posibilidad de utilización de suelos no aptos y áreas de desperdicio bajo laboreo convencional (LC).
- Nuevas posibilidades de mejoramientos forrajeros y renovaciones de pasturas con las máquinas de SD y los herbicidas.

2.1- Reducción de la erosión y degradación del suelo.

La cobertura del suelo por residuos y su no disturbio con laboreo, son las principales causas de la drástica reducción de su erosión y degradación con SD. Estos efectos están ampliamente documentados en la bibliografía. En el caso de Rio Grande do Sul, estudios pioneros en conocimiento del autor fueron los de Wünsche y Velloso (1982). En Uruguay los primeros datos pertenecen a Sawchik y Quintana (no publicado, cit. Por García Préchac, 1992b), luego a García Préchac y Clérici (1996) y recientemente a Terra y García Préchac (cit. por García Préchac, 1998a). La información indica que la SD como sistema elimina prácticamente a la erosión como un problema de manejo y conservación de suelos, al reducirla entre 85 y 100% con relación a una situación de suelo recién sembrado con LC.

La cobertura del suelo absorbe la energía cinética de la lluvia, evitando su golpeteo directo sobre el suelo. Un clásico trabajo de Mannering y Fenster (1977) muestra que la erosión se reduce exponencialmente con la cobertura del suelo por residuos vegetales, obteniéndose la máxima reducción entre 0 y 30% de la superficie cubierta y poco efecto con mas cobertura, lo que llevó a la definición de “Laboreo Conservacionista” para cualquier sistema de preparación del suelo que deje 30% o más de la superficie cubierta a la siembra (Allmaras et al., 1991). Pero el efecto no es solamente de la cobertura, Blevins y Frye (1993) citan varios trabajos que indican que simplemente la no perturbación del suelo también reduce su erosión comparada con situaciones de suelo laboreado sin ninguna cobertura. Esto es consecuencia de que el suelo sin perturbar no sufrió la degradación física que provoca el laboreo.

El contenido de materia orgánica del suelo aumenta bajo SD, o se mantiene en suelos no degradados, generando una importante actividad biológica. Ambas cosas contribuyen a una mejor estructura y porosidad, determinando mejor dinámica del agua, entre otros efectos. La mejora en la dinámica del agua incluye mayor infiltración, por lo que se reduce el escurrimiento. Es decir que la SD reduce la magnitud de los dos procesos que conforman la erosión hídrica del suelo, que son la desagregación de partículas por el golpeteo de la lluvia y su transporte por el escurrimiento superficial.

2.2- Mayor contenido de agua en el suelo.

Este efecto es normalmente mencionado en la bibliografía como una de las ventajas de la SD, sin embargo es conveniente comenzar indicando que en las condiciones edafo-climáticas de Uruguay, en varias situaciones puede facilitar situaciones de exceso de agua en el suelo.

Por una discusión documentada de los mecanismos por los que el suelo tiene normalmente mayor contenido de agua bajo SD, en comparación con cualquier sistema de laboreo, se remite al lector a García Préchac (1996 y 1997). Sintéticamente, se debe a que por la presencia de residuos en superficie se reducen las pérdidas por evaporación y aumenta la infiltración de agua cuando ocurren lluvias.

La reducción de la evaporación se debe a que los residuos en superficie aumentan el Albedo, reduciendo la radiación neta por reflejar una importante parte de la radiación incidente. A su vez, la capa de residuos (mulch) tiene baja conductividades térmica e hídrica, porque una alta parte de su volumen es aire. La menor radiación neta con SD se destina a evaporar el agua que tengan los residuos en superficie y a calentar dichos residuos y el aire en contacto. El movimiento del agua del suelo a través del mulch, para llegar a su superficie y desde allí evaporarse es bajísimo por la mencionada baja conductividad hídrica.

La mayor infiltración en SD que en LC es explicada por Onstad y Voorhees (1987) como sigue. Los residuos en la superficie protegen al suelo tanto de la energía radiante como de la energía de las gotas de lluvia. El encostramiento superficial es parcialmente el resultado de la energía de la lluvia golpeando la superficie del suelo, por lo que la intercepción de la lluvia por los residuos retarda la formación de una costra. Cuanto mas anclados se encuentren los residuos mayor será su efecto. En primer lugar porque existen conductos a través de los que el agua puede entrar mas rápido al suelo; estos conductos son tanto fisuras y rajaduras alrededor de las raíces desde la base de los tallos en la superficie, como los espacios que ocupaban dichas raíces y que fueron cediendo al morir y descomponerse. En segundo lugar porque los residuos en la superficie ofrecen resistencia al escurrimiento superficial, dando mas oportunidad a la infiltración; este efecto es mas seguro si los residuos están anclados, ya que no pueden ser arrastrados si el escurrimiento tiene mucha energía (tormentas intensas). Así mismo, el efecto antes mencionado es mayor cuanto mayor sea la masa de residuos sobre la superficie. En tercer lugar, los residuos de las raíces y los de la parte aérea que parcialmente puedan incorporarse al suelo, son sustrato para micro y meso organismos que al transformarlos producen agregados estructurales estables y espacios o poros en el suelo, lo que mejora las posibilidades de infiltración.

Por citar algunos resultados experimentales propios, en los que se observaron ventajas productivas del mayor contenido de agua en el suelo referimos al lector a Pérez Gomar y García Préchac (1993), Pérez Gomar et al. (1996 y 1997), Terra y García Préchac (1997a) y a Ghaffarzadeh et al. (1997). Pero, como arriba decíamos, en algunos casos mas agua en el suelo puede ser una desventaja.

Una amplia revisión bibliográfica de resultados de EEUU (Allmaras et al., 1991) muestra que la SD de maíz y soja siempre supera al LC en suelos bien drenados y con algún riesgo de sequía, mientras que es normalmente superada por LC en suelos con problemas de drenaje. García Préchac (1991), trabajando sobre un Argiaquoll (Planosol) con muy baja pendiente en EEUU, comparando sistemas de laboreo en un cultivo múltiple en fajas de maíz, soja y avena con alfalfa, encontró que en un año seco SD superó a LC en todos los cultivos. Pero en un año muy húmedo en soja no hubieron diferencias significativas y en maíz LC superó a SD. Soja se planta un mes mas tarde que maíz en la primavera del Corn Belt, que comienza con suelo casi saturado por el descongelamiento;

por ello la soja normalmente se siembra y comienza a crecer con menos agua en el suelo, por el aumento de evapotranspiración potencial que ocurre durante la primavera. Estos resultados aplicados a las condiciones de Uruguay, particularmente las de la zona cerealera del litoral del Río Uruguay, con predominio de suelos pesados de bajo drenaje interno por la presencia de horizontes B muy desarrollados, indicarían que con SD se pueden tener problemas de exceso de agua en el suelo en la instalación y crecimiento de los cultivos de invierno. Como el efecto es debido a los residuos en superficie, en tales condiciones debería mantenerse la cantidad mínima que sea suficiente para no tener riesgo de erosión (se recuerda que con 30% de cobertura ya se logra un buen efecto); esto, contrasta radicalmente del concepto dominante en Brasil en cuanto a que la cantidad de cobertura debe maximizarse siempre. Ello sigue siendo válido para el caso de cultivos de verano, en los que normalmente son de esperar períodos de sequía, aunque en siembras muy tempranas de maíz (fines de agosto a principios de setiembre) se deberían tener precauciones semejantes a las indicadas para los cultivos de invierno.

El problema del exceso de agua está relacionado a menor temperatura del suelo, que se discute adelante entre las desventajas de la SD.

2.3- Reducción de costos.

Al pasarse de LC a SD, se dejan de realizar todas las operaciones de laboreo primario y secundario, por lo que se elimina su costo (combustible, mano de obra, mantenimiento), dejan de ser necesarias las máquinas de laboreo (arados, rastras, etc.) y se pasa a requerir mucho menos potencia para impulsar las que se usan en SD. Ello reduce la inversión para lograr el parque de maquinaria necesario, que en el extremo pasa a ser un tractor de potencia media, una asperjadora, una máquina de SD y alguna para acondicionar los rastrojos. El número de pasadas sobre el terreno es menor, lo que extiende la vida útil del tractor (el plazo para amortizar la inversión) y reduce sus costos de mantenimiento y reparaciones. En contraposición, con SD aumenta el uso y por lo tanto el gasto de herbicidas. Frye y Phillips (1980), presentan un cuadro comparativo (cuadro 1) de los requerimientos de energía, medidos en litros de gasoil/ha, entre SD, LC y laboreo reducido (LR).

Cuadro 1 Requerimientos energéticos (l de gasoil/ha) por sistema de laboreo, cultivos en hilera.

| OPERACIÓN o CONCEPTO | LC | LR | SD |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Arado de rejas(a 20 cm) | 17 | | |
| Cinzel (a 20 cm) | | 11 | |
| Disquera | 6 | 6 | |
| Aplicación, Herbicida incorporado | 7 | 7 | |
| Aplicación, Herbicida asperjado | | | 1 |
| Siembra | 4 | 4 | 5 |
| Carpidas | 4 | 4 | |
| Herbicidas usados | 16 | 19 | 27 |
| Maquinaria y reparaciones | 17 | 15 | 6 |
| Total | 71 | 66 | 39 |

Este cuadro es ilustrativo de los conceptos antes manejados y además, enfatiza el ahorro energético de la SD, siendo que la energía, mayoritariamente proveniente de fuentes no renovables y utilizada de tal forma que genera gases que contribuyen al efecto invernadero, es motivo de especial preocupación en nuestros días.

Otro elemento de ahorro de costos asociado a SD es el menor tiempo de operación requerido para realizar un cultivo. Laco y Thompson (1995), presentan datos según los que la realización completa de las operaciones para un cultivo de trigo (excepto acarreo y cosecha) en la zona cerealera de Uruguay, insume 5,48 horas/ha con LC y 2,71 con SD.

Crosson et al. (1986), presentan una revisión bibliográfica en la que encontraron 8 comparaciones de costos de maíz y 7 de soja realizados con algún tipo de laboreo conservacionista con relación a LC. En maíz dicha relación fue en promedio 0,92, variando entre 0,87 y 0,96; en soja el promedio fue 0,92, variando entre 0,86 y 0,99. Es decir que en todos los casos el laboreo conservacionista, que incluye alguna operación de laboreo, tuvo menor costo que LC, en promedio 8%. Estos datos son de EEUU hace algo más de 10 años, pero cuando en Uruguay se han calculado costos también se encuentra ventaja de SD frente a LC. Según la revista CREA (1998), la estimación actual de costos de los verdeos de invierno es favorable a SD comparada con LC en 21% para Avena y para Avena con Raigrás, 17% para Raigrás solo, 14,5% para Raigrás con Trébol Rojo y 6% para Trigo con Pradera.

2.4- Oportunidad de siembra, cosecha y pastoreo.

Se dijo al inicio de este artículo que el laboreo es la principal causa de degradación física del suelo. Sin embargo, a corto plazo tiene el innegable efecto de aflojarlo, reduciendo su resistencia a la penetración. Todos los trabajos en que se ha medido la resistencia mecánica del suelo a la penetración física en ensayos comparativos de métodos de preparación del suelo que incluyeron SD, encontraron que durante el ciclo de los cultivos, y desde luego a la siembra, la resistencia de los horizontes superficiales es mayor bajo SD (Pérez Gomar y García Préchac, 1993; Pérez Gomar et al., 1996 y 1997, Amarante et al., 1996 y 1997; García Préchac et al., 1996 y 1997; Terra y García Préchac, 1997b). Esto significa mas “piso”, es decir, mejores condiciones para la traficabilidad de máquinas y animales sobre el suelo.

Por lo tanto, la oportunidad de siembra es mucho mayor con SD, asegurando la instalación de los cultivos en fecha, con mayor independencia de las condiciones climáticas. Otro tanto ocurre con la oportunidad de pastoreo de los cultivos forrajeros anuales, en particular los verdeos de invierno, época durante la cual es normal encontrar condiciones de exceso de agua. En otro artículo en este curso (García Préchac, 1998b), se presenta información mostrando que las mejores condiciones de piso, aumentan significativamente la utilización del forraje disponible por los animales pastoreando verdeos de invierno realizados con SD, comparados con los mismos verdeos realizados con LC.

Si bien con el tiempo se va reconsolidando el suelo aflojado por el laboreo, aún al final de un cultivo es generalmente mejor el piso para la cosecha bajo SD.

2.5- Posibilidad de utilización de suelos no aptos y áreas de desperdicio bajo laboreo convencional.

Las zonas de un predio no arables por riesgo de erosión o por problemas de drenaje no extremos, pueden ser plantadas con SD. La proporción ocupada por estas áreas varía de predio en predio. En el caso de “La Sorpresa”, un predio ocupado por las mejores asociaciones de suelos del país (Unidad Bequeló del Mapa 1:1M de Suelos del Uruguay, DSF-MAP, 1974) con Índice CONEAT promedio de 214, el área que no era plantada con LC (suelos con problemas de drenaje, desagües empastados, fajas empastadas aproximadamente a nivel de la sistematización conservacionista y

zonas de maniobra de las máquinas), y que pasó a serlo con SD, significa un aumento de entre 16 y 18% de la superficie plantada (Marchesi, 1997). En el mismo predio, los suelos no arables por riesgo de erosión que pasaron a ser plantados con SD ocupan el 15% de la superficie total. Parece claro que esta ventaja que ofrece la SD puede tener un enorme impacto productivo, como se menciona en otro artículo de este curso presentando el caso de un predio lechero (Valenti, 1997, cit. por García Préchac, 1998b).

2.6- Nuevas posibilidades de mejoramientos forrajeros y renovaciones de pasturas con las máquinas de SD y los herbicidas.

Este tema se desarrolla con detalle en otro artículo de este curso (García Préchac, 1998b), por lo que aquí solamente se lo menciona.

3. DESVENTAJAS DE LA SIEMBRA DIRECTA.

De la misma forma que se hizo con las ventajas, comenzaremos enunciando las desventajas generales atribuidas a la SD, para luego discutir las en particular. Ellas son:

- El control de las malezas depende del uso de herbicidas.
- Menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo.
- Menor temperatura del suelo.
- Compactación del suelo.
- Mayor probabilidad de ocurrencia de fitotoxicidades, enfermedades y plagas.

3.1- El control de las malezas depende del uso de herbicidas.

El control de malezas será tratado por otras personas en este curso, por lo que aquí haremos solamente algunos comentarios generales. Por otra parte, no somos especialistas en el tema. Ya dijimos que uno de los elementos tecnológicos de la SD son los herbicidas y que su descubrimiento se ubica en el origen de la SD, ya que la principal razón del laboreo está demostrado ser el control de las malezas. El considerar el uso de herbicidas un inconveniente suele originarse en la idea de que todo lo artificial es negativo per se, en particular lo que entra en la definición de “agroquímico”, que el uso de agroquímicos significa un peligro o directamente una agresión al medio ambiente y también que los agroquímicos son productos de industrias en poder de transnacionales, por lo que una tecnología basada en ellos es una tecnología dependiente.

Por involucrar consideraciones que escapan a una discusión técnica, solamente diremos algo sobre lo que conocemos del peligro ambiental de uso de los herbicidas de uso mas frecuente en SD. De acuerdo a la información que disponemos, los herbicidas con glifosato como principio activo, son bastante amigables con el medio ambiente al ser biodegradables y poseer muy corta vida media (Martino 1995). Otros herbicidas que pueden ser usados, como los desecantes en base a paraquat, si bien también se inactivan rápido ofrecen riesgo de salud a quienes los manipulan, pero el mismo es controlable siguiendo cuidadosamente las precauciones indicadas para su uso. Esto no suena diferente al uso de medicinas en el área de la salud humana; todos sabemos de los peligros del consumo de medicamentos no recetados por un profesional y sin su guía.

En otro artículo en este curso (García Préchac, 1998b) discutimos los resultados experimentales del efecto del uso de herbicidas sobre la composición botánica de campos naturales.

3.2- Menor disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Al no laborearse el suelo se producen cambios muy importantes en la dinámica del nitrógeno (N). El suelo tiende a estar más húmedo, más frío, menos aireado y más ácido (varios autores citados por Blevins y Frye, 1993). La materia orgánica se descompone más lentamente, disminuyendo la tasa de mineralización de N. Doran (1980, cit. por Blevins y Frye, 1993) señaló que la biomasa microbiana es mayor bajo SD que bajo LC, pero también más anaeróbica. Estos autores señalan que el resultado esperado es menor mineralización y nitrificación y mayores inmovilización y denitrificación; indican que esto ha sido encontrado en general por muchos investigadores. Bajo SD el N tiende a permanecer más como NH_4^+ , una forma retenida en las posiciones de intercambio catiónico y menos susceptible a ser lixiviada que el NO_3^- ; pero por otro lado se incrementa el peligro de pérdidas por denitrificación.

Blevins y Frye señalan que la materia orgánica, al descomponerse más lentamente, aumenta en cantidad y que su más lenta mineralización puede significar una aparición de formas disponibles para las plantas más sincronizada con las necesidades de los cultivos. De lo anterior se encontró evidencia en Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres (García Préchac et al., 1996 y 1997). Blevins y Frye indican que la materia orgánica de una leguminosa puede así actuar como un fertilizante nitrogenado de liberación lenta. Convendría agregar que como la cantidad de materia orgánica es mayor bajo SD, a pesar de la menor tasa de mineralización igualmente se puede llegar a una importante cantidad de nitrógeno disponible. Pero para ello el sistema bajo SD debe haberse equilibrado, esto es, si comenzó a partir de situaciones que se manejaban con LC, de bajo contenido de materia orgánica, debió haber transcurrido el tiempo necesario para llegar al nuevo equilibrio con un contenido más alto de materia orgánica. Esta no es la situación de la mayoría de los trabajos que han reportado menor disponibilidad de N bajo SD, que fueron hechos en el período de transición de LC a SD. Algunos productores que poseen chacras con varios años bajo SD, como el Ing. Agr. Enrique Marchesi, dicen observar que la respuesta a N ha decrecido con el tiempo.

Como la respuesta de los cultivos a la aplicación de N, además de con la disponibilidad que brinda el suelo, interactúa con otros factores de crecimiento, son diversos los resultados de respuesta comparativa al N entre SD y LC que aparecen en la bibliografía. Fox y Bandel (1986) presentan un esquema con 6 casos de respuestas comparativas diferentes, ofreciendo ejemplos de todas ellas. El autor ha observado casos sin respuesta a la aplicación de N, independientemente del sistema de preparación usado (Tesis de Barreiro y Mazzilli, 1994, dirigida por F. García Préchac y E. Marchesi; Terra y García Préchac, 1997a), ocasionados por altos niveles de disponibilidad por alfalfa como antecesor o por períodos secos previos al cultivo que generaron acumulación de N-NO_3^- . También observó interacción con la disponibilidad de agua, mayor en SD que en LC (información inédita); sobre un Planosol (Albaquol) en un año seco, sin N agregado LC rindió más maíz que SD, pero con N agregado SD llegó a mayor rendimiento. En un año húmedo, LC rindió más que SD con y sin agregado de N. En el caso de SD se trataba del segundo año desde el cambio de sistema de preparación.

Resultados de EEUU y locales, en especial Perdomo (1997) y Bordoli (1997), muestran que al igual que con LC, en cultivos con SD la cantidad de N-NO_3^- en el suelo al comienzo de la fase lineal de crecimiento de los cultivos, es un buen indicador de la probabilidad de respuesta a la aplicación de N.

3.3- Menor temperatura del suelo.

Como se dijo arriba, existe conexión entre la mayor cantidad de agua en el suelo bajo SD y la menor temperatura de dicho suelo, en comparación con la situación bajo LC. La menor radiación neta que provoca el mayor albedo de los residuos, es también menos transmitida a través del mulch de baja conductividad térmica. Esa menor cantidad de calor que alcanza al suelo bajo los residuos lo encuentra con más agua, por lo tanto con mayor calor específico y conductividad térmica. Lo primero hace que se requiera más calor para elevar la temperatura por unidad de volumen de suelo y lo segundo que el calor que gana la superficie del suelo sea más fácilmente transmitido hacia las capas más frías por debajo. Todo lo anterior significa que durante el día el suelo bajo SD levanta menos temperatura que el suelo bajo LC. Durante la noche, al enfriarse la superficie, el calor es conducido desde las capas profundas hacia ella. Al poseer más conductividad el suelo bajo SD, su superficie recibe más fácilmente el calor almacenado debajo; pero también, el mulch actúa como aislante para la pérdida de calor hacia la atmósfera, por la misma razón que lo hace a su ingreso al suelo durante el día. Ello determina que el suelo bajo SD se enfríe menos durante la noche y que el aire sobre el mulch reciba menos calor del suelo, agravando el efecto de las heladas en las plantas que en él crecen.

En síntesis, el suelo bajo SD se encuentra aislado térmicamente por el mulch de residuos, determinándole menor temperatura máxima y mayor mínima que el suelo bajo LC. Por una discusión detallada y documentada de estos procesos se refiere al lector a García Préchac (1996 y 1997). En la bibliografía existen abundantes evidencias experimentales de lo anterior, por ejemplo Pérez Gomar y García Préchac (1993).

Las plantas tienen una temperatura mínima para germinar y emerger. Por otra parte, mientras el meristemo apical se encuentra cerca del suelo es la temperatura de este y no la del aire la que es fisiológicamente sensada (Russell, 1977), generando la acumulación térmica que gobierna el crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, bajo SD se retarda la emergencia y crecimiento de los cultivos que se inician en la primavera, con mayor efecto sobre las especies y cultivares más sensibles a las bajas temperaturas. En las condiciones de Uruguay se han observado fallas en cultivos de sorgo plantados con SD a mediados de octubre, no ocurriendo las mismas al realizarse la siembra un mes más tarde (Amarante et al., 1996 y 1997). La temperatura del suelo fue una de las posibles causas de lo observado. Por lo tanto, la siembra de cultivos de verano sensibles a la baja temperatura del suelo debería retrasarse con SD, en comparación a la fecha de siembra con LC.

3.4- Compactación del suelo.

La compactación es una de las consecuencias más temidas de la SD. Ello es debido al acondicionamiento cultural creado por la historia de la agricultura hasta hace pocos años, la que siempre se realizó con LC. El laboreo a corto plazo provoca el efecto innegable de aflojar el suelo, pero a mediano y largo plazo es la principal causa de degradación de su estructura y demás propiedades físicas, como ya se indicó. En los bordes entre suelo laboreado y no laboreado, aún comenzando de una situación virgen, al final del primer cultivo anual, es posible comenzar a observar que el suelo laboreado tiene su superficie algo por debajo de la del suelo intacto. Es decir, se ha compactado. Sin embargo y paradójicamente, la mayoría de los productores y Técnicos inexpertos en SD le temen a la compactación que esta puede provocar, lo que es erróneo, ya que lo que no toca el suelo y tiende a aumentar su materia orgánica y su actividad biológica solo puede tener como efecto una mejor estructura y porosidad.

Sin embargo, en la transición de LC a SD, esta suele heredar problemas de compactación originados por aquel, que entre otros efectos puede explicar una peor performance de SD durante este período. Pérez Gomar y García Préchac (1993) encontraron que cuando antes de realizar SD de maíz en una chacra vieja manejada con LC se hizo laboreo con cinceles, los posteriores resultados de SD fueron superiores a la situación sin laboreo previo a la SD. Medidas de resistencia a la penetración mostraron la existencia de una suela o piso de labor en la base del horizonte Ap, ocasionada por el anterior LC.

En un artículo del autor sobre otro tema de este curso (García Préchac, 1998b) se discute sobre compactación superficial por pisoteo animal.

3.5- Mayor probabilidad de ocurrencia de fitotoxicidades, enfermedades y plagas.

Los residuos de los cultivos sobre la superficie se descomponen mas lentamente y en ellos pueden sobrevivir por mas tiempo enfermedades y plagas que pueden atacar a los cultivos siguientes. Este tema será seguramente tratado por otros en este curso. Las enfermedades a hongos saprófitos en cultivos de invierno es un caso conocido, teniendo solución en el correcto diseño de la rotación, de modo que se evite que un cultivo susceptible a ellos se siembre sobre un rastrojo que muy probablemente los contenga.

En cuanto a la fitotoxicidades o alelopatías, de las que se tiene poco conocimiento en cuanto a agentes causantes y especificidades de acción, también vale el correcto diseño de las rotaciones. En algunos casos se comenta que puede ser suficiente con un prolongado barbecho químico, pero en otros el comportamiento con SD es exactamente el contrario que con LC, haciendo que lo que con éste era un problema no ocurra en SD. Es el caso de los rastrojos de sorgo a los que se les atribuyó efectos alelopáticos sobre los cultivos de trigo, explicando problemas observados en los mismos al realizarlos sobre sorgo con LC. Con SD y todo el rastrojo de sorgo en superficie el problema no se observa. Estas observaciones sugieren que en la descomposición del rastrojo dentro del suelo con LC es lo que generaría el problema.

4. USO DE SIEMBRA DIRECTA EN URUGUAY.

La siembra sin laboreo en Uruguay tiene como primer antecedente la distribución al voleo sobre tapices naturales arrasados con pastoreo, de semillas de leguminosas forrajeras inoculadas y peleteadas, junto con fertilizante fosfatado. Esta técnica, que no usa los elementos tecnológicos de la actual SD (máquinas de siembra y herbicidas), con el tiempo y el trabajo del Plan Agropecuario desde los 60, se transformó en la forma más difundida y económica de realizar mejoramientos forrajeros. Risso y Berretta (1996 y 1997) presentan una revisión muy completa de su desarrollo experimental. Los resultados de las coberturas en cuanto a instalación de las especies introducidas, varía con las condiciones climáticas del año de su realización.

En cultivos, los trabajos experimentales pioneros fueron realizados por los Ings. Agrs. Nelson Oudry (1977) y José Lavallega Castro en La Estanzuela a mediados de los años 70. Estos trabajos ya mostraban la posibilidad de buenas instalaciones de cultivos de verano con el uso de glifosato, pero no existían en el mercado máquinas apropiadas (en dichos experimentos se realizaron adaptaciones de sembradoras convencionales) y principalmente, el precio del herbicida estaba fuera de alcance.

Con el vencimiento de la patente de Roundup y la aparición en el mercado de máquinas de siembra directa, principalmente de fabricación brasilera, un número creciente de productores

comenzó a interesarse por la nueva tecnología a fines de los 80. La fundación en 1991 de la Asociación Uruguaya pro Siembra Directa (AUSID) por parte de un grupo de productores y técnicos de la zona de Mercedes, Soriano, significó el inicio de una etapa de difusión, realización de experiencias e intercambio de las mismas y de demanda de investigación a las Instituciones públicas (INIA, Facultad de Agronomía), que debe haber sido una de las principales causas de la difusión de la SD y de la generación de buena parte del conocimiento que se presenta en este curso por parte de los técnicos uruguayos.

En la 2da. Jornada Nacional de Siembra Directa, organizada por AUSID en 1994, se presentó un trabajo de encuesta realizada para AUSID por Equipos Consultores y CONSUR, con financiación del PROVA-MGAP. La muestra encuestada la conformaron 2170 productores agrícolas o agrícola-ganaderos de los Departamentos del Centro y Litoral del país. El 94% dijo haber oído hablar de la SD y un 73% mencionó marcas de mercado de productos integrantes de la tecnología de SD. Al preguntarse sobre las ventajas de la SD, en primer lugar (31% de los encuestados) se mencionó la reducción de la erosión del suelo y en segundo lugar (22%) la reducción de costos, apareciendo las demás con porcentajes menores. La desventaja más mencionada fue la reducción de rendimientos (21%), quedando las demás en segundo plano. Un 18% de los encuestados dijo usar la tecnología de SD. La evaluación de los resultados obtenidos por los que dijeron usar SD indicó que el 61% los consideró “buenos” o “muy buenos”, mientras que el 22% los consideró “regulares” o “malos”. Entre los que dijeron no usar SD, el 27% dijo tener interés “alto” o “muy alto” mientras que un 30% dijo que su interés era “bajo” o “muy bajo”. Estos resultados indicaron el alto grado de difusión que se había alcanzado, la magnitud de la adopción y el potencial de expansión de dicha adopción, así como las ventajas (reducción de erosión y de costos) y desventaja (menores rendimientos) más percibidas.

En 1995, Laco y Thompson publicaron nueva información, proveniente de una consulta efectuada a técnicos y productores de las principales zonas agrícolas del litoral del Río Uruguay. Indican que el 6% de la superficie de los cultivos de invierno y el 10% de los cultivos de verano se realizaban con SD; la superficie total, en cada caso, incluye tanto los cultivos graníferos como los forrajeros. Entre los cultivos de verano se destacaban girasol y soja, con el 33 y 27% de área total realizada con SD, respectivamente. Esto indica que la SD empezaba a mostrarse como una tecnología de difusión explosiva para la realización de cultivos de verano de segunda (segundo cultivo en el año en el rastreo de los de invierno; ver abajo). Si se considera solamente el área de cultivos graníferos de invierno y verano en forma conjunta, la SD llega al 35%, con un rango a nivel de predios individuales de entre 5 y 100%. O sea que existían algunos casos de adopción total y muchos casos de productores que estaban comenzando a probar la nueva tecnología. Se encontró que el 65% del área de cultivos graníferos se había realizado con una combinación de barbecho químico y laboreo, lo que indicaba que el uso de glifosato comenzaba a tener adopción aún fuera de la tecnología de SD. Si los datos se restringían solamente a los departamentos de Soriano y el lindero sur de Río Negro (la zona alrededor de la sede de AUSID), los porcentajes del área total por cultivo, realizada con SD eran: Sorgo 35%, Trigo 43%, Girasol (1ra. y 2da.) 45%, Cebada 49% y Soja de 2da. 87% (Girasol de 2da. 90%).

La información más reciente apareció publicada en la Hoja Informativa de AUSID de mayo de este año. Se trata de una recopilación de la información obtenida por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA) del MGAP, sobre “modalidad de siembra”, en las encuestas que realiza regularmente cubriendo todo el país (Cuadro 2).

Cuadro 2. Adopción de la SD según cultivo

| Cultivo | Area Total ha | % de SD | Fuente |
|---------------------|------------------|------------|-----------------------|
| Trigo, 1996 | 250.264 | 10 | Bol. No. 184 |
| Cebada, 1996 | 146.121 | 9,5 | “ “ “ |
| Maíz, 96/97 | 61.300 | 5,4 | Enc.Agric.,no public. |
| Girasol 1ra., 96/97 | 31.800 | 6 | “ “ “ “ |
| Girasol 2da., 96/97 | 65.000 | 53 | “ “ “ “ |
| Sorgo, 96/97 | 38.800 | 24,5 | “ “ “ “ |
| Trigo, 1997 | 245.427 | 14,6* | Bol. No. 188 |
| Cebada, 1997 | 118.917 | 14,8* | “ “ “ |
| Mejoramientos, 97 | 473.000 | 12,1 | No publicado. |

*En la encuesta 1997/98, el término siembra directa también incluye laboreo mínimo.

En la Hoja Informativa de AUSID se indica que se sigue estando en el período de adopción de la nueva tecnología, y que se sigue en muchos casos usando como una técnica aislada y no como un sistema, como es el caso de los cultivos de segunda.

Lamentablemente no estamos en conocimiento de información sobre el uso de SD, o alguno de sus elementos tecnológicos, en el cultivo de arroz, en el que también ha cobrado importancia.

BIBLIOGRAFÍA.

- Allmaras, R.R., G.W. Langdale, P.W. Unger, R.H. Dowdy y D.M. Van Doren (1991). Adoption of conservation tillage and associated planting systems. In R. Lal y F.J. Pierce (Eds.) Soil management for sustainability, SWCS, p: 53-83.
- Amarante, P., F. García Préchac y M. Pérez Bidegain (1996 y 1997). Siembra directa en sistemas lecheros y ganaderos de la región centro y sur del país. In García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 73-86.
- AUSID (1998). Hoja informativa No. 28.
- Barreiro, B. y A. Mazzilli (1994). Evaluación del primer año de una rotación agrícola con siembra directa en dos suelos. Tesis de graduación, Fac. de Agron. de la UDELAR, 94 p.
- Blevins, R.L. y W.W. Frye (1993). Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. in Agronomy*, vol. 51, p: 33-78.
- Bordoli, J.M. (1997). Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. In Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (Cereales y pasturas), Fac. de Agron. de la UDELAR, Un. de Ed. Perm., p: 72-77.
- CREA (1998). Costos de orientación de verdeos de invierno, *Rev.CREA, FUCREA*, No. 191, p: 46-47.

- Crosson, P., M. Hanthorn y M. Duffy (1986). The economics of conservation tillage. In M. Sprague y G. Triplett (Eds.) No-tillage and surface-tillage agriculture, The tillage revolution, J. Wiley & Sons, p: 409-436.
- CTIC (1992). 1992 national survey of conservation tillage practices, CTIC, West Lafayette, IN, EEUU.
- Ellison, W.D. (1944). Studies of raindrop erosion. *Agric. Eng.* 25, p: 131-136, 181-182.
- Equipos Consultores-CONSUR (1994). Situación y perspectivas de la siembra directa en el Uruguay: una encuesta a productores, AUSID, 2da. Jorn. Nac. de SD, p: 65-77.
- Fox, R.H. y V.A. Bandel (1988). Nitrogen utilization with no-tillage. In M. Sprague y G. Triplett (Eds.) No-tillage and surface-tillage agriculture, The tillage revolution, J. Wiley & Sons, p: 117-148.
- Frye, W.W. y S.H. Phillips (1980). How to grow crops with less energy. In Cutting energy costs, The 1980 Yearbook of Agriculture, USDA, Washington, DC.
- García Préchac (1991). Strip position, tillage, and water regime effects on a strip intercropping rotation. Ph.D. Dissertation, Dept. of Agronomy, Iowa State Univ., 137 p.
- García Préchac, F. (1992a). Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas, INIA, *Inv. Agron.* 1(I): 127 –140.
- García Préchac, F. (1992b). Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, 3ra. Aproximación, INIA-Uruguay, Ser. Téc. No. 26, 63 p.
- García Préchac, F. y C. Clérico (1996). Utilización del modelo USLE-RUSLE en Uruguay. Anales en CD-ROM del XIII Cong. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Aguas de Lindóia, SP, Brasil.
- García Préchac, F. (1996 y 1997). Aspectos básicos del comportamiento del suelo en siembra directa: propiedades físicas. In García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 11-23.
- García Préchac, F., J.A. Terra y F. Blanco (1996 y 1997). Uso de elementos de la tecnología de siembra directa en producción forrajera en suelos de lomadas del este. In García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 87-100.
- García Préchac, F. (1998a). Informe final del proyecto Manejo y Conservación de Suelos, INIA-Fac. de Agronomía-BID-CONICYT No. 191/92.
- García Préchac, F. (1998b). Siembra directa de pasturas. En este curso.
- Ghaffarzadeh, M., F. García Préchac y R.M. Cruse (1997). Tillage effect on soil water content and corn yield in a strip intercropping system. *Agron. J.* 89: 893-899.

- Laco, A. y M. Thompson (1995). Siembra directa en explotaciones agrícola-ganaderas. Plan Agropecuario-MGAP, p: 1-5.
- Mannering, J.B. y C.R. Fenster (1977). Vegetative water erosion control for agricultural areas. In Soil erosion and sedimentation, ASAE, St. Joseph, MI, EEUU.
- Marchesi, E. (1997). La adopción de la siembra directa en el establecimiento agrícola gadero “La Sorpresa”. In Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 9-11.
- Martino, D. (1995). El herbicida glifosato: su manejo mas allá de la dosis por hectárea. INIA-La Estanzuela, Ser. Téc. No. 61, 27 p.
- Onstad, C.A. y W.B. Voorhees (1987). Hydrologic soil parameters affected by tillage. In Logan, T.J. et al. (Eds.) Effects of conservation tillage on groundwater quality, nitrates and pesticides, Lewis Publishers, p: 95-112.
- Oudry, N. (1977). Resultados experimentales con labranza reducida en La Estanzuela. Inf. Provisorio, CIAAB, Colonia, ROU, 11 p.
- Perdomo, C. (1997). Fertilización N de cultivos de invierno. In Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (Cereales y pasturas), Fac. de Agron. de la UDELAR, Un. de Ed. Perm., p: 68-71.
- Pérez Gomar, E. y F. García Préchac (1993). Manejo de suelos arenosos en Tacuarembó. INIA, Ser. Téc. No. 33, 22 p.
- Pérez Gomar, E., F. García Préchac y C. Marchesi (1996 y 1997). Siembra directa en sistemas basados en producción de forraje: Región Noreste, In García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 101-121.
- Risso, D.F. y E.J. Berretta (1996 y 1997). Mejoramiento de campos. In García Préchac, F.(Ed.) Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos, Fac. de Agronomía de la UDELAR, Un. de Ed. Permanente, p: 65-71.
- Russell, R.S. (1977). Plant root systems. Mc Graw-Hill, London, 298 p.
- Shear, G.M. (1985). Introduction and history of limited tillage. In Weed control in limited-tillage systems. WSSA, Monograph Series No. 2, p: 1-14.
- Terra, J.A. y F. García Préchac (1997a). Siembra directa, A. Intensidad de laboreo y fertilización nitrogenada en cultivos forrajeros. In Producción Animal, Unidad Experimental Palo a Pique, INIA-Treinta y Tres, Serie Activ. de Dif. No. 136, p: 81-92.
- Terra, J.A. y F. García Préchac (1997b). Intensidad de laboreo y fertilización nitrogenada en cultivos forrajeros de invierno sobre lomadas del este. In Jornada de Siembra Directa del VII Cong. Nac. de Ing. Agr., AIA-Uruguay, p: 99-105.

Wünsche, W.A. y J.A. Velloso (1982). Situação, importância e aplicação do cultivo reduzido no Rio Grande do Sul. In Caballero, H. y R.M. Díaz (Eds.) Labranza reducida en el Cono Sur, IICA-CIAAB, La Estanzuela, Colonia, ROU, p: 16-22.