

Conserve el suelo mediante la siembra directa.

1. Introducción.
2. Sistema de siembra directa. Definición.
3. Descripción del sistema.
4. Comparación entre el sistema convencional y el sistema de siembra directa en cuanto a pérdida de suelos.
5. Beneficios de una agricultura con alta cobertura del suelo.
6. Nuevos enfoques (paradigmas) en la producción agrícola.
7. Efectos de la siembra directa (sd) en diferentes propiedades del suelo.
8. Situación del sistema de siembra directa en el mundo.
9. Dificultades y limitaciones en la adopción de la siembra directa en América del Sur y cómo han sido superadas.
10. Perspectivas.
11. El secuestro del carbono y la siembra directa.
12. Conclusiones.
13. Bibliografía.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Una de las causas principales de la baja productividad agrícola en los países en desarrollo lo constituye la erosión del suelo (FAO, 1992). En América Latina, especialmente en las zonas semiáridas y semihúmedas, existen síntomas comunes de deterioro del suelo que han sido provocados principalmente por la intensificación de la producción comercial de cereales, oleaginosas, y algodón (Benites et al., 1992).

El empleo de prácticas de "Labranza Conservacionista" adecuadas puede detener los procesos de erosión del suelo en las áreas tradicionales de producción, y prevenirlos en las zonas de nueva o reciente expansión agrícola.

En términos generales, la "Labranza Conservacionista" implica la preservación de los residuos vegetales de cultivos previos, de ahí que se defina como cualquier tipo de labranza que mantenga al menos 30 % de la superficie del suelo cubierta con residuos hasta realizada la siembra (Manning et al., 1987). Los residuos protegen el suelo contra la acción directa del viento y el agua, lo que contribuye a reducir o eliminar el encostramiento, sellado y escorrentía.

La práctica más radical de Labranza Conservacionista es la denominada Siembra Directa (SD), también conocida como Labranza Mínima (LM) o Labranza Cero (Unger et al., 1993). Este sistema de siembra directa (SSD) constituye una alternativa a la siembra convencional, la cual nace de la necesidad de encontrar un sistema sostenible en el tiempo que asegure, a través del manejo de los suelos, que estos no perderán su fertilidad ni capacidad productiva y que las generaciones futuras recibirán suelos capaces de sostenerlas permanentemente.

Esta búsqueda se basa en la teoría de que los sistemas convencionales están deteriorando el medio ambiente y no son sostenibles. Lamentablemente, se observa como limitante común para introducir esta tecnología en la mayoría de los países latinoamericanos el alto costo de los equipos especiales para este sistema de labranza.

La Siembra Directa como un sistema de cultivo, no debe asociarse con el término que profesionalmente se conoce como lo contrario al trasplante, o sea, a la siembra de la semilla directamente en el campo adonde se le va a cultivar hasta la cosecha, ya que no corresponde exactamente con la forma en que se le emplea en lo que se llama el Sistema de Siembra Directa.

Los seguidores del sistema están tan convencidos por sus bondades y resultados que en muchos casos consideran que la Siembra Directa es la única forma de conseguir una agricultura productiva sostenible en el tiempo.

Esto se debe a los resultados que han logrado y que en muchos casos son impresionantes. Estos logros han sido conseguidos a través de mucho esfuerzo y no pocos fracasos en el camino por parte de los propios agricultores.

A pesar de esto, no se debe ser tan categórico y concluyente ya que pueden haber situaciones que necesitan de soluciones distintas, sin embargo, la Siembra Directa parece demostrar que este es uno de

los caminos correctos en la solución del significativo problema existente actualmente sobre la notoria degradación de los suelos que es necesario revertir.

Palabras claves:

Siembra directa; conservación de suelos; erosión; labranza conservacionista; agricultura sostenible.

## 2. SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA. DEFINICIÓN.

El Sistema de Siembra Directa (SSD) se ubica dentro del concepto de la agricultura sostenible, definida como aquella que procura establecer una productividad alta del suelo permanentemente, a manera de conservar o restablecer un medio ambiente ecológico equilibrado (Adelgelmy Kotschi, 1985).

Comprende, además, la viabilidad económica y el mejoramiento de la calidad de vida.

El Sistema de Siembra Directa (SSD), también llamada en español “Siembra Directa”, “Labranza Cero”; “No Tillage Agriculture” en inglés o “Plantio Direto” en portugués, es definida por el Conservation Technology Information Center de EE.UU. como el sistema de preparación del suelo y de vegetación para la siembra en el que el ‘disturbio’ realizado en el suelo para la colocación de las semillas es mínimo, ubicando éstas en una 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.

## 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

Tal como indica la definición anterior, el SSD comprende un conjunto de técnicas integradas que tienen por objetivo mejorar las condiciones ambientales (agua – suelo – clima) para explotar en la mejor forma posible el potencial genético de producción de los cultivos. Deben tenerse en cuenta tres requisitos mínimos:

- . Suelo con cero o mínima labranza.
- . Rotación de cultivos.
- . Suelo cubierto con rastrojos vegetales permanentemente.

No obstante, el SSD no es un sistema de reglas fijas sino que debe ser adaptado y enriquecido con las adaptaciones y experiencias locales. El objetivo principal es mantener o restaurar de manera natural la vida del suelo, su contenido de materia orgánica y sus condiciones físicas, químicas y biológicas para que pueda ser agrícolamente productivo y que sea rentable para el agricultor por medio de la reducción de costos de cultivo.

Al mismo tiempo se logra la preservación del medio ambiente al reducirse la emisión de CO<sub>2</sub> y la disminución de la erosión hidráulica y eólica, además de otros beneficios.

El SSD trata de reproducir en zonas de cultivo los procesos naturales propios de zonas naturales en donde los residuos vegetales y animales son incorporados al suelo de acuerdo a los ciclos naturales en forma de capas acumulativas.

Por esto, el impulso inicial debe darse en las zonas tropicales o subtropicales que tienen condiciones ambientales de humedad y calor para que los procesos de descomposición se produzcan con cierta facilidad.

## 4. COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL Y EL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA EN CUANTO A PÉRDIDA DE SUELOS.

Sin dudas, el sistema de siembra directa resulta sustancialmente más ventajoso y efectivo que el sistema convencional en cuanto a la pérdida de suelos que se produce durante la implementación de dicho sistema; todo ello corroborado en el acápite anterior.

Un ejemplo de ello lo tenemos en el siguiente estudio realizado en Illinois (Abril, 1973), USA, el cual muestra el efecto de la labranza cero versus el efecto de la labranza convencional sobre la pérdida de suelo en un promedio de cuatro años. (Ver Cuadro # 1).

Cuadro # 1. Efecto de la labranza vs. labranza convencional sobre pérdida de suelo por erosión (1969-1972).

<b>SISTEMA DE LABRANZA</b>	<b>PÉRDIDA DE SUELO (t/ha/año)</b>	
	<u>Pendiente(5%)</u>	<u>Pendiente(9%)</u>
<i>Convencional: trigo y maíz en doble cultivo</i>	6.81	18.86
<i>Labranza cero: trigo y maíz en doble cultivo</i>	0.76	1.21
<i>Labranza cero: maíz continuo</i>	0.56	1.81

Fuente: Gard, Illinois, Abril 1973.

## 5. BENEFICIOS DE UNA AGRICULTURA CON ALTA COBERTURA DEL SUELO.

Los sistemas de labranza conservacionista del suelo y la siembra directa ofrecen numerosas ventajas que no pueden ser obtenidas con la labranza intensiva. Estas ventajas han sido resumidas de la siguiente forma:

1. Necesidades menores de mano de obra.
2. Economía de tiempo.
3. Menor desgaste de la maquinaria.
4. Economía de combustible.
5. Aumento de la productividad a largo plazo.
6. Mejoramiento de la calidad del agua superficial.
7. Disminución de la erosión.
8. Mayor retención de humedad.
9. Aumento de la infiltración de agua en el suelo.
10. Disminución de la compactación del suelo.
11. Mejoramiento de la estructura del suelo.
12. Aumento de la vida silvestre.
13. Menor emisión de gas carbónico a la atmósfera.
14. Reducción de la polución del aire.

## 6. NUEVOS ENFOQUES (PARADIGMAS) EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.

Sistemas tradicionales de uso agrícola con laboreo intensivo tienen como resultado (en los trópicos y subtrópicos), la degradación y la pérdida de productividad de los suelos. Esto tiene como consecuencia la pobreza, el éxodo rural, el aumento de poblaciones marginales y los conflictos sociales.

Si se pretende ofrecer a los agricultores y campesinos y sus familias una posibilidad de sobrevivencia digna en el campo y si se procura practicar una agricultura sostenible, deberá cambiarse el enfoque de uso y manejo del suelo.

A continuación se presentan los enfoques antiguos y actuales (paradigmas) y se analizan las consecuencias de estas dos formas de manejo del suelo.

### ENFOQUE ANTIGUO.

- La preparación del suelo es indispensable para la producción agrícola
- Entierro de los rastrojos con los implementos de preparación del suelo
- Suelo desnudo durante semanas y meses
- Calentamiento del suelo por radiación directa
- Quema de rastrojos permitida
- Énfasis en procesos químicos del suelo
- Control de plagas preferentemente químico
- Abonos verdes y rotación como opción
- La erosión del suelo es aceptada como un fenómeno inevitable asociado a la agricultura en terrenos con declive

### ENFOQUE ACTUAL.

- Siembra Directa, la preparación del suelo no es necesaria para la producción vegetal
- Los rastrojos de cultivos se mantienen en la superficie (mulch)
- Cobertura permanente del suelo
- Reducción de las temperaturas del suelo
- Quema de rastrojos prohibida
- Énfasis en procesos biológicos del suelo
- Control de plagas preferentemente biológico
- Abonos verdes y rotación obligatoria
- La erosión del suelo no es más que un síntoma de que para esa área y su ecosistema se han utilizado métodos inadecuados de cultivo

### CONSECUENCIAS DE LA PREPARACIÓN DEL SUELO Y DEL SUELO DESNUDO.

1. Erosión hídrica y eólica inevitable
2. Menor infiltración de agua en el suelo
3. Humedad del suelo disminuida
4. Inevitable disminución del contenido de

### CONSECUENCIAS DE LA SIEMBRA DIRECTA Y DE LA COBERTURA PERMANENTE DEL SUELO.

1. Erosión hídrica y eólica controlada
2. Mayor infiltración de agua en el suelo
3. Mayor humedad del suelo
4. Aumento o mantenimiento del contenido

materia orgánica del suelo

5. El carbono del suelo se escapa en forma de dióxido de carbono en la atmósfera y contribuye al calentamiento global del planeta
6. Degradación del suelo (química, física y biológica)
7. Disminución de la productividad de los cultivos
8. Mayor uso de fertilizantes
9. Amenaza la sobrevivencia en el campo (menores rendimientos, producción sin rentabilidad, insuficientes entradas de dinero)
10. Pobreza, éxodo rural, aumento de las poblaciones marginales y de los conflictos sociales

de materia orgánica (mejora la calidad del suelo)

5. El carbono es secuestrado en el suelo mejorando su calidad, contrarrestando al mismo tiempo el calentamiento global del planeta
6. Mejoramiento de la calidad del suelo (química, física y biológica)
7. Aumento de la productividad de los cultivos
8. Menor uso de fertilizantes y menores costos de producción
9. Asegura el ingreso de los agricultores y campesinos a través de una buena rentabilidad y de una producción sostenible
10. Satisfacción de las necesidades básicas, aumento del estándar y de la calidad de vida de las familias de agricultores y campesinos

#### EFFECTOS EXTERNOS DE LA EROSIÓN.

- Sedimentación de ríos, embalses y lagos en la microcuenca
- Reducción de la calidad del agua
- Problemas en las centrales hidroeléctricas
  
- Sedimentación de caminos
- Costos más altos para el estado y para la sociedad debido a los efectos externos de la erosión

#### EFFECTOS EXTERNOS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN SIEMBRA DIRECTA.

- Disminución de la sedimentación de ríos, embalses y lagos en la microcuenca
- Mejoramiento de la calidad del agua
- Sin problemas en las centrales hidroeléctricas
  
- No ocurre sedimentación de caminos
- Reducción de costos para el estado y para la sociedad debido a efectos externos del sistema de producción

#### RESULTADO:

Explotación del suelo = Extrativismo.  
No es posible el uso sostenible del suelo (ecológicamente, socialmente y económicamente).

#### RESULTADO:

Utilización racional del suelo.  
Uso sostenible del suelo asegurado (ecológicamente, socialmente y económicamente).

#### 7. EFECTOS DE LA SIEMBRA DIRECTA (SD) EN DIFERENTES PROPIEDADES DEL SUELO.

- Efecto de la SD en las propiedades químicas del suelo.  
La Siembra Directa, en comparación con la preparación convencional de los suelos, tiene efectos positivos en las propiedades químicas más importantes del suelo. Bajo el sistema de Siembra Directa se registran mayores valores de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, como también mayores valores de pH y mayor capacidad de intercambio catiónico, pero menores tenores de Al (Sidiras y Pavan, 1985; Derpsch et al., 1986; Lal 1976: Lal, 1983; Crovetto, 1992).
- Efecto de la SD en las propiedades físicas del suelo.  
Bajo el sistema de la Siembra Directa, en comparación a la preparación convencional, se registran mayores tasas de infiltración (Roth, 1985), lo que lleva a una drástica reducción de la erosión. Las investigaciones a campo muestran que en Siembra Directa se miden mayores tenores de humedad y temperaturas más bajas del suelo (Kemper y Derpsch, 1981, Sidiras y Pavan, 1986). Al mismo tiempo se registra una mayor densidad del suelo (Lal, 1983; Derpsch, et al., 1991), la cual algunos científicos califican como negativa. En el Paraguay, Brasil y Argentina sin embargo, a pesar de la mayor densidad de los suelos bajo Siembra Directa, se logran mayores rendimientos con este sistema.
- Efecto de la SD en las propiedades biológicas del suelo.

Dado que no se utilizan implementos que destruyen los "nidos" y canales que construyen los microorganismos, se registra una mayor actividad biológica bajo el sistema de Siembra Directa. Además, los microorganismos no mueren de hambre bajo este sistema (como en el caso de los suelos descubiertos de la agricultura convencional), porque siempre se encuentran sustancias orgánicas en la superficie que proveen los alimentos necesarios. Finalmente, las condiciones más favorables de humedad y temperatura también tienen un efecto positivo en la vida de los microorganismos del suelo. Por ello, en el sistema de Siembra Directa se registran más lombrices, más artrópodos (acarina, colémbolas, insectos), más microorganismos (rizobios, bacterias y actinomicetos), así como también hongos y micorrizas (Kemper y Derpsch, 1981, Kronen, 1984, Voss y Sidiras, 1985).

#### 8. SITUACIÓN DEL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA EN EL MUNDO.

Desde sus inicios en la década de 1970, la práctica del SSD en el mundo se ha venido incrementando rápidamente en varios países, lo que ha permitido ir ganando más experiencia sobre el tema.

En la siguiente tabla aparece la situación que en el 2000/2001 existía en el mundo respecto al área agrícola existente con la aplicación del sistema de siembra directa.

Tabla # 1 Situación general de la siembra directa en el mundo (Has).

PAÍS	2000/ 2001
EE.UU.	21.120.000 1)
Brasil	13.470.000 2)
Argentina	9.250.000 3)
Australia	8.640.000 4)
Canadá	4.080.000 5)
Paraguay	960.000 6)
México	650.000 7)
Bolivia	350.000 8)
Venezuela	150.000 9)
Chile	100.000 10)
Colombia	70.000 11)
Uruguay	50.000 12)
Otros	1.000.000 13)
Total	59.890.000

Datos de 1999 – 2000. Varios autores.

Sin embargo, en algunos casos, como en Brasil hubieron agricultores que abandonaron su práctica, principalmente por la falta de maquinaria apropiada para hacer la siembra en predios con extensiones grandes y también porque no encontraban los resultados esperados ya sea por las condiciones especiales de sus predios o por errores. La falta de maquinaria se solucionó con la aparición en Brasil de fábricas de sembradoras principalmente capaces de sembrar grandes extensiones sobre suelos sin labranza y cubiertos de paja (Residuos vegetales).

## 9. DIFICULTADES Y LIMITACIONES EN LA ADOPCIÓN DE LA SIEMBRA DIRECTA EN AMÉRICA DEL SUR Y CÓMO HAN SIDO SUPERADAS.

### 9.1 Máquinas adecuadas.

Solamente en 1975 fueron construidas las primeras máquinas para siembra directa en Brasil, de tal forma que muchos agricultores se iniciaron en este sistema, transformando sus máquinas convencionales. Las primeras máquinas construidas en el Brasil, basadas en el azadón rotativo (Howard Rotacaster) eran lentas y los agricultores quedaron muy contentos cuando máquinas más rápidas y perfeccionadas, basadas en el triple disco aparecieron en el mercado en 1976. La importación de máquinas ha sido virtualmente imposible en el Brasil y difícil en otros países debido a los altos impuestos.

La producción de máquinas especializadas comenzó mucho más tarde en otros países de América Latina como Argentina y México. Hoy en día, aproximadamente 15 industrias en Brasil y unas 30 en Argentina están construyendo máquinas de siembra directa para medianos y grandes productores. Para agricultores mecanizados, pequeños o medianos, se recomienda que compren una máquina multiuso, adecuada para granos gruesos (soja, maíz, sorgo, girasol), con espaciamientos mayores entre líneas y al mismo tiempo adecuadas para granos finos (trigo, avena, centeno y cultivos de abonos verde en general) con espaciamientos estrechos entre líneas. La falta de consideración de este aspecto, coloca a los agricultores que no tienen capital suficiente para comprar dos máquinas, en situación difícil.

Por lo general estos agricultores optan por una máquina de granos gruesos y se ven por lo tanto imposibilitados de sembrar cultivos como el trigo o los abonos verdes, dificultando la realización de rotaciones adecuadas de cultivos. Dejar el terreno en descanso en el invierno en el Sur de Brasil o Paraguay tiene como resultado una alta infestación de malezas y altos costos para eliminarlas.

## 9.2 Herbicidas adecuados.

Los primeros años de adopción de la siembra directa en América del Sur fueron especialmente difíciles, porque los únicos herbicidas disponibles eran Paraquat y 2,4-D. El azadón salvó muchos cultivos de un fracaso en esa época.

Al inicio de la década de 1980, el número de herbicidas disponibles para el sistema había crecido a tal punto, que resultaba difícil saber las propiedades de los distintos productos disponibles en el mercado. Los únicos que en esa época ofrecerían informaciones sobre las características de los diferentes productos eran las propias compañías que los producían. Esto hacía muy difícil para los agricultores identificar y encontrar los productos que necesitaban.

Dos publicaciones escritas en el inicio de la década de 1980 (Rodríguez y Almeida, 1998; Lorenzi, 1994), ambas ahora en su cuarta edición, ayudaron a los productores y técnicos a disponer de más información sobre el control de malezas en siembra directa permitiendo que un mayor número de agricultores adoptara este sistema.

La producción y disponibilidad de una mayor variedad de herbicidas más eficientes, junto con una mayor diversidad de máquinas de siembra directa más eficientes, disponibles en Brasil y Argentina, ha llevado a un crecimiento sin precedentes de la siembra directa en América del Sur.

## 9.3 Cambio mental.

Un cambio mental de agricultores, técnicos, extensionistas e investigadores, distanciándose de operaciones de preparación degradantes del suelo y cambiando hacia sistemas de producción agrícola sustentables como la siembra directa fue necesario para obtener cambios en actitudes de los agricultores.

Mientras la cabeza permanezca convencional será muy difícil implementar una siembra directa exitosa a nivel de agricultor. Hemos aprendido, que si el agricultor no realiza un cambio mental radical en su cabeza y mente, nunca será capaz de hacer funcionar la tecnología en forma adecuada. Hemos encontrado que esto no es solamente verdadero para agricultores, sino también para técnicos, extensionistas y para investigadores.

La siembra directa es tan diferente del sistema convencional y pone todo "cabeza abajo", que cualquier persona que quiera tener éxito con esta tecnología tiene que olvidar prácticamente todo lo que ha aprendido sobre labranza convencional. Al mismo tiempo uno debe estar constantemente preparado para aprender nuevos aspectos de este sistema de producción. Antes de cambiar su sembradora el agricultor deberá cambiar su mente para que el sistema funcione.

## 9.4 Conocimiento.

La falta de conocimientos técnicos apropiados y adecuados al sitio sobre el sistema de siembra directa ha sido probablemente la mayor limitación para la difusión del sistema en algunos países y regiones de América Latina.

El mayor cambio que un agricultor tiene que enfrentar cuando se mueve del sistema convencional al sistema de siembra directa probablemente sea el control de malezas. Para estar en condiciones de manejar esta nueva situación el agricultor tiene que tener buen conocimiento especialmente sobre herbicidas, malezas y tecnología de aplicación.

## 10. PERSPECTIVAS.

- El conocimiento y la información es la principal limitación a la adopción de la siembra directa en la mayoría de los países. La información debe ser relevante, actual, apropiada al sitio, verdadera y útil si es que se pretende generar impacto entre los agricultores.
- El primer paso antes de cambiar el sistema de producción e iniciar la siembra directa debería ser que agricultores, investigadores, técnicos y extensionistas mejoren sus conocimientos sobre todos los aspectos del sistema.
- La superioridad del sistema de siembra directa sobre la preparación convencional ha sido en general probada bajo una gran variedad de condiciones en todo el mundo. Ahora es necesario, desarrollar y adaptar el sistema localmente y asegurarse de que la tecnología funcione bien bajo las condiciones ambientales y socio- económicas de cada lugar.

- Necesitamos aprender cuáles suelos no son apropiados o tienen limitaciones para aplicar el sistema y cómo podemos sobreponernos a esas limitaciones.
- También tenemos que saber que existen otras limitaciones para la adopción bajo condiciones locales (ej: máquinas, herbicidas abonos verdes adecuados, rotaciones adecuadas, conocimiento) y también estar conscientes de eventuales limitaciones socio-económicas, y encontrar formas de sobreponernos a esas limitaciones.
- La actitud "no va a funcionar" no ayuda a resolver problemas en siembra directa! Si es que estamos conscientes sobre el hecho de que la siembra directa es un sistema de producción agrícola verdaderamente sustentable en la agricultura extensiva de los trópicos y subtropicos, entonces tendremos que encontrar formas de sobreponernos a los problemas y a las limitaciones.
- No deberíamos preocuparnos por rendimientos menores en el sistema de siembra directa, mientras tengamos retornos económicos mayores.
- El control de la erosión, la mejoría de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, los costos menores de maquinaria, la reducción en los costos de la mano de obra y horas tractor, el poder realizar los trabajos en el momento oportuno, los retornos económicos más altos y otros beneficios del sistema, deberán garantizar un crecimiento continuo de la siembra directa permanente en la mayoría de las regiones del mundo.

## 11. EL SECUESTRO DEL CARBONO Y LA SIEMBRA DIRECTA.

Muchas veces se habla del Secuestro de Carbono y la Siembra Directa, pero no siempre se sabe a ciencia cierta a que nos referimos o como funciona este proceso. Al respecto, conviene aclarar algunos conceptos básicos antes de profundizar en el tema.

La actividad humana a lo largo de su historia ha ido incrementando la concentración de algunos gases en la atmósfera los cuales son responsables del llamado "efecto invernadero", con el consiguiente aumento de la temperatura media de la atmósfera.

Para entender este proceso conviene comenzar repasando una ley de física que dice que "todos los cuerpos emiten radiaciones cuya longitud de onda en inversamente proporcional a la temperatura del cuerpo". Simplificándolo, un cuerpo que tenga alta temperatura emitirá radiación de onda corta; en tanto, que un cuerpo con menos temperatura emitirá radiación de onda larga. Siguiendo con el razonamiento, la radiación solar es de onda corta, y logra atravesar la atmósfera, ya que los gases presentes son transparentes a este tipo de radiación.

Cuando llegan al suelo los rayos son absorbidos, produciendo su calentamiento. Luego, en función a su temperatura, el suelo emite radiación de onda larga hacia la atmósfera. Pero, a diferencia de lo que ocurría con los rayos solares, algunos gases presentes (como el dióxido de carbono) son opacos a este tipo de rayos, reflejándose y volviendo al suelo. Dado que la concentración de este tipo de gases viene aumentando, el efecto final es que al no permitir la salida de la irradiación emitida por el suelo haga un efecto de espejo, recalentando la atmósfera.

Por lo tanto, resulta crucial que existan actividades que sean capaces de captar CO<sub>2</sub> del aire y secuestrarlo en el suelo, para tratar de llevar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a sus niveles normales, revirtiendo el proceso. En este sentido, la forestación y la Siembra Directa (SD) son ejemplos de prácticas secuestradoras de carbono.

### 11.1 EL ROL DE LA AGRICULTURA Y EL CASO DE LA SIEMBRA DIRECTA.

Las plantas naturalmente realizan, en presencia de luz solar, un proceso denominado fotosíntesis mediante el cual generan los diferentes tejidos que las forman. Para ello toman agua y nutrientes del suelo, y dióxido de carbono de la atmósfera. Cuando mueren, los restos vegetales (ricos en carbono) quedan sobre la superficie del suelo y son descompuestos por diferentes organismos en forma sucesiva.

En este proceso biológico de transformación, parte de ellos pasan a formar la materia orgánica del suelo. En consecuencia, la materia orgánica se convierte en un reservorio de carbono, ya que este elemento estaba presente como parte constitutiva de las plantas.

Este proceso natural, que ocurre en una pradera, en un bosque o en el jardín de una casa puede ser modificado por la actividad humana. Históricamente, agricultura es sinónimo de labranzas. Es más, actualmente el 95% del total de la superficie mundial bajo producción agrícola se realiza en labranza convencional.

Así analizada la agricultura puede ser vista (y de hecho lo es) como una actividad netamente emisora de CO<sub>2</sub>. Al roturar en forma recurrente el suelo la agricultura tradicional promueve (por un lado) una oxigenación violenta y (por otro) deja expuesta fracciones lábiles de la materia orgánica a la acción de la biomasa microbiana. Y, si bien es cierto que parte de ese carbono vuelve a través de los rastrojos, el balance final de C en el suelo es negativo.

Esto provoca una disminución de los tenores de materia orgánica, la cual se pierde en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, con resultados negativos para la productividad del suelo y para el ambiente en su sentido más amplio.

Sin embargo, en los últimos 20 años la Siembra Directa ha aparecido en escena, planteando sistemas productivos agropecuarios no sustentados en la necesidad de las labranzas. Manejada criteriosamente (esto es con rotación de cultivos y reposición de nutrientes) la SD contribuye a aumentar los porcentajes de materia orgánica del suelo, favoreciendo el secuestro de carbono y mitigando; en consecuencia, el efecto invernadero. Los residuos de los cultivos al no ser perturbados son descompuestos lentamente por los organismos del suelo, haciendo que se acumule materia orgánica. Por otro lado, la ausencia de laboreo no solo hace que esa materia orgánica no caiga drásticamente, sino que propicia su aumento.

## 11.2 BIOMASA MICROBIANA EN SIEMBRA DIRECTA Y SU RELACIÓN CON EL SECUESTRO DE CARBONO.

El tipo de labranza ha demostrado tener un gran efecto sobre la distribución de los residuos y nutrientes en el suelo. La implementación de la siembra directa tiende a mejorar las propiedades biológicas, químicas y bioquímicas de los suelos, y cambia la composición, distribución y actividades de las comunidades microbianas (Deng y Tabatabai, 1997; citado por Montero y Sagardoy, 2001). Al respecto, Montero (2001) realizó un estudio con el objetivo de estudiar durante dos años los niveles y tendencias microbiológicas de un suelo con 6 y 9 años bajo SD y cultivado con maíz y soja.

Durante el período de estudio, se observó una tendencia creciente, tal que existió un aumento de hasta 219 % en el C microbiano a los 21 meses de iniciado el estudio. Simultáneamente, los cultivos de maíz y soja promovieron incrementos de 28 % y 12 % en los contenidos de materia orgánica (Fig. 4). Esto reflejó la respuesta de la biomasa microbiana a la acumulación de sustrato carbonado que se produce, a través de los años, en los suelos superficiales tratados con SD y manejados adecuadamente (Kandeler et al. , 1999a, 1999b).

Resultados similares fueron observados por McCarty et al. (1998) quienes registraron, después de tres años de aplicar SD, un aumento del 33 % en el C microbiano presente en el perfil superficial (0-2,5 cm) de un suelo franco arcilloso cultivado con maíz, en Maryland (Estados Unidos).

En conclusión, mencionan Montero y Sagardoy (2001) los cultivos de maíz y soja realizados durante dos años en un suelo Argiudol típico que tenía seis y nueve años de cultivo de trigo y soja bajo SD, mostraron un efecto positivo sobre la microbiología del suelo superficial. La rotación de cultivos mencionada suministró adecuadas cantidades y calidades de residuos y otros materiales orgánicos porque, además de promover aumentos en los contenidos de materia orgánica, estimuló significativamente los niveles de C de la biomasa microbiana. Además, se observó que el suelo del lote con más años de SD liberaba menores niveles de CO<sub>2</sub>. Esto sugiere una protección contra el ataque microbiano de la materia orgánica y favorece el secuestro de C en el suelo.

## 11.3 BONOS DE CARBONO.

Hay algunos indicios que indican que sería posible que en un futuro cercano los productores que secuestran carbono vía SD reciban una retribución por su servicio. Al respecto, es factible que se establezca un sistema de comercialización de créditos de carbono. Algunas compañías de energía han comenzado a comprar y negociar bonos de carbono en algunos casos. Como ejemplo, empresas eléctricas de América del Norte y Europa que están pagando a productores de Canadá, y Estados Unidos (Pacífico Noroeste y Texas) entre 3 y 4 U\$S/acre (entre 7.5 y 10 U\$S/ha) por secuestrar carbono.

Pero incluso, si no hubiera pagos por el secuestro de carbono, el aumento de materia orgánica que se logra es un negocio en sí mismo, debido al impacto positivo que su incremento posee sobre diversas propiedades edáficas que influyen en la productividad de un suelo.

## CONCLUSIONES.

- ☑ El sistema de siembra directa permite iniciar una etapa de mejoramiento de la calidad de los suelos incrementando el stock de COS - lo cual aumenta la fertilidad, mejora la economía del agua y disminuye drásticamente la tasa de erosión.
- ☑ La SD incrementa la cantidad de carbono del suelo y produce cambios en la calidad de la materia orgánica con tendencia a aumentar las fracciones gruesas, especialmente en los suelos con menor contenido relativo de materiales finos.
- ☑ La rotación de cultivos es capaz de suministrar adecuadas cantidades y calidades de residuos y otros materiales orgánicos, además de promover aumentos en los contenidos de materia orgánica, así como estimular significativamente los niveles de C de la biomasa microbiana.
- ☑ La SD contribuye, además de aumentar los porcentajes de materia orgánica del suelo, favorecer el secuestro de carbono y por tanto mitigar; en consecuencia, el efecto invernadero.
- ☑ La implementación de sistemas de Siembra Directa (SD) es una alternativa tecnológica que controla con gran efectividad la erosión, considerado éste como el principal factor degradante de los suelos.
- ☑ La práctica de la SD se ha venido expandiendo por el mundo desde sus inicios, sobre todo en países altamente industrializados.
- ☑ Debido a la preparación del suelo y bajo condiciones tropicales y subtropicales, la materia orgánica generalmente se mineraliza a tasas mayores que las posibilidades de reposición, resultando en contenidos decrecientes de materia orgánica en el suelo y en una disminución del rendimiento de los cultivos a través del tiempo.
- ☑ Las altas intensidades de lluvias que prevalecen en los trópicos están generalmente asociadas (inclusive en terreno casi plano) con pérdidas de suelo mayores que la regeneración natural, resultando en degradación química, física y biológica del suelo y en una disminución del rendimiento de los cultivos a través del tiempo.
- ☑ Debido a que la degradación de la materia orgánica y/o la erosión no puede ser evitada cuando el suelo es arado o preparado mecánicamente, la sustentabilidad de la producción agrícola no puede ser alcanzada mientras se prepara el suelo en los trópicos. La arada y la preparación mecánica del suelo son antagónicos al uso sostenible de la tierra.
- ☑ La Siembra Directa en cantidades razonables de residuos vegetales en general mejora las características químicas, físicas y biológicas del suelo, tornando posible una agricultura sostenible.
- ☑ La preparación mecánica del suelo resulta en emisiones inaceptables de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera y en vez del carbono ser depositado en el suelo aumentando su fertilidad, el revolvimiento del suelo contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global del planeta.
  - La utilización del sistema de Siembra Directa con cobertura permanente del suelo no solamente mejora la calidad del suelo para el agricultor, sino mejora el medio ambiente para todos.
  - La Siembra Directa sobre residuos de cultivos anteriores o sobre abonos verdes en combinación con rotaciones adecuadas de cultivos, es el sistema de producción del futuro si es que realmente se procura poner en práctica una agricultura sostenible.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Crosby, Y.H. 2001 ¿Alternativa para la sostenibilidad de la agricultura peruana? Ministerio de Agricultura del Perú.
- Crovetto, C., 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, 301pp.
- Crovetto, C., 1992: Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Derpsch et al., 1986: Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no- tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil & Tillage Research, 8, p 253-263.
- Derpsch et al., 1991: Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), TZ- Verlag, Rossdorf.
- Gil, R, L; Alborno, A, 1994. Adaptación experimental para una sembradora de siembra directa. Anzoátegui, Venezuela.
- ISTRO, 1997: International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), INFO- EXTRA, Vol. 3 Nr° 1, Enero 1997.
- Kemper, B., Derpsch, R., 1981: Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no- tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil and Tillage Research, 1, 253 - 267.
- Kronen, M., 1984: Der Einfluß von Bearbeitungsmethoden und Fruchtfolgen auf die Aggregatstabilität eines Oxisols. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 25, 172 - 180.
- Lal, R., 1976: No- tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria; Soil. Sci. Soc. Am. J.; 40, 762- 768.
- Lorenzi, H., 1994: Manual de identificação e controle de plantas daninhas, plantio direto e convencional, 4ª edição, Editora Plantarum, Nova Odessa, Brazil, 299 pp
- Rodríguez, B.N., Almeida, F.S., e 1998: Guía de herbicidas. 4ª Edição, Editora dos autores, Londrina 1998, 648 pp
- Roth, C. H., 1985: Infiltrabilität von Latossolo- Roxo- Böden in Nordparaná, Brasilien, in feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen und Rotationen. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 83, 1 - 104.
- Sidiras, N., Pavan, M.A., 1985: Influencia do sistema de manejo do solo no nivel de fertilidade. R. bras. Ci. Solo, 9, 249 - 254.
- Sidiras, N., Pavan, M.A., 1986: Influencia do sistema de manejo na temperatura do solo. R. bras. Ci. Solo, 10, 181 - 184.
- Voss, M., Sidiras, N., 1985: Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. Pesq. agropec. bras., 20, 775 - 782.

Datos del autor.

Edenys Miranda Izquierdo

Ing. Agrónomo

emiranda@af.upr.edu.cu