

Conservación de los recursos naturales para una **Agricultura** sostenible

Fertilidad del suelo

Principios del manejo del suelo

Elementos básicos del suelo

Efectos en las propiedades del suelo

Efectos de la Agricultura de Conservación
sobre las propiedades físicas del suelo

Efectos de la Agricultura de Conservación
sobre las propiedades químicas del suelo

Manejo de la fertilidad del suelo

Bibliografía

Principios de manejo del suelo y preparación de la tierra

Tradicionalmente, los agricultores practican la labranza convencional con arados de vertederas o discos y rastras de discos. Piensan que para obtener una cama de siembra uniforme libre de malezas es necesario labrar el suelo. Para poder discutir los conceptos «la labranza reduce la productividad del suelo» y «la Agricultura de Conservación beneficia el suelo», se debe comprender lo básico del suelo, los principios de su manejo y estudiar las ventajas y desventajas de ambos sistemas (Tabla 1).



LÁMINA 1
Maquinaria pesada usada para la preparación convencional de la tierra, causando la destrucción de la estructura y pérdida de partículas finas del suelo (polvo).
(J. Kienzle)

TABLA 1 Ventajas y desventajas de la labranza convencional y de la agricultura de conservación

Labranza convencional	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ☺ hay maquinaria disponible ☺ incorpora fertilizantes ☺ necesita menos manejo ☺ suprime malezas ☺ elimina la compactación del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ usa más combustible ☹ necesita más mano de obra ☹ necesita más tractores ☹ provoca más compactación ☹ causa más erosión
Agricultura de Conservación	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ☺ conserva la humedad del suelo ☺ usa menos combustible ☺ requiere menos tiempo ☺ necesita menos maquinaria ☺ provoca menos compactación ☺ ahorra dinero 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ dificultosa en suelos arcillosos con mal drenaje ☹ requiere equipos especializados ☹ reduce la temperatura del suelo ☹ posible incremento de plagas en monocultivo ☹ requiere alto nivel de manejo

Como el suelo es el recurso básico de los agricultores, debe ser cuidado con el fin de mejorar, conservar y hacer un uso sostenible del mismo. El principal objetivo es conservar los recursos del suelo a fin de permitir su uso futuro:

- reducir las pérdidas de suelo
- incrementar la fertilidad natural
- mejorar la estructura del suelo
- dejar el suelo en las mismas o mejores condiciones para generaciones futuras

El rendimiento de los cultivos está estrechamente ligado a la productividad del suelo la cual, a su vez, depende estrechamente del manejo dado. Los siguientes factores necesitan estar en óptima situación para el buen comportamiento del suelo y, por lo tanto, óptimo crecimiento de la planta:

- capacidad de retención del agua
- densidad
- porosidad
- estructura
- salud

Elementos básicos del suelo

El suelo consiste de cuatro componentes:

- materia orgánica (5 %)
- agua (25 %)
- aire (25 %)
- partículas de suelo o material mineral (45 %); estas son de tres tipos:
 - arena
 - limo
 - arcilla

La proporción en que se encuentran estos tres tipos de partículas determina la **textura** del suelo. Los tres tipos diferentes de partículas difieren en su tamaño y en su capacidad de retención de nutrientes. La arena forma las partículas más grandes y la arcilla las más finas. La retención de nutrientes se refiere a la capacidad de las partículas del suelo para suministrar nutrientes a las plantas: la arcilla puede retener más nutrientes que la arena y por lo tanto es capaz de liberar más nutrientes para las plantas.

Las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan a la vez en unidades de diferentes tamaños; estos son conocidos como **agregados**. La forma en la cual las partículas están agrupadas es llamada **estructura** del suelo.

La Agricultura de Conservación no afecta la textura del suelo, pero puede tener influencia sobre la estructura del suelo, la cual es el resultado del agrupamiento de las partículas del suelo.



LÁMINA 2

Un suelo limoso rojo con una fina estructura granular.

G. Sharp

La materia orgánica del suelo proporciona el material para formar los agregados. **La materia orgánica** consiste de partes muertas de animales y plantas. Al descomponerse se forma el humus, el cual une las partículas del suelo en agregados, formándose así la estructura del suelo. La materia orgánica es además una fuente de nutrientes para las plantas.

El contenido de materia orgánica de los suelos puede variar considerablemente, dependiendo del material madre, las condiciones climáticas y el manejo:

- los suelos ricos en materia orgánica, principalmente en regiones frías, pueden tener 60 – 70 por ciento de humus
- los suelos forestales contienen más de 5 por ciento de materia orgánica

- los suelos que han sido arados por un largo tiempo y los suelos tropicales contienen entre 0,5-1,5 por ciento de materia orgánica.

Los suelos que tienen una adecuada agregación permiten la circulación del aire y el agua, la penetración de las raíces y evitan la formación de costras en su superficie. Además facilitan un buen contacto entre las semillas y el suelo permitiendo una buena absorción de agua y, por ende, una rápida germinación.

La compactación del suelo ocurre cuando las partículas están comprimidas unas con otras lo que reduce el desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire; como consecuencia se incrementan la escorrentía y la erosión hídrica del suelo. Hay dos tipos de compactación:

1. la compactación del subsuelo
2. la costra superficial

Son inducidas por:

- la excesiva labranza
- la labranza del suelo durante los periodos húmedos
- el tráfico excesivo de máquinas
- los vehículos con gran peso en los ejes
- el pisoteo del ganado

El encostramiento superficial es un problema de los suelos con alta cantidad de limo o arcilla que ha sido intensamente labrado y tiene muchas partículas finas en la superficie.

Con la Agricultura de Conservación esto no es un problema importante debido a que:

- sin labranza no se forman partículas finas y, por lo tanto, no puede formarse una costra cuando el suelo está húmedo;
- la cobertura sobre el suelo evita la formación de costras

En general, para el crecimiento de la planta el suelo debe estar suelto, con buena formación de agregados de tal forma que permita la circulación del aire, el agua y los nutrientes y la penetración de las raíces. Las plantas que crecen en este tipo de suelo gastan menos energía para el enraizamiento. El agua es necesaria para la germinación de la semilla y el crecimiento del cultivo. La retención del agua en el suelo (módulo **Humedad del suelo**) depende del tipo de suelo y su manejo. Los suelos altamente degradados con baja porosidad y bajo contenido de materia orgánica no tienen la capacidad para almacenar mucha agua y, por lo tanto, no tienen mucha disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo. En regiones áridas con pocas lluvias, la humedad del suelo es de vital importancia. En general, las actividades de labranza tienen un efecto negativo sobre el contenido de agua del suelo, ya que al arar, el agua almacenada es perdida por evaporación.

[Las lombrices de tierra](#), entre otros organismos del suelo, cumplen una función importante en el proceso de descomposición. Se alimentan principalmente de [bacterias](#) y [hongos](#) que descomponen la materia orgánica; de esta forma reciclan los nutrientes. Debido a la labranza, hay menos alimentos y humedad para las lombrices de tierra y otros organismos y su hábitat está constantemente alterado. Las prácticas de manejo pueden afectar el suministro de alimentos (lugar, calidad, cantidad), la capa de cobertura o mantillo de protección (afecta al agua del suelo y la temperatura) y el entorno químico (fertilizantes y pesticidas). Las prácticas agronómicas, como por ejemplo la labranza profunda, son generalmente perjudiciales para los organismos del suelo. Pueden matarlos totalmente, romper sus túneles o canales y reducir la disponibilidad de residuos en la superficie.

Como resultado, es necesaria energía para restaurar el ecosistema del suelo antes de que se recupere y que pueda suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. Indirectamente, el sustrato orgánico del cual se alimentan los organismos del suelo, se oxida rápidamente y es perdido como alimento.

La labranza tiene un efecto negativo en la población de lombrices de tierra y otra biota del suelo, debido a que:

- el suelo se seca rápidamente
- destruye sus túneles o canales
- se incorporan los residuos
- puede matarlas

Efectos de la Agricultura de Conservación sobre las propiedades del suelo

Bajo la Agricultura de Conservación se establece una nueva dinámica del suelo, dando lugar a fuertes interacciones entre la fauna, las raíces de las plantas, el agua, el aire, la temperatura y el reciclaje de los nutrientes. Como es difícil atribuir los cambios positivos a una o pocas propiedades del suelo, los efectos de la Agricultura de Conservación serán descritos por:

- propiedades [físicas](#) del suelo (agua, temperatura, porosidad, densidad), y
- propiedades [químicas](#) del suelo (nutrientes y acidez)

Las propiedades biológicas del suelo (materia orgánica, micro y macrofauna) son discutidas en el módulo [Materia orgánica y actividad biológica](#).

En la Agricultura de Conservación, se mantienen una estructura óptima del suelo y el mantillo, maximizando el acceso de los cultivos a los pocos nutrientes que constantemente son suministrados mediante la mineralización de la materia orgánica. En cierta medida, las raíces más profundas, que tienen un gran número de raíces absorbentes, pueden capturar grandes cantidades de nutrientes, incluso en horizontes del suelo con concentraciones extremadamente bajas de nutrientes.

Las grandes cantidades de biomasa depositadas en el suelo por los cultivos y los cultivos de cobertura, mantienen o, con el correr del tiempo, mejoran la estructura del suelo, de modo que la tierra permitirá que los cultivos accedan más eficientemente a las bajas concentraciones de nutrientes de los horizontes superiores del perfil del suelo. Mientras tanto, la materia orgánica en la superficie del suelo o cerca de ella producida durante los períodos de barbecho, continúa suministrando nutrientes en pequeñas cantidades que pueden mantener razonablemente altos niveles de productividad.

El acceso de los nutrientes a las plantas es un fenómeno complejo que está relacionado con un gran número de factores; ciertamente, es ayudado por la aplicación de nutrientes en la superficie del suelo o junto con la materia orgánica o muy cerca de la semilla, o mediante el crecimiento de las plantas en suelos bien granulados libres de capas compactadas. Esos factores pueden incluir la temperatura del suelo, los niveles de materia orgánica del suelo, el pH, las propiedades químicas del suelo, la presencia de capas compactadas y el equilibrio y la ubicación de los nutrientes, todos los cuales son afectados a su vez por la actividad de cientos de miles de microorganismos que puede haber en solo un centímetro cúbico de suelo. Por lo tanto, el acceso a los nutrientes involucra un conjunto de sucesiones dinámicas sobre las cuales, hasta el momento, los conocimientos son limitados.

Muchos suelos tropicales húmedos con pH menor de 5,0, toxicidad de aluminio y capas compactadas no conforman un ambiente favorable para las raíces de los cultivos. Los cultivos crecerán mejor si pueden además acceder a los nutrientes de una capa gruesa de residuos o mantillo. En realidad la mayoría, si no todos los cultivos que crecen en los trópicos húmedos, extenderán la gran mayoría de sus raíces para alimentarse inmediatamente por debajo y dentro de la capa de mantillo, siempre y cuando haya humedad. O sea, se alimentarán más fácilmente desde dentro e inmediatamente debajo de la capa de mantillo que en el propio suelo.

Básicamente, la alimentación de las plantas a través del mantillo ayuda a compensar la falta de condiciones ideales de estructura de suelo o de crecimiento de la planta, suministrando una fuente suplementaria de nutrientes fácilmente disponibles, en cantidades pequeñas pero constantes en la superficie del suelo; de ese modo no es imprescindible que los cultivos desarrollen un enorme sistema radicular que se extienda profundamente dentro del perfil del suelo. Obviamente, el acceso de los nutrientes a las plantas será mejor si los nutrientes están en la superficie del suelo que si están más profundos, especialmente en los suelos empobrecidos, ácidos o con problemas de toxicidad de aluminio.

Los rendimientos en los sistemas de Agricultura de Conservación no dependen de la alta concentración de nutrientes. Dependen de la fijación del nitrógeno y del reciclaje de gran cantidad de materia orgánica lo cual hace que el fósforo y otros nutrientes en el suelo sean más solubles (o sea, químicamente disponibles); además la mayoría de estos nutrientes están cerca de la superficie del suelo, fácilmente accesibles para las raíces de las plantas. Tal sistema puede, por lo tanto, producir buenos rendimientos durante largos períodos con poca o ninguna aplicación de nutrientes adicionales (aunque, eventualmente, puede ser necesario agregar nutrientes, en particular fósforo, para lograr sostenibilidad) (Bunch, 2003).

Efecto de la Agricultura de Conservación sobre las propiedades físicas del suelo

La «pérdida de estructura» es una característica usada a menudo para describir los perfiles del suelo que han sido labrados por un largo tiempo. Esto es causado en parte por la reducción del contenido de materia orgánica y humus del suelo. La materia orgánica tiene una función importante en la formación y estabilización de los agregados del suelo, resultando en una alta resistencia a la desintegración.

La más alta estabilidad de los agregados bajo la agricultura de conservación es el resultado de los siguientes elementos (Kochhann, 1996):

- la presencia de una capa de mantillo que protege a la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia
- la no alteración del suelo
- la presencia de materia orgánica en descomposición sobre la superficie que induce la formación de agregados en los 0 - 3 cm superiores
- el incremento en la densidad del suelo, lo que hace que los agregados sean más resistentes a los cambios
- la mayor concentración de calcio y magnesio en la capa superficial lo que afecta positivamente a la estructura

Aunque su actividad es temporal y será sustituida anualmente, las [bacterias](#) y las hifas de los [hongos](#) también cumplen una función importante en la conexión de las partículas de suelo (Castro Filho *et al.*, 1998).



LÁMINA 3

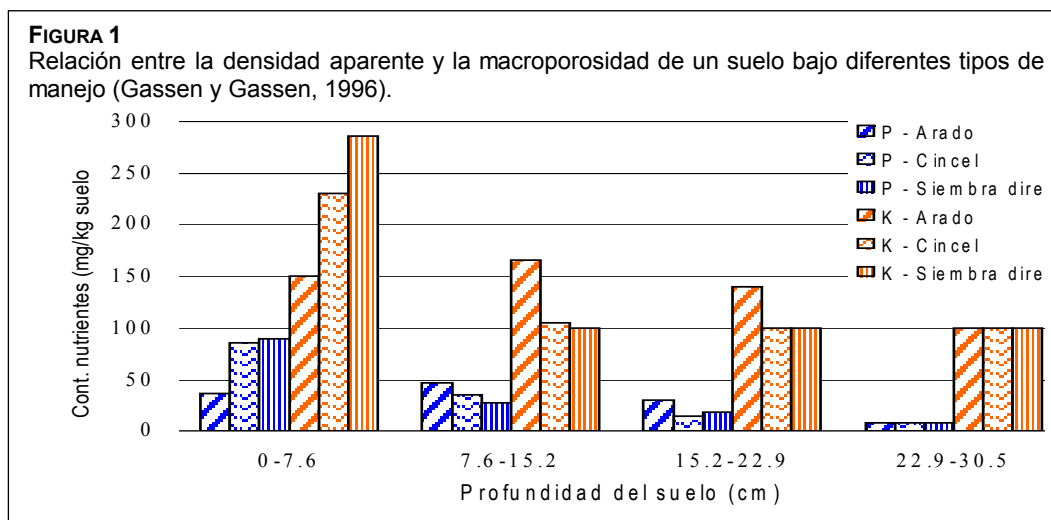
Las hifas de las micorrizas y las raíces transforman las partículas del suelo en agregados.

R. Derpsch

La preservación de la estabilidad de los agregados es importante a fin de reducir el sellado superficial y aumentar las tasas de infiltración. Con el aumento de estabilidad de la superficie se reduce la escorrentía (Roth, 1985).

Las áreas que nunca han sido aradas y con una adición constante de material vegetativo como las áreas forestales, tienen una densidad aparente baja y un alto volumen de macroporos. La densidad aparente indica la masa o el peso de un cierto volumen del suelo.

En este caso, el suelo está constituido por muchos canales y poros, pesa menos que el mismo volumen de ese suelo cuando está compactado. La Figura 1 muestra las diferencias en la densidad aparente y macroporosidad de un suelo bajo diferentes tipos de manejos.



Los túneles o canales excavados por las lombrices de tierra y los canales dejados en el suelo por las raíces muertas aumentan la porosidad del suelo y mejoran la actividad biológica y la formación de agregados de partículas. La porosidad mejora la infiltración y la percolación del agua y reduce la escorrentía.

El mantenimiento de los residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo aumenta la conservación de la **humedad** en el perfil del suelo, especialmente en áreas secas. Los residuos de cultivos en la superficie:

- incrementan la infiltración de agua por medio de la prevención del encostramiento y mejoran la estructura del suelo
- capturan más humedad que los suelos descubiertos, debido a la rugosidad superficial
- dan sombra al suelo y, por lo tanto, se reduce la evaporación
- aumentan la capacidad de retención de agua del suelo gracias al mejoramiento de la estructura

La tasa de infiltración de agua depende de los siguientes factores del suelo:

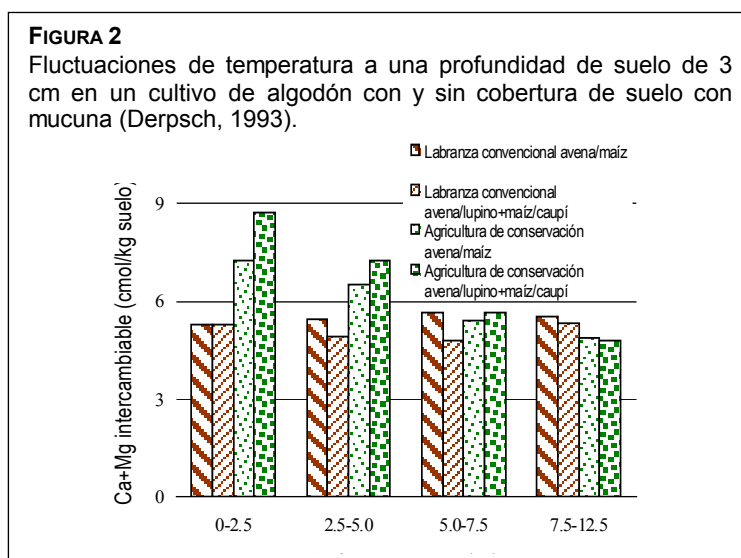
- textura
- densidad y porosidad
- estabilidad de agregados, y
- cobertura

Las áreas en las cuales la agricultura de conservación ha sido practicada por largo tiempo han desarrollado una buena estructura del suelo y macroporosidad. El módulo «Humedad del suelo» analiza en más detalle los [efectos de la Agricultura de Conservación](#) en suelos que contienen humedad.

La conservación de la vegetación del barbecho como una cobertura en la superficie del suelo y la consiguiente reducción de la evaporación, da como resultado un 4 por ciento más de agua en el suelo. Esto representa 80 mil litros/ha de agua en los 20 cm superiores del suelo (o una lluvia adicional de 8 mm). Esta cantidad de agua «extra» puede establecer la diferencia entre la marchitez y la supervivencia de un cultivo durante los períodos secos.

La cobertura del suelo no solo protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, sino que previene la pérdida de agua del suelo por evaporación; además protege al suelo del impacto del sol. La cobertura reduce la temperatura del suelo.

La temperatura del suelo influye sobre la absorción del agua y los nutrientes por las plantas, la germinación de las semillas y el desarrollo de las raíces y también en la actividad microbiana y en el encostramiento y endurecimiento del suelo. Las raíces absorben más agua cuando aumenta la temperatura del suelo, hasta un máximo de 35 °C. Temperaturas mayores reducen la absorción del agua.



Las temperaturas del suelo demasiado altas son una limitante importante para la producción de cultivos en muchos suelos y ecorregiones de los trópicos. Las temperaturas máximas que exceden 40 °C a 5 cm de profundidad y 50 °C a 1 cm de profundidad se observan comúnmente en suelos labrados durante la época de crecimiento. En algunos casos extremos se llega a 70 °C. Tales temperaturas afectan adversamente no solo el establecimiento de las plántulas y el crecimiento del cultivo, sino también el crecimiento y desarrollo de la población de microorganismos. La temperatura ideal de la zona radical para la germinación y crecimiento de las plántulas está comprendida entre 25 - 35 °C. Las temperaturas que exceden 35 °C reducen drásticamente el desarrollo de las plántulas de maíz y la semilla de soya ve casi totalmente inhibida su germinación cuando la temperatura excede 40 °C.



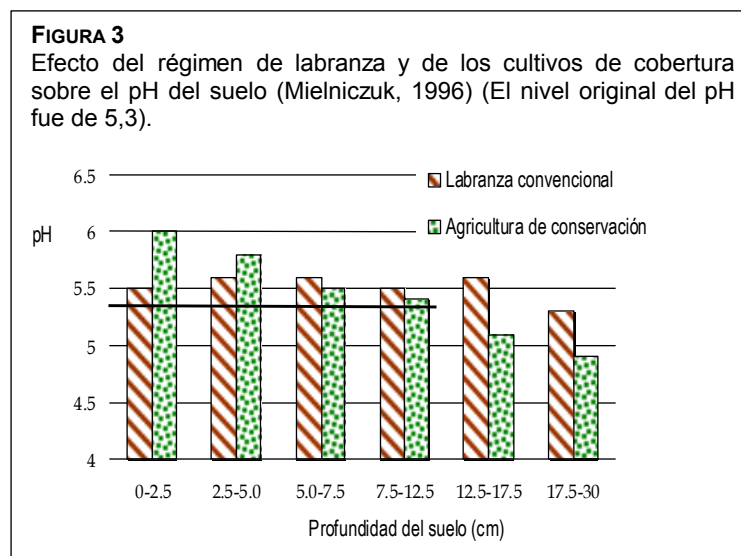
LÁMINA 4
Plántulas de soya germinando a través de la capa de cobertura.
R. Derpsch

Las capas de residuos o mantillo de los cultivos de cobertura regulan la temperatura del suelo. La cobertura del suelo refleja gran parte de la energía solar hacia la atmósfera y, por lo tanto, se reduce la temperatura de la superficie del suelo. Esto resulta en una temperatura máxima más baja y menores fluctuaciones en la temperatura del suelo cubierto comparado con el suelo descubierto.

Efecto de la Agricultura de Conservación sobre las propiedades químicas del suelo

Los beneficios químicos y nutricionales de los residuos de los cultivos y de los cultivos de cobertura están relacionados con la adición de nutrientes a las plantas, el incremento de la materia orgánica en el suelo y la habilidad del suelo para intercambiar nutrientes. Según las especies, los residuos de los cultivos contienen una cantidad importante de nutrientes para las plantas. El residuo del cultivo y el régimen de labranza pueden causar cambios significativos y redistribución de los nutrientes dentro del perfil del suelo.

Aparentemente, cuando la Agricultura de Conservación se practica durante varios años, el contenido de materia orgánica del suelo aumenta. La reacción del suelo es diferente y recupera su capacidad natural de amortiguación; incrementa el pH como se aprecia en la Figura 3.

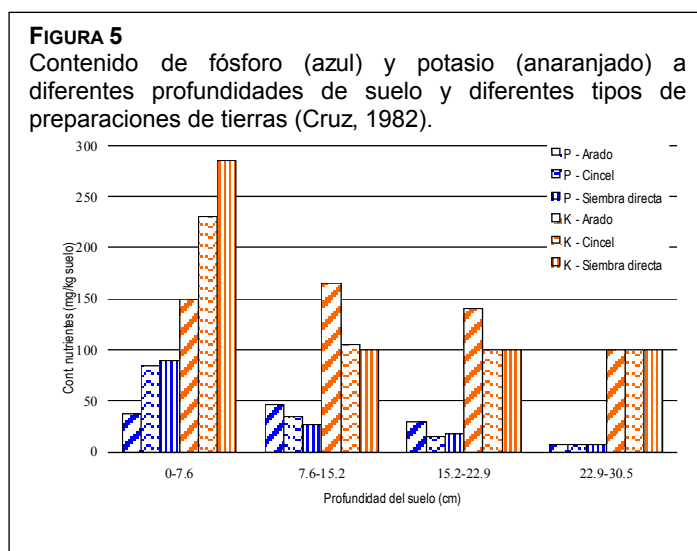
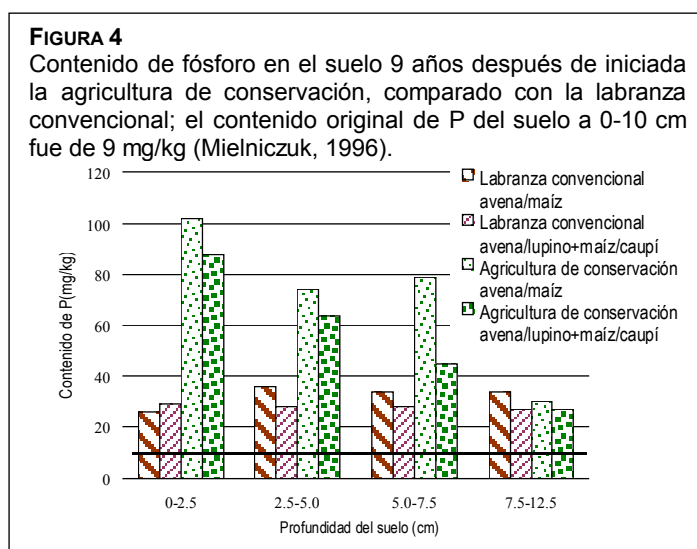


En la Agricultura de Conservación la reducción de la labranza y la adición de nitrógeno por medio de las leguminosas conduce a un aumento del nitrógeno total en las capas superiores del suelo (0 - 7,5 cm). Cinco años después de comenzado un sistema intensivo de rotación de avena y trébol con maíz y caupí, en la capa del suelo de 0 - 17,5 cm, se obtuvo 490 kg/ha más de nitrógeno total en el suelo que en el sistema tradicional de avena/maíz bajo la labranza convencional. Después de nueve años, la no labranza en combinación con un sistema intensivo de cultivo ha resultado en un 24 por ciento de incremento del N en el suelo, comparado con la labranza convencional. Aunque la fijación del nitrógeno fue menor en los sistemas de no labranza, probablemente debido a la inmovilización del N y a la formación de materia orgánica, los rendimientos del maíz bajo diferentes sistemas de labranza no difirieron. Dado que el sistema de no labranza fue más eficiente en el almacenamiento de N en la parte superior del suelo a partir de los cultivos de cobertura de leguminosas, a largo plazo este sistema puede incrementar el N disponible en el suelo para el maíz (Amado *et al.*, 1998).

Los cultivos de cobertura tienen una importante capacidad de reciclaje del fósforo (P), más aún cuando los residuos se concentran anualmente en la superficie. Esto quedó claro en parcelas de barbechos, donde las parcelas de labranza convencional tuvieron un contenido de P de 25 por ciento menos, comparadas con las parcelas de no labranza. Según el cultivo de cobertura el aumento fue entre 2 y casi 30 por ciento. Pero, más importante aún para el

incremento de la disponibilidad de fósforo en el suelo es la preparación de la tierra como se observa en la Figura 4.

Tres a cinco años después de iniciada la Agricultura de Conservación, tanto el fósforo como el potasio pueden ser acumulados en la parte superior del suelo. Como se muestra en la Figura 5, la arada conduce a una distribución equilibrada de los nutrientes en el perfil del suelo, al menos dentro del límite superior de 20 - 30 cm (profundidad de arada). Por otro lado, en el caso de la siembra directa el 50 - 75 por ciento de los nutrientes está concentrado en la capa superior del suelo.

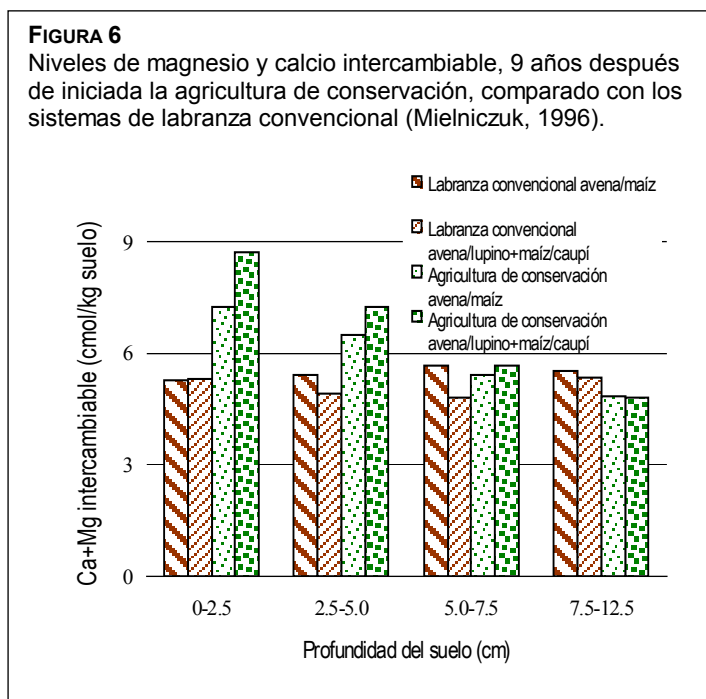


Como se ha analizado en el módulo «Materia orgánica y actividad biológica», el humus es formado en el proceso de descomposición de la materia orgánica. El humus es importante debido a su carga eléctrica negativa, la cual puede retener cationes -o nutrientes con una carga positiva-, lo cual a su vez incrementa la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC). El elemento más importante es el calcio (Ca^{2+}), otros son el magnesio (Mg^{2+}), el potasio (K^+), el sodio (Na^+) y el amonio (NH_4^+). Este fenómeno permite el intercambio entre estos elementos

y el hidrogeno (H^+) y otros cationes y a su vez previene que los nutrientes sean lavados del perfil del suelo durante las lluvias copiosas.

La más alta capacidad de intercambio de cationes del suelo (CIC) se encuentra en sistemas de rotaciones basadas en leguminosas con el más alto contenido de materia orgánica. Especialmente en los sistemas con gandul y lablab se ha logrado un 70 por ciento de incremento del CIC, comparado con el sistema barbecho/maíz. El CIC está estrechamente vinculado al contenido de materia orgánica del suelo y, por ende, aumenta gradualmente con la profundidad del suelo.

Después de 20 años de Agricultura de Conservación, Crovetto (1997) informa sobre un aumento en el CIC de 136 por ciento (de 11 a 26 meq 100g/suelo) debido al incremento del humus en el suelo.



Manejo de la fertilidad del suelo

Los cultivos necesitan los mismos nutrientes en los sistemas de la Agricultura de Conservación que en los sistemas de labranza convencional. La diferencia radica en el tipo y momento de aplicación de los fertilizantes, así como la reducción de las actividades de preparación de tierra que pueden actuar sobre los nutrientes en las siguientes formas:

- los nutrientes inmóviles pueden acumularse en las capas superficiales
- la mineralización del nitrógeno se reduce en la agricultura de conservación
- durante la descomposición de los residuos de los cultivos, el nitrógeno puede inmovilizarse
- la aplicación superficial de fertilizantes amoniacales pueden acidificar la superficie del suelo

Cuando se usan sistemas de labranza mínima en la Agricultura de Conservación, la aplicación de fertilizantes no diferirá de la práctica de aplicación en los sistemas convencionales. Sin embargo, cuando se aplica la siembra directa en la Agricultura de Conservación, las estrategias deben ser desarrolladas para superar los factores arriba mencionados.

Acumulación de nutrientes inmóviles

Todos los nutrientes muestran cierta movilidad en el suelo:

- El fósforo y el potasio son inmóviles
- El nitrógeno es móvil, permanece en la solución del suelo y puede ser lixiviado fuera de la zona radical cuando no hay raíces para absorberlo.

Para que las raíces tomen los nutrientes aportados como fertilizantes, estos necesitan ser disueltos en la solución húmeda del suelo y estar cerca de las mismas. Como el fósforo y el potasio son altamente inmóviles deben ser colocados cerca de las raíces por lo que se recomienda la aplicación en bandas.

La lenta mineralización de la materia orgánica en la Agricultura de Conservación permite la liberación del fósforo y el potasio en la capa superficial del suelo. Igualmente, no ocurre una acumulación de estos nutrientes porque los cultivos desarrollan raíces superficiales que los absorben y los movilizan dentro del perfil. El nitrógeno, por ser móvil, no necesita una forma de aplicación específica. Sin embargo, cuando no hay lluvias o la superficie del suelo no está húmeda, el nitrógeno no se moverá dentro del perfil y se puede perder por volatilización. Por lo tanto, es recomendable aplicar en bandas por lo menos una parte del fertilizante nitrogenado.

Las prácticas siguientes pueden evitar la acumulación de nutrientes en la capa superior del suelo:

- niveles correctos de nutrientes del suelo antes de implementar el nuevo sistema
- aplicar parte del fertilizante en bandas colocadas cerca de las semillas
- distribuir fertilizante para obtener niveles adecuados de fósforo y potasio en la zona radical
- evaluar los niveles de nutrientes a diferentes niveles de profundidad del suelo: 10, 20 y 30 cm y repetir este ejercicio cada tres o cuatro años
- controlar los niveles de nutrientes durante los primeros dos o tres años mediante análisis de suelos
- mantener la superficie cubierta en forma homogénea con residuos de tal forma que la humedad se distribuya en forma uniforme y se estimule el crecimiento de las raíces superficiales a fin de absorber y movilizar los nutrientes en la capa superior.

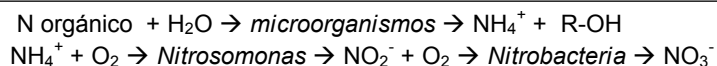
Manejo del nitrógeno

Hay tres factores que pueden impedir la disponibilidad del nitrógeno del suelo para las plantas:

- la inmovilización
- la mineralización
- la volatilización

La inmovilización es causada por microorganismos que absorben rápidamente las distintas formas del nitrógeno como nitratos (NO_3) y amonio (NH_4) para poder descomponer los residuos del cultivo y otras materias orgánicas. Mientras los microorganismos usan el nitrógeno, este no está disponible para su absorción por las plantas, hasta el momento en que la materia orgánica es descompuesta, los microorganismos mueren y el nitrógeno es nuevamente liberado.

La mineralización es el proceso por el cual el nitrógeno orgánico de los aminoácidos o proteínas es transformado por los microorganismos en amonio (NH_4^+) y después en nitrato (NO_3^-):

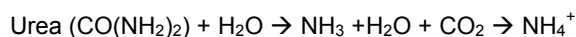


Aunque las plantas pueden fácilmente absorber ambas formas de nitrógeno, por lo general el amonio es rápidamente transformado en nitrato. Este puede ser absorbido por las plantas o ser eliminado del perfil del suelo y perdido para el crecimiento de la planta.

Durante los primeros años de la Agricultura de Conservación el nitrógeno se encuentra principalmente en forma orgánica (inmovilizado) y, por lo tanto, no disponible para el crecimiento de las plantas. Debido a que el proceso de mineralización en los primeros años es lento, el nitrógeno para el crecimiento de la planta debe ser aplicado en forma adicional, como fertilizante.

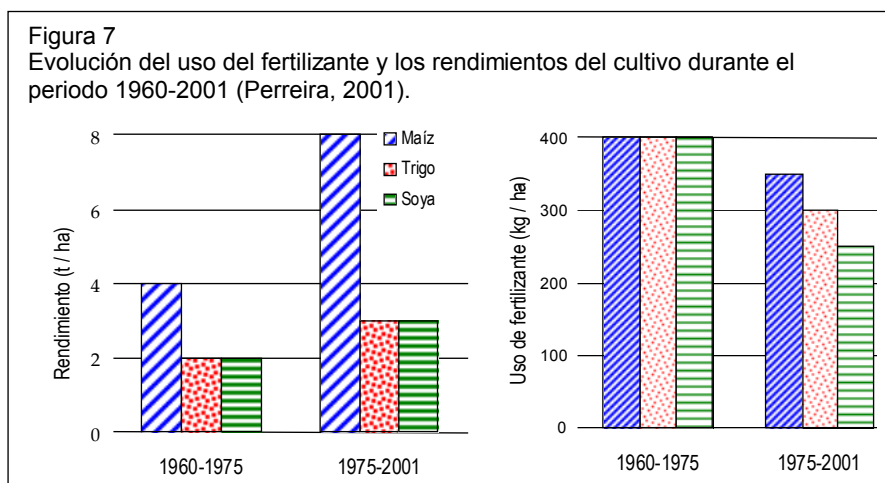
Volatilización

En el caso de la distribución de urea durante períodos muy húmedos o en suelos muy húmedos, se convierte rápidamente en amoníaco por la acción de una frecuente enzima natural (ureasa). Una parte del amoníaco es transformado en amonio y permanece en la solución del suelo, mientras que la otra parte desaparece directamente en la atmósfera (volatilización) y no es utilizado para el crecimiento de la planta.



Para evitar la falta de nitrógeno disponible para el crecimiento de las plantas como resultado de la lenta mineralización y los procesos de volatilización e inmovilización, el nitrógeno debe ser bien manejado:

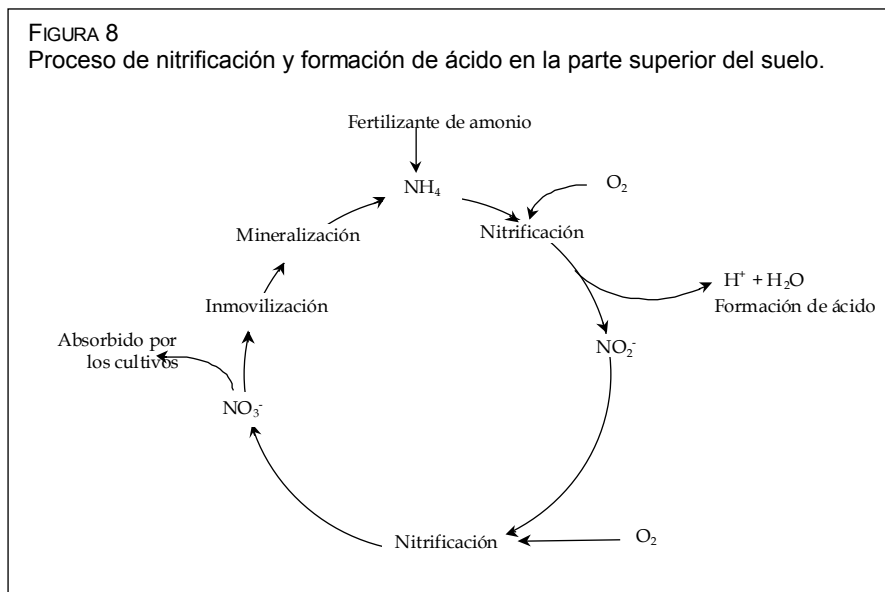
- dar algún tiempo a la materia orgánica para ser descompuesta antes de la siembra
- antes de la siembra aplicar 25 - 72 kg/N/ha con el objetivo de prevenir los efectos de la inmovilización
- durante la siembra, aplicar nitrógeno en bandas para prevenir la inmovilización
- usar nitratos en lugar de amonio, ya que se disuelven más fácilmente y, por lo tanto, son más móviles en el suelo.



Con el pasar del tiempo, las raíces del cultivo de cobertura y el incremento de la micro y macrofauna del suelo reciclarán eficientemente los nutrientes de las plantas, lo que llevará a una menor necesidad de fertilizantes para obtener el mismo o mayor rendimiento (Figura 7). El impacto de los fertilizantes químicos puede a veces ser sensiblemente incrementado si se aplica a la cobertura o mantillo en lugar del suelo. En Costa Rica, los rendimientos de frijol en el sistema de «frijol tapado», un sistema tradicional de siembra con cobertura con paja, apenas se incrementaron por encima de los rendimientos tradicionales de 500 kg/ha cuando se aplicó fertilizante fosfatado mineral al suelo. Sin embargo, los rendimientos subieron de dos a tres veces por encima de los rendimientos tradicionales a más de 2t/ha cuando se aplicó fósforo inorgánico directamente a la cobertura. Los investigadores en África han observado además que los fertilizantes aplicados a los materiales de la cobertura son más eficientes que cuando son incorporados al suelo (Thurston, 1997).

Acidificación del suelo

El uso de ciertos fertilizantes nitrogenados tiene efecto sobre la acidez del suelo. Generalmente, los cultivos prefieren un pH entre 6 y 7, debido a que este valor permite la máxima disponibilidad de nutrientes. Las aplicaciones superficiales del nitrógeno reducen el pH y como resultado reducen el efecto de ciertos herbicidas. En particular, los fertilizantes amoniacales como la urea y los fosfatos mono- y biamónico, son rápidamente convertidos en nitratos a través del proceso de nitrificación, liberando ácidos y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo (Figura 8).



Muchos estudios informan acerca un aumento de la acidificación del suelo en los sistemas basados en leguminosas causado por una intensa nitrificación, seguido por la lixiviación del NO_3^- y la excreción del H_3O^+ por las raíces de las leguminosas y la exportación de los productos vegetales y animales. En general, los sistemas basados en leguminosas no incrementan la acidificación del suelo en su capa superficial, donde ocurren las acumulaciones mayores de materia orgánica.



L#MINA 5

Aplicación superficial de cal para ajustar la acidez del suelo.

R. Derpsch

Las leguminosas tropicales como el gandul y el lablab son tolerantes a los suelos ácidos y tienen una menor excreción de H_3O^+ (Haynes, 1983), en contraste con las leguminosas de zonas templadas, como los tréboles. Una menor excreción conlleva a una menor acidez del suelo. Como consecuencia, el material vegetal de las leguminosas es alcalino ($pH > 7$); si el residuo de la planta es retornado al mismo lugar donde ocurre la excreción de las raíces no habrá una acidificación neta del suelo. Las diferencias en la acidificación del suelo entre los sistemas basados en leguminosas pueden obtenerse de las diferencias en la lixiviación de los nitratos: un mayor desarrollo de las raíces de, por ejemplo, el lablab y el gandul, comparados con el trébol, resulta en un mayor reciclaje del nitrato (Burle *et al.*, 1997).

Si un suelo es ácido ($pH < 6$) es necesario corregir el nivel de acidez antes de comenzar la Agricultura de Conservación. Por lo general, la acidez se corrige usando cal, la cual reacciona intensamente cuando es incorporada al suelo. Es importante corregir el nivel de acidez del suelo antes de comenzar la Agricultura de Conservación. Mientras desarrolla el proceso de la Agricultura de Conservación no es posible incorporar cal en el suelo y, por lo tanto, es distribuida sobre la superficie. La cobertura del suelo favorece el transporte del carbonato de calcio a las capas más profundas del suelo (Tabla 5). Los residuos de los cultivos de cobertura liberan ácidos orgánicos que pueden llevar la cal a mayor profundidad dentro del perfil más rápidamente que cuando es aplicada en suelo descubierto. Una aplicación de cal de 1 - 2 ton por hectárea cada dos o tres años puede ser suficiente para regular la acidez.

TABLA 5 Aparición de cal en el perfil del suelo bajo diferentes coberturas del suelo durante el mismo tiempo

Cobertura	Profundidad del suelo (cm)
Suelo descubierto	0-7
Avena negra	0-20
Rábano oleaginoso	0-22

Bibliografía

- Amado, T.J.C., S.B. Fernández y J. Mielniczuk.** 1998. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. *Journal of Soil and Water Conservation* 53(3): 268-271.
- Burle, M.L., J. Mielniczuk y S. Focchi.** 1997. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant and Soil* 190: 309-317.
- Bunch, R.** (...). Nutrient quantity or nutrient access? A new understanding of how to maintain soil fertility in the tropics.
- Castro Filho, C., O. Muzilli y A.L. Podanoschi.** 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 527-538.
- Crovetto, C.** 1997. La cero labranza y la nutrición del suelo. *In: Agricultura Sustentable de Alta Producción, ya! 5º Congreso Nacional de AAPRESID, Mar del Plata, Argentina: p73-78.*
- Cruz, J.C.** 1982. Efecto de la rotación de cultivos y de los sistemas de laboreo sobre algunas propiedades del suelo; distribución radicular y rendimiento. Tesis doctoral. Universidad Purdue. Citada por Monsanto, 2001.
- Derpsch, R.** 1993. Sistema de Plantio Direto em Resíduos de Adubos Verdes em Pequenas Propriedades no Paraguai - Desenvolvimento e Difusão. *In: I Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Ponta Grossa, Brasil. Anais: p375-386.*
- Gassen, D.N. y F.R. Gassen.** 1996. Plantio direto. O caminho do futuro. Aldeia Sul, Passo Fundo, Brasil. 207pp.
- Haynes, R.J.** 1983. Soil acidification induced by leguminous crops. *Grass For. Sci.* 42: 217-221.
- Kochhann, R.A.** 1996. Alterações das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob Sistema Plantio Direto. *In: I Conferência Annual de Plantio Direto. Resumos de Palestras da I Conferência Annual de Plantio Direto. Passo Fundo – RS, Brasil.*
- Mielniczuk, J.** 1996. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. *In: Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Palestras do I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa 1996. Eds. R. Trippia dos Guimarães Peixoto, D.C. Ahrens e M.J. Samaha. 275 pp.*
- Perreira, M.** 2001. Personal Communication. IV Worldbank Study Tour.
- Roth, C.H.** 1985. Infiltrabilität von Latosolo-Roxo-Böden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungs-systemen und Rotationen. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 83, 1-104.
- Thurston, H. D.** 1997. *Slash/Mulch Systems: Sustainable Methods for Tropical Agriculture*, Boulder, Colorado, Estados Unidos de América. Westview Press.