



UniSol

Agricultura Sustentable



PROYECTO UNICOOP – Solidaridad
**"BUENAS PRÁCTICAS
AGRÍCOLAS"**

Prácticas recomendadas para el buen manejo de suelos en la producción de granos



Solidaridad

YOUR M&S





The background of the entire page is a close-up, high-resolution photograph of soil. The soil is light brown or tan in color and has a crumbly, porous texture. There are some small, dark spots and fibers scattered throughout, giving it a natural, organic appearance. The lighting is soft and even, highlighting the granular structure of the soil.

PRÁCTICAS RECOMENDADAS PARA EL BUEN MANEJO DE SUELOS EN LA PRODUCCIÓN DE GRANOS

Autores:

**Material elaborado por encargo
de la Central Nacional de
Cooperativas (UNICOOP)**

Realización: Central Nacional de Cooperativas UNICOOP en el marco del Proyecto UniSol

Con el apoyo de:

- **Fundación Solidaridad Latinoamericana**
www.solidaridadnetwork.org
- **IDH The Sustainable Trade Initiative**
<http://www.idhsustainabletrade.com>
- **Mark & Spencer**
<http://www.marksandspencer.com>

Equipo Técnico de UniSol

Enzo Battu
Idelfonso Horita
Ingo Kliewer
Ken Moriya

Colaboración

Lorena Ramirez – Solidaridad

Diseño y Diagramación

Artemac S.A.

Este trabajo fue elaborado por técnicos del Proyecto UniSol. El contenido de este documento no reflejan necesariamente las opiniones de la Fundación Solidaridad Latinoamericana.

- **Buenas Prácticas Agrícolas:** Todas aquellas medidas que se tomen para asegurar la inocuidad de los productos y provocar el menor impacto al medio ambiente y a la salud y bienestar de los trabajadores.
- **Registro:** Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas.
- **Microcuenca:** Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas.
- **Alelopatía:** Interferencia provocada por la introducción de sustancias químicas producidas por ciertos individuos y que, en el ambiente, afectan a los otros componentes de la comunidad.
- **Curvas de nivel:** se denomina a las líneas que, marcadas sobre el terreno, desarrollan una trayectoria horizontal.
- **Erosión hídrica:** proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua, el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en las áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo.
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** Cantidad total de sedes o sitios de carga permanente y de carga variable susceptibles de ser ocupadas por cationes en un proceso de intercambio.
- **Abonos verdes:** García y Nejera (1995) definen la práctica de los abonos verdes en la agricultura como el cultivo de especies vegetales, nativas o introducidas, perennes o anuales, asociadas o no, en rotación o sucesión entre los cultivos, con la finalidad de proteger, recuperar, aportar y mejorar las condiciones biológicas, físicas y nutricionales de los suelos.
- **Rotación de cultivos:** Alternancia regular y ordenada en el cultivo de diferentes especies vegetales en secuencia temporal en una determinada área (Geisler, 1980).
- **Horizonte argílico:** es un horizonte subsuperficial con un porcentaje mayor de arcillas filosilicatadas que el material de suelo subyacente. Muestra evidencias de eluviación de arcilla. Se forma debajo de la superficie, pero puede estar expuesto por causa de la erosión.
- **Horizonte kándico:** Horizonte enriquecido con arcillas de baja actividad, propio de los climas tropicales en los que resulta muy problemático identificar el posible origen iluvial. Es un horizonte subsuperficial verticalmente continuo que subyace a un horizonte superficial de textura gruesa. El espesor mínimo del horizonte superficial es de 18 cm después de mezclado o de 5 cm si la transición textural al horizonte kándico es abrupta y no existe un contacto dénsico, lítico, paralítico o petroférico, dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral.
- **Horizonte nátrico:** Como el horizonte argílico pero con las arcillas saturadas en sodio.
- **Horizonte ócrico:** El concepto central es el de un horizonte muy claro en color o de chroma muy alto o muy pobre en materia orgánica o muy delgado.
- **Horizonte óxico:** Se desarrolla en suelos que están sujetos a intensos procesos de meteorización. Mayor a 30 cm, arcillas tipo caolinita y minerales accesorios insolubles como el cuarzo, de baja CIC.



El desarrollo agrícola del Paraguay depende de la sustentabilidad y el cuidado de sus recursos naturales renovables. Prevenir y controlar la erosión y la degradación de suelos, como también la sedimentación de los cursos hídricos mediante las buenas prácticas agrícolas, debería ser una norma para los productores dedicados a la actividad agropecuaria.

El proyecto UniSol ha identificado, como una de las principales causas de degradación de suelos en la región, la siembra directa practicada deficientemente como sistema. En muchos suelos con años de siembra directa no aumentaron la cobertura, tampoco consiguieron aumentar la materia orgánica, la infiltración y retención de humedad, reducir la escorrentía, mejorar las condiciones de enraizamiento como tampoco la fertilidad física, química y biológica de sus suelos. Estos deterioros tienen graves consecuencias en los descensos de la productividad agrícola y deterioro medio ambiental.

El Paraguay estaba situado hasta hace pocos años, entre los líderes en términos de la aplicación de este sistema cultural. Hoy es frecuente observar la utilización en los campos de los aperos para labranza ya casi olvidados.

Existe una imperiosa necesidad en adecuar y acercar los conocimientos disponibles al sector agrícola a fin de mejorar la productividad y la rentabilidad dentro de un marco de sustentabilidad ambiental.

El proyecto UniSol pone, al alcance de los agricultores y otros interesados en las actividades productivas del sector agropecuario, una obra que, como lo expresa su título, podrá servirles de guía para la aplicación de buenas prácticas de manejo de suelos en la producción de granos.



CAPÍTULO PRIMERO

Conociendo el suelo

- | | |
|---|----|
| 1. Introducción | 13 |
| 2. Perfil del suelo | 14 |
| 3. Formación de los suelos | 15 |
| 4. Caracterización de los suelos de las áreas de siembra de granos de la Región Oriental del Paraguay | 16 |

CAPÍTULO SEGUNDO

Principales problemas de suelos agrícolas

- | | |
|---|----|
| 1. Los problemas en suelos agrícolas | 19 |
| 2. Introducción al proceso de degradación | 20 |
| 3. El proceso erosivo y efectos de la erosión hídrica | 20 |
| 4. Acidificación del suelo | 21 |
| 5. Pérdida de la materia orgánica | 22 |
| 6. Pérdida y fijación de nutrientes | 25 |
| 7. Problemas de compactación de suelos | 26 |
| 8. El círculo vicioso insostenible | 27 |

CAPÍTULO TERCERO

Buenas prácticas edáficas para la agricultura

- | | |
|---|----|
| 1. Manejando estratégicamente el suelo | 29 |
| 2. Selección del terreno | 30 |
| 3. Planificación a nivel de microcuenca hidrográfica | 31 |
| 4. Planificación y las prácticas conservacionistas a nivel de propiedades | 31 |
| 5. Control de quemas | 32 |
| 6. Abonos verdes | 32 |
| 7. Protección de nacientes de agua | 37 |
| 8. Cultivos en contornos o en nivel | 38 |
| 9. Desagües y palanganas de retención | 43 |
| 10. El círculo virtuoso del agricultor | 43 |

CAPÍTULO CUARTO

Sistemas de cultivo para mejorar el suelo

- | | |
|---|----|
| 1. Sistema de cultivo de la siembra directa | 45 |
| 2. Rotación de cultivos | 46 |
| 3. Sistema de cultivo asociado (Santa Fe) | 54 |
| 4. Sistema integración agricultura pecuaria | 55 |
| 5. Diferentes tipos de integración agropecuaria | 56 |

CAPÍTULO QUINTO

Manejo de nutrientes químicos

- | | |
|--|----|
| 1. Principales nutrientes químicos y su importancia agrícola | 59 |
| 2. El enfoque de la agricultura de precisión | 60 |
| 3. El análisis de suelos | 62 |
| 4. Corrección de la acidez | 64 |

CAPÍTULO SEXTO

Fertilización

- | | |
|--|----|
| 1. Fertilización de los cultivos | 67 |
| 2. Fertilización correctiva total | 68 |
| 3. Fertilización de corrección gradual | 68 |
| 4. Fertilización de mantenimiento | 69 |
| 5. Fertilización órgano mineral | 69 |

Bibliografía

74

Índice / Figuras, Cuadros y Tabla

FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Perfil del suelo | 14 |
| Figura 2. Distribución del perfil de suelo | 15 |
| Figura 3. Soja sembrada en sistema de siembra directa | 16 |
| Figura 4. Perfil de un suelo Alfisol de las nuevas áreas de siembra de soja en el Departamento de San Pedro | 17 |
| Figura 5. Erosión laminar y formación de cárcavas en áreas con cultivos de granos | 20 |
| Figura 6. La erosión hídrica en suelo cultivado en sistema convencional en el Departamento de Itapúa | 21 |
| Figura 7. Disponibilidad de micronutrientes en función del pH del suelo | 21 |
| Figura 8. Disminución de la materia orgánica con los años de uso de la tierra en Itapúa | 23 |
| Figura 9. Desarrollo radicular afectado y no afectado por la compactación | 26 |
| Figura 10. Influencia de la compactación del suelo en la distribución de tamaño de poros y en los procesos relacionados con la nutrición de plantas | 27 |
| Figura 11. Abonos verdes en rotación con cultivos de renta en el departamento de Caaguazú | 37 |
| Figura 12. Construcción de terrazas de base media en el departamento de Caaguazú | 42 |
| Figura 13. Palanganas de retención construidas a lo largo de un camino con pendiente que cruza una parcela de cultivo | 43 |
| Figura 14. Círculo virtuoso del productor agrícola para una agricultura sustentable | 43 |
| Figura 15. Secuencias de rotación temporal y espacial de una finca subdividida en varias áreas que busca mayor tiempo de cobertura | 47 |
| Figura 16. Soja sembrada sobre rastrojo de trigo y avena + nabo | 48 |
| Figura 17. Cantidad de masa seca de rastrojos y carbono orgánico aportado por el doble monocultivo y rotaciones de cultivos en Yguazú | 48 |
| Figura 18. Suma de ingredientes activos de pesticidas (kg/ha/año) utilizados en diferentes sistemas de producción | 52 |
| Figura 19. Estimación del volumen de ingredientes activos utilizados en los cultivos de trigo (2014) y soja (2014/15). Estimación efectuada por técnicos de las cooperativas durante la jornada técnica sobre Introducción al análisis de gestión agropecuaria | 52 |
| Figura 20. Suelo mejor protegido cuando sembrado a una velocidad de 5 km/h | 51 |
| Figura 21. maíz entre zafra en asociación con <i>Brachiaria brizantha</i> | 55 |
| Figura 22. maíz entre zafra asociado con <i>Panicum</i> en plena cosecha para ensilado | 55 |
| Figura 23. Esquema de un sistema de producción integrada de la agricultura y pecuaria | 55 |
| Figura 24. Emergencia de soja en una parcela de pasto colonial desecado | 56 |
| Figura 25. Novillos pastoreando la mezcla forrajera invernal de avena + nabo | 56 |
| Figura 26. Manejo postpastoreo de avena + nabo | 57 |
| Figura 27. Aprovechamiento en finca de los residuos de cosecha en la alimentación de bovinos | 57 |
| Figura 28. Extracción de muestra de suelo a 20 cm de profundidad | 61 |
| Figura 29. Aplicación de cal agrícola sobre cobertura de maíz | 65 |

CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Principios a tener en cuenta para el manejo de suelos | 30 |
| Cuadro 2. Parámetros a tener en cuenta para la protección de los cauces hídricos | 31 |
| Cuadro 3. Abonos verdes y algunas características | 35 |
| Cuadro 4. Algunos cuidados a tener en cuenta para la producción de semillas de abonos verdes | 36 |
| Cuadro 5. Grupos de cultivos y sus respectivos índices | 39 |
| Cuadro 6. Grupos de preparación de suelo y manejo de restos de cultivos con sus respectivos índices | 40 |
| Cuadro 7. Agrupación de suelos según sus cualidades, características y resistencia a la erosión y sus respectivos índices - Grandes grupos de suelos – Estado de Paraná, Brasil | 40 |
| Cuadro 8. Estimación de la cantidad de macronutrientes exportados en los granos cosechados de los principales cultivos sembrados en áreas de agricultura mecanizada de la Región Oriental | 49 |
| Cuadro 9. Estimación de la cantidad de nitrógeno (N) presente en la parte aérea de plantas de un sistema de rotación. Yguazú, Alto Paraná | 49 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 10. Estimación de la cantidad de potasio (K) presente en la parte aérea de plantas de un sistema de rotación. Yguazú, Alto Paraná | 50 |
| Cuadro 11. Niveles de algunos componentes del suelo para efecto de la interpretación de resultados de análisis químico de suelo para el cultivo de soja | 63 |
| Cuadro 12. Interpretación del tenor de P en el suelo extraído por el método de Mehlich I conforme el tenor de arcilla para soja, maíz, trigo y girasol | 63 |
| Cuadro 13. Interpretación del tenor de K en el suelo extraído por el método de Mehlich I, conforme el contenido de K en el suelo | 63 |
| Cuadro 14. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva total en kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ de acuerdo con el tenor de arcilla | 68 |
| Cuadro 15. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual para la Clase 1 de suelo en Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ bajo el sistema de siembra directa para Paraguay | 68 |
| Cuadro 16. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual para suelos de clase 2 en Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ bajo el sistema de siembra directa para Paraguay | 68 |
| Cuadro 17. Recomendación de fertilización potásica correctiva gradual y total en kg ha ⁻¹ de K ₂ O en el sistema de siembra directa en el Paraguay | 69 |
| Cuadro 18. Valores de fertilización de mantenimiento (M) de P y K de los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol para los rendimientos especificados y cantidades a ser adicionadas por tonelada de granos producidos | 69 |
| Cuadro 19. Concentración media de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O y tenor de materia seca de algunos materiales orgánicos de origen animal y sus Índices de liberación (nutrientes) | 71 |
| Cuadro 20. Ejercicio práctico: Aplicación de fertilizantes de origen animal y químicos | 72 |

TABLA

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Espaciamiento entre terrazas para valores de $(u + m)/2$ igual a 1 | 39 |
|---|----|



CAPÍTULO PRIMERO

Conociendo el suelo

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es el sustrato natural para el desarrollo de las plantas. La planificación de su uso y manejo tiene como objetivo principal el aprovechamiento de las aguas de lluvia, evitando reducir las pérdidas por escurrimiento superficial y creando condiciones para que las aguas de lluvia se infiltren en el suelo. Esto permite, además de asegurar la provisión de agua para las plantas, el ganado y las comunidades rurales, evitar la erosión hídrica, las inundaciones, la colmatación de los cursos de agua y cargar las napas freáticas que alimentarán los cursos de agua. Los agricultores realizan permanentes esfuerzos por aumentar sus rendimientos y cosechar granos de buena calidad. Esta calidad generalmente está basada en características físicas y agroindustriales, que le permita obtener mayores ingresos. El mercado internacional exige hoy en día que el proceso de obtención del producto sea una producción inocua e inofensiva al medio ambiente donde se desarrolla el cultivo, donde aparte de las labores propias del cultivo se incluyan aspectos relacionados al medio ambiente, la salud y la seguridad del personal que interviene en el proceso de producción. Esto obliga a los agricultores a incorporar medidas o prácticas adecuadas de uso de suelos, registrarlos correctamente y verificables en la unidad productiva. Las prácticas conservacionistas son de fundamental importancia para controlar las pérdidas de agua y suelo, propiciando la maximización de los lucros sin reducir la capacidad productiva.

2. PERFIL DEL SUELO

Los suelos se depositan o desarrollan en capas denominadas **horizontes** que pueden ser observados en los barrancos de los arroyos o costados de un camino. Se identifican de 5 a 6 horizontes principales y cada uno de ellos se subdivide en capas más específicas. Ver figura 1. El espesor de estos horizontes varía de acuerdo al local. Bajo condiciones de agricultura intensiva o erosión hídrica severa no todos los horizontes están presentes.

La camada superior es un **horizonte O** orgánico. Consiste en hojas frescas y residuos de las plantas como ramas, musgos, líquenes y otros materiales orgánicos. El horizonte O generalmente es oscuro por descomposición de los materiales que forman el humus.

Bajo el horizonte O está el **horizonte A**. Este horizonte es más bien de material mineral. Su coloración es más oscura que el horizonte que se encuentra debajo por la variación en la cantidad del material humificado que contiene. Esta camada es donde ocurre la mayor actividad radicular y generalmente es la más productiva.

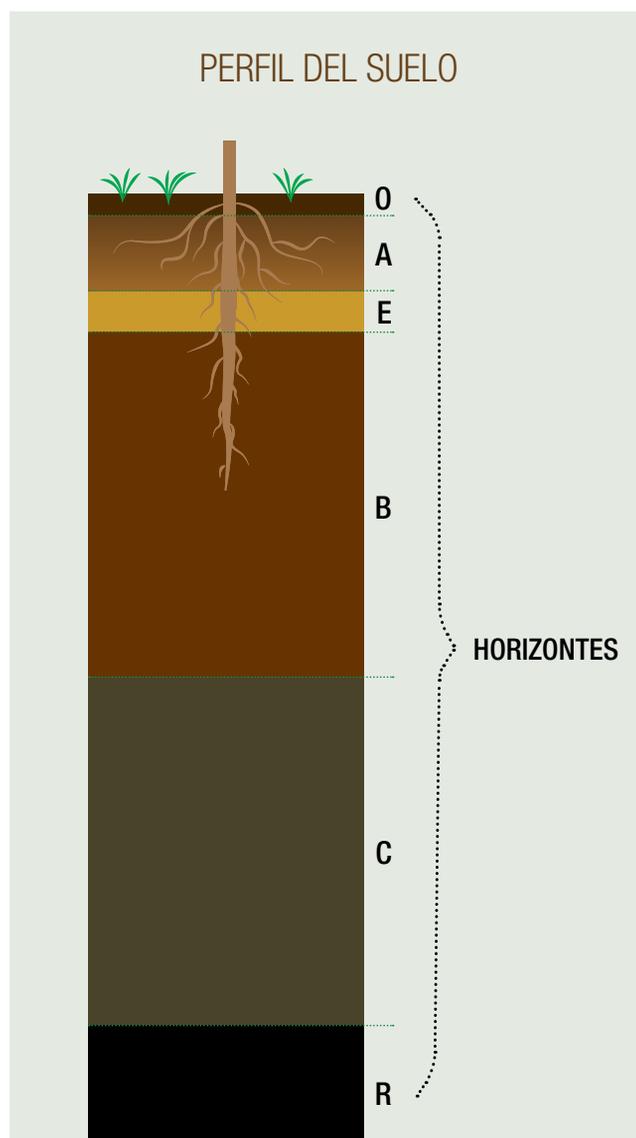
Un horizonte A recientemente enterrado se denomina horizonte Ab.

El **horizonte E** generalmente es lavado o clareado en su apariencia. El agua disuelve los minerales y nutrientes y parte de ellos son lavados. La principal característica de este horizonte es la remoción de las arcillas de silicatos, hierro, aluminio, humus y las combinaciones de estos, aumentando así la concentración de limo y arena.

Bajo el A o el E se encuentra el **horizonte B** que generalmente es más claro, denso y menor cantidad de materia orgánica que el horizonte A. Es una camada donde generalmente hubo algún tipo de acumulación. El horizonte B es más bien definido por el material acumulado. Ejemplo el "t" en la forma de "Bt", significa acumulación de arcilla. Otras acumulaciones pueden ser de hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso o silicatos. Si no existe concentración reconocible dentro del horizonte B pero se observa diferencia de color y/o estructura con relación al horizonte adyacente, se denomina "BW".

El **horizonte C** contiene menos arcilla, más bien material parental parcialmente desintegrado y partículas minerales. Algunos son lechos de rocas blandas denominado "Cr". A veces el horizonte C es denominado como "2C" cuando un horizonte de material diferente se sobrepone sobre otro.

Figura 1. Perfil del suelo



El más profundo de los horizontes es el "R". Es un lecho de roca que puede estar a poca o gran profundidad bajo la superficie del suelo.

Deposiciones recientes generalmente no han desarrollado el horizonte B, sin embargo se observan capas estratificadas que varían de espesor, textura, color y composición.

3. FORMACIÓN DE LOS SUELOS

El suelo desarrollado es el resultado de la interacción del clima, los microorganismos, la posición en el paisaje y la descomposición de material parental a través del tiempo. El material parental se refiere a la gran variedad de materiales orgánicos e inorgánicos del cual se originan los suelos. Materiales minerales que incluyen rocas intemperizadas, cenizas de volcanes, sedimentos depositados por vientos o agua o rocas molidas por los glaciares. La velocidad de formación está en relación a la permeabilidad del agua de estos materiales. Los materiales densos ofrecen mayor resistencia a los procesos de formación.

El clima determina la clase de planta que vive sobre y dentro del suelo, la cantidad de material intemperizado, transportado y elementos liberados. El clima determina la tasa de descomposición química y la temperatura del suelo. Altas temperaturas acelera el crecimiento de las plantas y, por ende, la formación de la materia orgánica. En climas fríos y secos ocurre lo contrario. La descomposición de la materia orgánica es mayor en climas cálidos y húmedos. Ambientes fríos, en descongelación, húmedos y secos provocan roturas del material parental.

Las aguas de lluvia disuelven algunos minerales como los carbonatos y luego son transportados a mayores profundidades.

Las plantas afectan el desarrollo de los suelos proveyendo de capas de material orgánico reciclando nutrientes de las capas más profundas y reduciendo los efectos de la erosión. Las raíces permiten mayor infiltración de agua en profundidad. Las hojas, ramas y cortezas de las plantas caen sobre la superficie del suelo y son descompuestas por hongos, bacterias, insectos, lombrices y otros animales excavadores. Estos organismos comen los materiales orgánicos liberando nutrientes al suelo, transformándolos en formas a ser aprovechadas por las plantas. Los microorganismos y el humus producen como pegamentos a las que quedan adheridas partículas formando los agregados. El suelo agregado permite una adecuada combinación de aire y agua para las raíces de las plantas.



Figura 2. Distribución del perfil de suelo.

La posición en el paisaje causa cambios localizados en temperatura y humedad. Cuando llueve en el paisaje, el agua se mueve aguas abajo por la fuerza de la gravedad a través del suelo o sobre el suelo de la parte más alta a la parte más baja. Por más que se tengan iguales factores de clima, organismos, material parental y tiempo, suelos elevados secos serán diferentes de suelos húmedos donde se acumula agua. Áreas húmedas tendrán condiciones reducidas para un apropiado desarrollo de raíces que requieren un balance de oxígeno, agua y nutrientes.

Se requiere de tiempo para la formación de los horizontes. Cuanto mayor es el tiempo de exposición a los agentes de formación como la vegetación, las lluvias, los microorganismos, mayor desarrollo tendrá el perfil del suelo. Suelos desarrollados tienen más definidos los horizontes, porque el índice de formación supera al índice de erosión geológica o de deposición.

4. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LAS ÁREAS DE SIEMBRA DE GRANOS EN LA Región Oriental DEL PARAGUAY

La Región Oriental se caracteriza por una sucesión de lomadas con pendientes suaves a pronunciadas (de 4% a 15%) que drenan naturalmente a los valles y llanuras de los numerosos cursos de agua que cruzan la región en varias direcciones. Presenta igualmente un sistema central de serranías de superficie muy irregular, con relieve agudizado, con amplitud de 150 a 600 metros y cotas variables de 250 a 840 metros sobre el nivel del mar, pendiente abrupta (mayor del 15%) y drenaje muy rápido. Este sistema de serranías constituye la línea de división de aguas de las cuencas de los ríos Paraguay y Paraná.

Figura 3. Soja sembrada en sistema de siembra directa.



La mayoría de los suelos agrícolas arcillosos pertenecen a las clases Terra Roxa Estructurada (Ultisol y Alfisol) y Latosolos (Oxisol), derivados de las rocas basálticas localizados en los departamentos de Itapúa, Alto Paraná, partes de Canindeyú y Amambay. Los suelos arenosos con cultivos de granos principalmente los Podzolicos Vermelhos Amarelos (Ultisol y Alfisol) se hallan localizados en San Pedro, Caaguazú, parte de Canindeyú, Misiones y Caazapá.

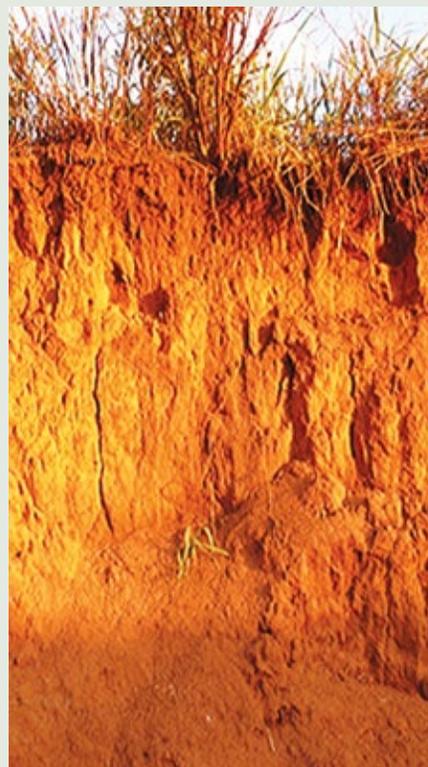
Los suelos **Alfisoles** presentan un horizonte subsuperficial argílico, kándico o nátrico, con un valor de saturación de bases de 35% a más, determinado a los 125 cm del límite superior del horizonte argílico o kándico o a los 180 cm de la superficie si la primera profundidad fuese mayor. El horizonte argílico contiene un 20% o más de arcilla que el horizonte superior de eluviación. Si dicho horizonte tiene además una capacidad de intercambio catiónico de 16 cmol o menos de cargas por kg de arcilla y una capacidad de intercambio catiónico efectiva de 12 cmol o menos de carga por kg de arcilla, dicho horizonte es llamado kándico. El horizonte nátrico es una clase especial de horizonte argílico que, además del incremento en el contenido del 20% o más de arcilla, tiene un porcentaje de sodio intercambiable de 15% o más, en uno o más de sus horizontes dentro de los 40 cm del horizonte superior argílico.

Los suelos **Ultisoles** tienen un horizonte argílico o kándico, con un valor de saturación de bases menor de 35%, determinado a los 125 cm del límite superior del horizonte argílico o kándico, o a los 180 cm de la superficie, si la primera profundidad resultase mayor. Al igual que los Alfisoles, los Ultisoles se desarrollaron sobre materiales de origen diversos como: areniscas, basaltos, granitos y sedimentos aluviales de estos materiales, extendiéndose en diferentes fisiografías como lomadas, valles y llanuras, con cobertura vegetal variable de bosques, sabanas y praderas.

En los **Entisoles** se incorporan los suelos considerados recientes, porque el tiempo en que los factores formadores actuaron ha sido corto y los suelos no poseen horizontes genéticos naturales o solo presentan un comienzo de horizontes de débil expresión. Los Entisoles pueden consistir de sedimentos aluviales muy recientes o tener roca firme a escasa profundidad pueden tener diversos colores como los grises, amarillos pardos y rojos. Algunos son profundos, arenosos y areno francoso, que presenta solamente un horizonte ócrico y pueden tener un horizonte álbico, de lavado, inmediatamente debajo. En la Región Oriental, se los ha reconocido en todos los departamentos, en paisajes de valles y llanuras, lomadas y serranías; se desarrollaron de relieve plano a fuertemente ondulado.

Los **Oxisoles** se caracterizan por tener un horizonte ócrico o un horizonte kándico cuyo límite superior se encuentra dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, teniendo los primeros 18 cm superficiales un 40% o más de contenido de arcilla. Los suelos encontrados dentro de este orden, se clasificaron como Oxisoles por su horizonte kándico y el contenido de 40% o más de arcilla en los primeros 18 cm de suelo superficial. Gran parte de estos suelos se desarrollaron a partir de las rocas basálticas, bajo vegetación boscosa principalmente en un paisaje de lomadas en pendientes suaves a inclinadas.

Figura 4. Perfil de un suelo Alfisol de las nuevas áreas de siembra de soja en el Departamento de San Pedro.





CAPÍTULO SEGUNDO

Principales problemas de suelos agrícolas

1. LOS PROBLEMAS EN SUELOS AGRÍCOLAS

Los problemas más comunes relacionados a los suelos agrícolas tienen que ver con las actividades de las personas. Estos problemas vienen siendo cada vez más severos.

En muchas regiones del mundo la erosión, la desertificación, la contaminación, la compactación, el avance de las ciudades y urbanización y la pérdida de fertilidad se encuentran entre los problemas más graves que afectan hoy a los suelos.

En nuestro país, entre otros problemas, el uso de rastrones y otros implementos de remoción de suelos están comprometiendo la calidad del sistema de la siembra directa. Esta práctica es igual a una quema porque elimina la materia orgánica del suelo. La eliminación de la materia orgánica es tan grande que no permite su acumulación.

Por otra parte, las prácticas agrícolas en uso actualmente no garantizan un mayor tiempo de cobertura del suelo y está ocasionando diversos fenómenos relativos a la degradación de suelos.

Durante la zafra de soja del año 2013, de un total de área de siembra superior a 3 millones de hectáreas, el 70% correspondiente a un área superior a 945.000 hectáreas carecían de cobertura que permita acumular materia orgánica y controlar la erosión.

La práctica de la siembra de soja en sucesión a soja viene mostrando un crecimiento constante. El área de siembra de este cultivo, que en 2014 sumaron 470.301 hectáreas, mostró un incremento superior al 70 % con relación al 2013 y se estima un incremento aún mayor para el 2015. La soja zafriña es una práctica que preocupa debido a que no permite una cobertura suficiente del suelo, tampoco incrementa la materia orgánica, disminuye el área de maíz entre zafra que provee de abundante carbono para la formación de materia orgánica, interviene en la época oportuna para la siembra de trigo, ocasiona mayor compactación de suelos y favorece la proliferación de plagas, enfermedades y malezas de difícil control.

2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE DEGRADACIÓN

La introducción del sistema de cultivo mediante la siembra directa, intensificado su uso a partir de los años noventa y, sumados con el cultivo de diferentes abonos verdes en rotación, ha permitido la expansión del área de cultivo de los principales rubros actualmente de exportación.

Con la expansión de los cultivos transgénicos, como la soja resistente al herbicida glifosato, muchos productores y técnicos consideraron a estos cultivares llamados "RR" como la solución para los problemas de control de malezas en siembra directa.

La facilidad para controlar malezas con el mencionado herbicida en post emergencia del cultivo de soja, trajo una falsa impresión de la no necesidad de las prácticas de la rotación de cultivos incluyendo el uso de abonos verdes.

Después de más de diez años del cultivo de la soja transgénica en Paraguay bajo la siembra directa, actualmente han disminuido las prácticas de la rotación de cultivos, el uso de plantas de cobertura como los abonos verdes. Actualmente, en Paraguay se practica el 100 % de monocultivo de soja con el agravante del doble monocultivo de soja (soja sobre soja). Las consecuencias de estas prácticas nefastas para la sustentabilidad de la producción son traducidas en un mayor número de ocurrencia de plagas, enfermedades y malezas cada vez más difíciles de controlar, como también en una constante degradación de los suelos agrícolas que antaño fueron considerados los más fértiles del continente e incluso sin necesidad de fertilización química alguna.

Figura 5. Erosión laminar y formación de cárcavas en áreas con cultivos de granos.



3. EL PROCESO EROSIVO Y EFECTOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Los dos factores que más atentan contra la agricultura sostenible son la erosión hídrica y la disminución del contenido de la materia orgánica del suelo.

3.1. El proceso erosivo.

Al iniciarse la lluvia, una parte del volumen precipitado es retenido por la vegetación o cultivo y la otra impacta contra el suelo. El agua que llega al suelo aumenta la humedad de éste y reduce las fuerzas de cohesión de los agregados superficiales. Con la continuidad de las lluvias, los impactos de gotas quiebran los agregados en partículas menores ocurriendo una compactación y formación de costras superficiales. Esta camada superficial formada reduce la capacidad de infiltración, acumulándose el agua en las pequeñas depresiones de la superficie. Cuando la intensidad de las aguas de lluvias caídas superan a la capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo y agotada la capacidad de retención del agua superficial, se inicia el escurrimiento superficial y el proceso erosivo.

3.2. Efectos de la erosión hídrica.

Los efectos sociales y ambientales perjudiciales de la erosión hídrica son relevantes: reduce la capacidad productiva de los suelos, afecta el tránsito de los caminos rurales, dificulta el acceso a la educación, disminuye la fluidez del comercio, colmata nacientes y cursos de agua, entre otros. La erosión se convierte en uno de los principales factores que causan degradación y deterioro de la calidad ambiental, que es acelerada por el uso y manejo inadecuado del suelo.

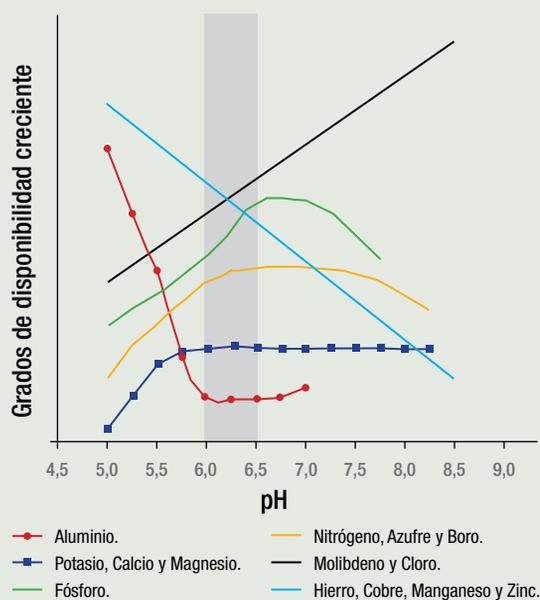
Las pérdidas de partículas de suelo (coloides minerales y coloides orgánicos) ascienden a más de 10 t/ha/año en áreas con laboreo anual de suelo. Estas partículas llegan a los cursos de agua, reduciendo la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo. Con la salida del agua también se lixivian nutrientes como calcio, fósforo, potasio, además de la materia orgánica, en cantidades superiores a la tolerancia de pérdidas de suelo.

Otro aspecto está relacionado al mantenimiento y disponibilidad del agua precipitada en la propiedad, dada la gran cantidad de agua escurrida, se reduce el volumen de agua que atraviesa el perfil del suelo y que alcanza o alimenta las napas freáticas, reduciéndose el agua disponible para las plantas, pozos y cursos de agua.

Figura 6. La erosión hídrica en suelo cultivado en sistema convencional en el Departamento de Itapúa.



Figura 7. Disponibilidad de micronutrientes en función del pH del suelo.



Fuente: (Malavolta et al., 1997).

4. ACIDIFICACIÓN DEL SUELO

4.1. La acidez del suelo.

El parámetro usado para medir la acidez del suelo es el pH (potencial o concentración de iones hidronio). Cuando los suelos presentan pH bajo (menor que 7,0), significa que son ácidos. Cuando los suelos presentan pH alto (mayor que 7,0), significa que son alcalinos.

La escala de pH va de 0 a 14, siendo el pH 7,0 el neutro. El rango óptimo para mayor disponibilidad de los nutrientes en el suelo y máximo desarrollo de la mayoría de las plantas cultivadas en Paraguay se sitúa entre 6,0 y 6,5 (figura 7).

La acidez del suelo ejerce influencia sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo y afecta directa o indirectamente sobre el

crecimiento de las plantas. La deficiencia de calcio y la toxicidad causada por el aluminio y manganeso son los factores que más han limitado la productividad de los suelos en regiones tropicales y subtropicales.

Con excepción del hierro, cobre, manganeso y zinc, que disminuyen su disponibilidad con el aumento del pH en el suelo, todos los demás elementos como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, molibdeno y cloro aumentan su disponibilidad mediante el encalado en dosis adecuadas.

4.2. Factores que llevan a la acidificación del suelo.

Entre los factores causantes de la acidificación de suelos son mencionados los siguientes:

4.2.1. Disminución de la materia orgánica.

La materia orgánica (MO) tiene un papel muy importante en la prevención de la acidificación del suelo así como en la corrección de su acidez. Su gran capacidad de intercambiar cationes, como calcio y magnesio, promueve una neutralización y remoción de cationes de aluminio.

4.2.2. Manejo inadecuado del encalado.

Falta de monitoreo periódico de la acidificación del suelo mediante el muestreo de suelo y posterior análisis, la falta de corrección de acidez aplicando cal agrícola adecuado en la medida necesaria.

4.2.3. Uso indiscriminado de fertilizantes químicos.

Los fertilizantes químicos y los agroquímicos en menor escala acidifican el suelo. Los fertilizantes nitrogenados amoniacales poseen un efecto residual ácido.

4.2.4. Erosión presente en el terreno.

Muchos sistemas de cultivos actualmente empleados no aportan suficiente rastrojo y materia orgánica lo que expone sobremanera el suelo a la intemperie climática, facilitando la erosión del suelo. Esto contribuye a la pérdida de materia orgánica y cationes del suelo, influenciando directamente en el aumento de la acidez.

4.2.5. Compactación del suelo.

El monocultivo, la ausencia de rotación de cultivos adecuados con cultivos de cobertura, como también el manejo inadecuado de plagas, enfermedades y malezas obligan al productor a una mayor repetición de diferentes aplicaciones. Esto significa más frecuencia de tránsito con las máquinas en los terrenos, lo que ocasionan la compactación del suelo.

5. PÉRDIDA DE LA MATERIA ORGÁNICA

5.1. Consideraciones generales.

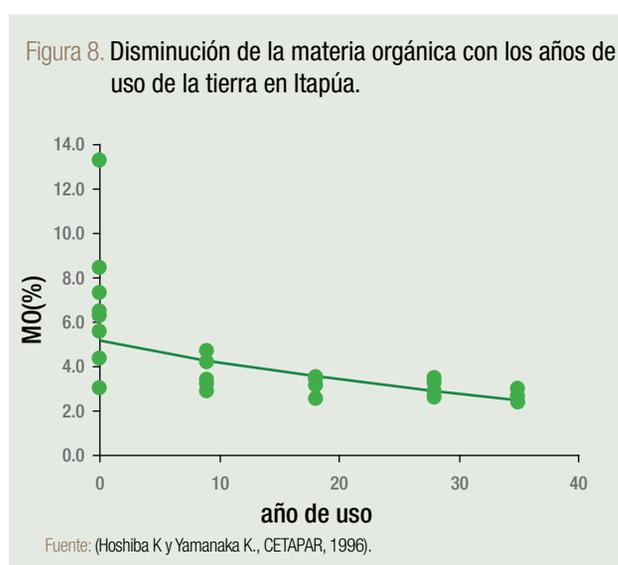
Materia orgánica es toda sustancia muerta en el suelo originada de plantas, microorganismos, excreciones animales, de la meso o de la macrofauna muerta. Se encuentra en el suelo en forma de vegetales en descomposición, raíces, residuos de cosechas, organismos y microorganismos muertos (Primavesi, A. 1990).

Después de la humedad, la materia orgánica es el atributo más importante que contribuye para la fertilidad y productividad de un suelo. Estos atributos indican la calidad de un suelo, porque éste con tenores altos en materia orgánica siempre será más productivo.

La materia orgánica por su gran capacidad de intercambiar cationes, como calcio, magnesio, potasio y otros iones, es capaz de almacenar nutrientes en el suelo y liberarlos gradualmente en las cantidades requeridas por las plantas. Los nutrientes son absorbidos en la materia orgánica y son protegidos de las pérdidas por fijación en las arcillas, pérdidas por evaporación y pérdidas por lavado. Igualmente, los cationes de calcio y magnesio retenidos por la materia orgánica en el suelo, promueven una neutralización y remoción de cationes de aluminio, que es tóxico para las raíces de las plantas.

La pérdida continuada de materia orgánica afecta la productividad del suelo, disminuye la capacidad de intercambio catiónico (capacidad de retener nutrientes), tiende a elevar la acidez y decrece la actividad microbiana (hongos, bacterias y otros microorganismos benéficos).

Varios son los factores que contribuyen para la disminución de la materia orgánica en el suelo, entre los cuales, los más importantes son: insuficiente, baja o inexistente cobertura del suelo, el monocultivo, falta de rotación de cultivos y abonos verdes, la quema de rastrojos, el revolviendo del suelo con implementos como arado, rastras o escarificadores, incluyendo a los subsoladores. En la figura 8 se observa la disminución de la materia orgánica a través de los años de uso agrícola en Itapúa.



5.2. Equilibrio entre aporte y descomposición de la materia orgánica

La cantidad de materia orgánica acumulada anualmente depende del clima y de las condiciones del suelo, así como la clase de vegetación. Las plantas son las principales fuentes de materia orgánica, sea a través de las ramas, hojas y sus raíces. De esta forma, el sistema de cultivo adoptado por el agricultor es determinante en el aporte, mantenimiento o pérdida de la materia orgánica.

Por lo expuesto, podemos afirmar que cualquier sistema de producción agrícola que no agregue suficientes cantidades de materia orgánica y/o que disminuya paulatinamente su tenor es inapropiado y tiene como consecuencia irreversible la degradación de los suelos haciendo la producción insostenible en el lugar.

5.3. El bajo contenido de la MO en el suelo puede tener los efectos siguientes:

5.3.1. Deficiente estructura de suelo.

La escasez de materia orgánica no favorece la formación de una buena estructura del suelo que prevenga la erosión y la degradación.

5.3.2. Disminuye la tasa de infiltración y retención de agua en el suelo.

La escasez de materia orgánica dificulta el almacenamiento de humedad en el suelo. Una pérdida de materia orgánica de 5 a 3 % ha significado una reducción en la capacidad de almacenamiento de agua de 57 a 37 % (Young, 1976).

5.3.3. Disminuye la resistencia a la erosión.

La falta de cobertura muerta de vegetales depositada sobre el suelo en forma de rastrojo desprotege contra el impacto directo de las gotas de lluvias y disminuye la infiltración de agua, lo cual resulta en erosión laminar y posteriormente en surcos.

5.3.4. No mantiene la temperatura del suelo favorable para la actividad biológica.

La falta de cobertura vegetal (viva o muerta) expone el suelo para la ocurrencia de temperaturas extremas y facilita la pérdida de humedad del suelo y el deficiente desarrollo de raíces.

5.3.5. Desestimula el crecimiento de la planta y desmejora el enraizamiento.

Las plantas no son favorecidas durante la germinación, el enraizamiento, la formación de brotes nuevos y su crecimiento. Esto se da incluso en suelos pocos o no fertilizados con los compuestos orgánicos intermedarios como aminoácidos y hormonas, producidos durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.

5.3.6. Empeora los atributos químicos en el suelo.

La falta de materia orgánica limita la liberación de nutrientes para la solución acuosa de forma absorbible por las plantas, principalmente el nitrógeno, seguido por otros. Tampoco es movilizado el fósforo fijado por la arcilla o suelos con altos tenores de hierro oxidado.

5.3.7. Menor actividad y diversidad biológica del suelo.

La escasez de materia orgánica no permite la formación de los ácidos orgánicos y alcoholes. Estos son formados durante la descomposición de la materia orgánica y sirven como fuente de carbono a los microorganismos de vida libre, fijadores de nitrógeno, posibilitando su fijación en las plantas.

La escasez de materia orgánica imposibilita la vida a los microorganismos, especialmente los fijadores de nitrógeno, que producen sustancias de crecimiento como el triptófano, aminoácido precursor de la auxina y el ácido indol acético (hormonas de crecimiento y brotes) que poseen efectos positivos sobre el desarrollo vegetal.

5.3.8. Acción debilitada contra enfermedades y plagas.

La escasa disponibilidad de materia orgánica limita la producción de antibióticos que protegen las plantas de enfermedades, debido a que los microorganismos activos no encuentran suficiente alimento en la descomposición de sustancias orgánicas. De igual forma no son producidas sustancias similares y nutrientes que, cuando son absorbidos por la plantas, los dejan menos apetitosos para las plagas. Además los microorganismos patógenos de las plagas no encuentran abrigo ni alimentos.

5.3.9. Disminuye la productividad de los cultivos.

Bajo condiciones de escasez de materia orgánica, las plantas no encuentran suficientes promotores de crecimiento producidos como sustancias intermediarias de la descomposición de la materia orgánica.

De esta manera las plantas son pobremente nutridas, crecen bajo condiciones de humedad y temperaturas inestables, en un suelo adensado y poco profundo. Así serán débiles, poco vigorosas y con grandes posibilidades de resultar en cosechas fracasadas.

5.4. Influencia de la preparación del suelo sobre el contenido de materia orgánica y el rendimiento

La remoción del suelo tiene como consecuencia la rápida mineralización de la materia orgánica de la reserva del suelo, liberando nitrógeno disponible para las plantas. Esto mejora el rendimiento de los cultivos apenas por uno o máximo dos cosechas que luego decrece porque gran parte del nitrógeno se pierde por lixiviación (hacia camadas profundas imposibles de aprovechamiento por las plantas) o por volatilización.

La preparación constante de suelos, mediante las labranzas, bajo condiciones favorables para la mineralización de la materia orgánica (calor, humedad y aireación), dejan muchas veces la parcela en barbecho (suelo desnudo) y, en consecuencia, llegan a perderse valiosas reservas de nitrógeno.

Una vez consumida la materia orgánica, no es posible liberar más nitrógeno y consecuentemente los rendimientos de los cultivos decaen. El resultado es un suelo sin materia orgánica, agotado y cansado con el agravante de la aparición de diferentes malezas como el *Cenchrus echinatus*.

6. PÉRDIDA Y FIJACIÓN DE NUTRIENTES

La intensificación de la agricultura observada en estos últimos años, exige cada vez mayores flujos de nutrientes para los cultivos y una gran reserva de los nutrientes de las plantas en el suelo.

Los usos excesivos de nutrientes, el manejo ineficiente de los sistemas de cultivo, el uso inadecuado de los residuos y desperdicios provocan la pérdida de nutrientes, lo cual significa pérdidas económicas para el agricultor.

Por otra parte, un suministro inadecuado e insuficiente de nutrientes de las plantas crea un agotamiento de las reservas de nutrientes en la finca, lo que también constituye una pérdida económica para el agricultor.

Así mismo, cuando los nutrientes aplicados en exceso sobrepasan la capacidad de absorción de los sistemas de cultivo, se crean riesgos ambientales y, en situación de agotamiento de las reservas de nutrientes, la degradación ambiental.

El nitrógeno. El contenido de nitrógeno en el suelo depende de los aportes por la fertilización y del nitrógeno liberado de la materia orgánica del suelo. Las pérdidas de N en nuestros suelos ocurren principalmente por los siguientes procesos:

- ▶ **Desnitrificación:** es el proceso por el cual el N escapa a la atmósfera.
- ▶ **Volatilización del amoníaco:** algunos fertilizantes como la urea que se descompone fácilmente y se volatiliza.
- ▶ **Lixiviación de los nitratos:** Los nitratos son muy solubles en el agua y no son retenido por el suelo, por lo que un exceso de agua puede arrastrarlo hacia el subsuelo contaminando acuíferos. Los suelos ricos en arcilla presentan una menor lixiviación, al tener mayor capacidad de retención que los suelos arenosos. En condiciones tropicales, se habla de una pérdida promedio de 4,5 g de N fertilizante por mm de lluvia (Reichardt et al, 1982).
- ▶ **Retención del nitrógeno iónico en el suelo:** El ion amonio NH_4^+ puede ser retenido por el complejo de cambio y no estar disponible para los cultivos. Extracción por las cosechas: en función del tipo de cultivo y su rendimiento podemos encontrar extracciones de 50 kg/ha a 150 kg/ha en una campaña. Para ello es necesario conocer el coeficiente de extracción de cada cultivo.

El fósforo. La mayor parte del fósforo se encuentra en la fase sólida y es muy baja su concentración en la solución acuosa. Esto hace que su movilidad sea muy reducida y quede acumulado en la capa superficial del suelo. Por lo tanto, normalmente sus pérdidas son muy pequeñas y se limitan al arrastre superficial de formas sólidas o disueltas por fenómenos de erosión y escorrentía, quedando casi todo el fósforo añadido al suelo como reserva en la fase sólida.

El P tiene la característica que para lograr efectos sobre los rendimientos necesita elevar hasta un cierto nivel sus reservas. Es decir, el suelo se comporta como un pozo que es necesario llenar de P, hasta que las cantidades agregadas rebosen y se encuentren a disposición de la planta. De ahí la recomendación de la importancia de fertilizar el sistema y no el cultivo.

El potasio. El potasio, junto al calcio, es el elemento más abundante en la corteza terrestre, por lo que a diferencia del N, la fracción mineral de muchos suelos tiene grandes cantidades de K total y disponible. La proporción de éste último depende de la naturaleza y grado de mineralización del suelo.

La capacidad de un suelo para suministrar K a la solución acuosa durante el periodo de cultivo, depende de la cantidad almacenada como reserva en forma intercambiable.

Calcio, magnesio, azufre y micronutrientes. Normalmente el pH de un suelo está relacionado con la concentración de calcio y magnesio. Este último en suelos ácidos, es corregido aplicando dolomita.

La deficiencia de Mg se presenta como consecuencia del antagonismo con el K, cuando las concentraciones de éste elemento son elevadas.

El azufre. Es un elemento que las plantas absorben en cantidades relativamente importantes. En los últimos años, es cada vez más frecuente observar síntomas de deficiencia de azufre en cultivos sobre todo en suelos arenosos y pobres en materia orgánica. La razón de esta deficiencia radicaría en la reducción del aporte de S con los superfosfatos principalmente.

En cuanto a la mayoría de los elementos traza, oligoelementos o los llamados micronutrientes, se encuentra en los suelos en cantidades suficientes, en cantidades muy pequeñas que las plantas necesitan. Las carencias de estos elementos se presentan más porque la concentración de las formas solubles o asimilables es baja en condiciones de acidez inadecuada, que por hallarse en pequeñas cantidades en el suelo.

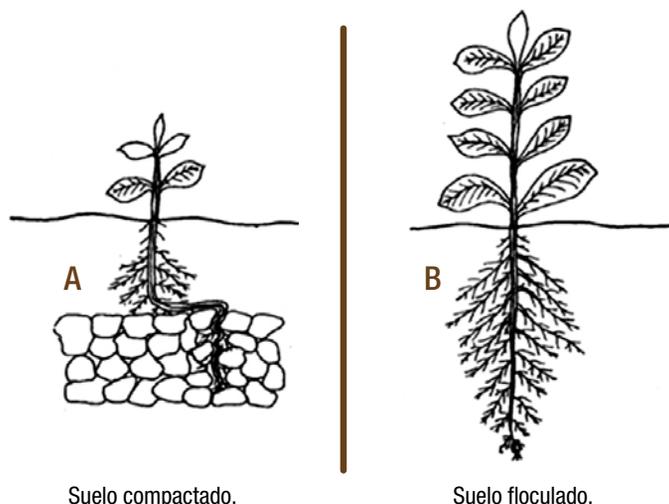
7. PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

La productividad de un suelo no sólo depende de sus contenidos nutritivos sino también de las condiciones físicas del mismo. Condición ésta comparable a la “capacidad de estómago”. Hay que recordar, que el desarrollo de la parte aérea de una planta depende del desarrollo de la raíz la que, a su vez, dependerá de que el suelo tenga un buen balance de aireación y humedad.

La compactación de suelos muchas veces es ocasionada por el tránsito de las maquinarias. Cuanto más pesada es la maquinaria en uso, ocurre mayor presión de peso distribuido por superficie. Esto compacta menos la camada superficial, pero la densificación del suelo es mayor en las camadas más profundas.

La falta de uso de abonos verdes adecuados dentro de una secuencia de rotación de cultivos facilita la ocurrencia de plagas, enfermedades y malezas; esto obliga a una mayor frecuencia de tránsito de maquinarias en los terrenos, ocasionando la compactación de suelos.

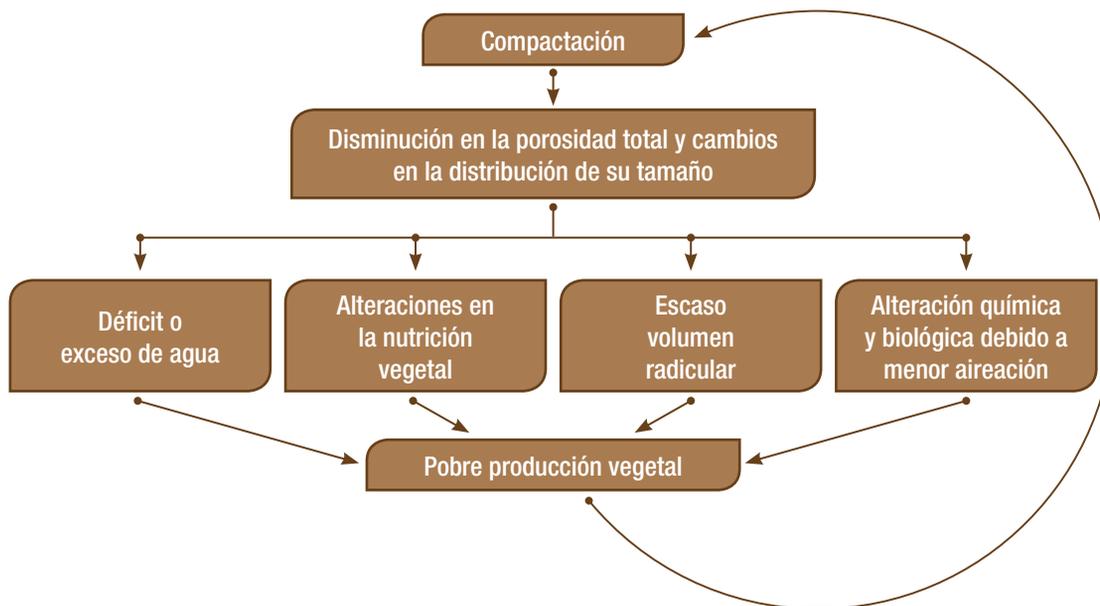
Figura 9. Desarrollo radicular afectado (A) y no afectado (B) por la compactación.



Cuando el desarrollo de la raíz de la planta es limitado en un suelo duro y poco poroso (figura 9), se entra en un círculo pernicioso decadente de productividad, en donde ocurre menor desarrollo de la planta, menor producción de rastrojos (cobertura), disminución del aporte de la materia orgánica, aumento de la acidificación y facilita la erosión de suelos.

El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas (adensadas), es la principal causa de disminución de los rendimientos y de la insostenibilidad de los suelos tropicales, debido a los efectos negativos que causa en el crecimiento de las raíces (Amézquita, 1990). La figura 10 ilustra los procesos relacionados con la nutrición de plantas, afectadas por la compactación de suelos.

Figura 10. Influencia de la compactación del suelo en la distribución de tamaño de poros y en los procesos relacionados con la nutrición de plantas (Amézquita, 1990).



8. EL CÍRCULO VICIOSO INSOSTENIBLE

A pesar de la gran esperanza puesta por los productores con la introducción, año tras año, de diferentes materiales mejorados, éstos frecuentemente se ven impedidos en mostrar su potencial genético (productivo), debido a que no son acompañados convenientemente por un manejo adecuado de suelo y del cultivo. En consecuencia, los resultados muchas veces no satisfacen la expectativa del productor, lo que les obliga nuevamente a entrar en una búsqueda incesante de soluciones tal vez milagrosas, en un círculo vicioso interminable. De esta manera, muchos productores con visión inmediatista tienen una alta dependencia de tecnologías de insumo lo que se ve reflejada en el volumen creciente de uso de agroquímicos utilizados. Siendo estimado un incremento cercano a 70% para la zafra 2013/4 en comparación a la zafra 2000.





PROYECTO UNICOOP – Solidaridad
"BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS"

CAPÍTULO TERCERO

*Buenas prácticas edáficas
para la agricultura*

**1. MANEJANDO ESTRATÉGICAMENTE
EL SUELO**

De los problemas expuestos, surgen las soluciones y que son resumidas en algunos principios para el manejo estratégico de suelos. El objetivo del manejo de suelos para la agricultura es acondicionar favorablemente el suelo para el buen crecimiento de los cultivos, la germinación de semillas, la emergencia de las plántulas, el crecimiento de las raíces, el desarrollo de las plantas, la formación de granos y la cosecha. Para ello, es imprescindible la adopción de ciertas prácticas como la siembra directa, la rotación de cultivos con un número de cultivos mayor a 5 en 3 años, el aumento de la biomasa con cultivos que producen grandes cantidades de rastrojos entre otras. En el cuadro 1 se enumeran algunos principios a tener en cuenta para el manejo de suelos.

Cuadro 1. Principios a tener en cuenta para el manejo de suelos.

| PRINCIPIO | BENEFICIOS |
|--|---|
| 1. Aumentar la cobertura de suelos mediante la rotación de cultivos | <ul style="list-style-type: none"> - Protege del impacto directo de la lluvia reduciendo la erosión hídrica y eólica - Reducción de la pérdida de suelo, agua, nutrientes y agroquímicos - Aumenta la porosidad y la infiltración del agua de lluvia - Reduce la pérdida de humedad por evaporación y aumenta la humedad disponible - Protege del impacto directo de las temperaturas extremas - Mejora las condiciones de germinación de las semillas - Aumenta el contenido de materia orgánica de la capa superficial - Mejora la estabilidad estructural de los agregados estructurales - Estimula la actividad biológica del suelo - Favorece el control biológico de las plagas - Reduce el enmalezamiento |
| 2. Aumentar la materia orgánica del suelo mediante el uso de los abonos verdes | <ul style="list-style-type: none"> - Incrementa la estabilidad de los agregados superficiales - Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo - Incrementa la capacidad del suelo para retener nutrientes - Estimula la actividad biológica del suelo |
| 3. Mejorar las condiciones de enraizamiento | <ul style="list-style-type: none"> - Mejora el desarrollo y crecimiento de las raíces - Reduce de las posibilidades de que los cultivos sufran una sequía - Mejora el aprovechamiento de nutrientes del suelo |
| 4. Mejorar la fertilidad química y física de suelos | <ul style="list-style-type: none"> - Incrementa el rendimiento de los cultivos - Incrementa la biomasa de los cultivos |
| 5. Reducir la contaminación del suelo y del ambiente | <ul style="list-style-type: none"> - Mejora el desarrollo y crecimiento de las raíces. - Reducción de las posibilidades de que los cultivos sufran una sequía. |

2. SELECCIÓN DEL TERRENO

El área de siembra seleccionada deberá tener condiciones benéficas (suelo, agua, luminosidad, clima, entre otros) para el desarrollo y producción de granos de trigo, soja, maíz, girasol, canola y otros. Previamente, serán analizadas las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a fin de identificar algún factor limitante para el desarrollo de los cultivos a implantar.

La topografía del terreno será adecuada para la producción, evitando terrenos con pendientes mayores a 10%. Se evaluará el drenaje natural de los suelos y que el área no sea fuente natural de acumulación de aguas superficiales y muy húmedas. Se evitarán los escurrimientos de residuos provenientes de vertederos, establos, fábricas, que contaminen los cultivos establecidos.

Los ríos, arroyos, nacientes, lagos, lagunas, humedales, entre otros, del lugar de siembra seleccionado estarán protegidos conforme a la legislación ambiental vigente (Ley N° 4241/2010, Decreto N° 9824), que reglamenta la implantación de una franja de bosque conforme al cuadro 2.

| Ancho del cauce (m) | Ancho ⁽¹⁾ mínimo del bosque protector en cada margen (m) |
|---------------------------------|---|
| Mayor o igual a 100 | 100 |
| 50 a 99 | 60 |
| 20 a 49 | 40 |
| 5 a 19 | 30 |
| 1.5 a 4.9 | 20 |
| Menor a 1,5 | 10 |
| Zona de influencia de nacientes | Se preverá en c/caso de nacientes |

Cuadro 2. Parámetros a tener en cuenta para la protección de los cauces hídricos.

(1) El ancho del bosque protector puede variar conforme a pendiente de laderas adyacentes, tipo de suelos y cercanía a áreas pobladas, entre otras variables.

También los sitios de terrenos colindantes con todo asentamiento humano, centros educativos, centros y puestos de salud, templos, plazas y otros lugares de concurrencia pública mantendrán una franja de protección de 100 metros. Ahora, las áreas cultivadas colindantes a caminos vecinales poblados, objeto de aplicación de productos fitosanitarios, deberán contar con barreras vivas de protección con un ancho mínimo de cinco metros y una altura mínima de dos metros. En caso de no existir dicha barrera viva, se dejará una franja protección de cincuenta metros de distancia de caminos vecinales poblados para la aplicación de plaguicidas (Ley 3742/09).

3. PLANIFICACIÓN A NIVEL DE MICROCUENCA HIDROGRÁFICA

El manejo de una cuenca hidrográfica es responsabilidad de todos los hombres que habitan diferentes lugares en la cuenca. Esto es debido a que en una microcuenca las propiedades presentan una alta interdependencia en el manejo de las aguas, siendo indispensable una planificación conjunta.

Con esta visión será elaborado y ejecutado el plan de manejo de cuencas con la participación de todos los integrantes, los productores vecinos afectados; las comunidades tanto locales, municipales, como departamentales, mediante la creación de una instancia encargada para la gestión del plan de manejo.

De esta manera el plan de manejo de cuencas hídricas de la zona rural deberá contemplar acciones que conlleven a la preservación y/o conservación de los acuíferos, el rendimiento hídrico y el régimen de escurrimiento de la cuenca afectada. Así se evitarán los sedimentos provenientes de áreas cultivadas con prácticas agrícolas inadecuadas, las redes viales e, incluso, de los caminos internos de las fincas.

Para el efecto se realizará el levantamiento de datos del tipo de suelo, uso actual, tenencia de la tierra, manejo de aplicado, insumos utilizados, disponibilidad de máquinas e implementos, rendimientos, entre otros que dará al productor una visión global del uso y manejo de los recursos naturales de la microcuenca.

4. PLANIFICACIÓN Y LAS PRÁCTICAS CONSERVACIONISTAS A NIVEL DE PROPIEDADES

Posterior a la planificación de la microcuenca se planificarán entre el técnico, el productor y vecinos de ésta, las mejoras o modificaciones de los sistemas de producción. Para la planificación utilizarán imágenes, mapas restituídos, cartas de suelos, y otras herramientas para el efecto. En la misma se definirán los niveles tecnológicos definidos por los factores tierra - capital - trabajo - finca que apunten a los tres puntos

de la estrategia técnica para reducir la erosión cobertura-infiltración de agua de lluvia-control de la escorrentía superficial. De esta manera la planificación de la finca puede ser definida como “el ordenamiento del uso, manejo y conservación del suelo y agua, en las dimensiones del espacio y tiempo, tomando en cuenta los recursos disponibles y condiciones del entorno, orientado a una optimización de las condiciones socioeconómicas y ambientales”.

La planificación conservacionista tiene por objetivo maximizar la productividad de la tierra agrícola aplicando un sistema de producción eficiente, racional e intensiva que asegure la continuidad de su capacidad productiva a través del tiempo. Así, a través de levantamiento y registro de datos de las propiedades físicas y químicas del suelo, la pendiente del terreno, las lluvias, los cultivos a realizar y la tecnología a aplicar, se conocerá el potencial de su producción y así se organizará el sistema de producción a aplicar en la propiedad.

Por otra parte, la práctica de manejo y conservación de suelos deberá reducir al mínimo o eliminar la erosión hídrica y mantener o aumentar los tenores de materia orgánica. A través de prácticas de manejo y con estos factores, el agricultor podrá reducir o controlar sus efectos.

Las enmiendas que propician la cobertura vegetal del suelo, la mejoría de la fertilidad y la estructura del suelo promueven la atenuación de la erosión. En ese sentido, la eliminación de la quema, la labranza cero, el uso de los abonos verdes, la cobertura permanente del suelo, la rotación de cultivos y el uso criterioso de correctivos y fertilizantes en un sistema de siembra directa son los requisitos para alcanzar una agricultura sostenible.

De esta manera, la estrategia para reducir la erosión hídrica deberá estar centrada en el aumento de la cobertura vegetal del suelo, el aumento de infiltración como la disponibilidad de agua en el perfil del suelo y el control de la escorrentía superficial del agua.

5. CONTROL DE QUEMAS

Entre las prácticas edáficas perniciosas se encuentran las quemas de limpieza de las nuevas áreas incorporadas a la producción de granos. Estas prácticas deben ser eliminadas por completo por el perjuicio que ocasiona el fuego que, eliminando la materia orgánica, volatiliza el nitrógeno y disminuye la fertilidad natural del suelo. La quema desmenuza los agregados superficiales del suelo y atentan contra la infiltración de agua y acelera el proceso de acidificación de los suelos.

6. ABONOS VERDES

Los abonos verdes son plantas cultivadas con el objetivo de cubrir los suelos durante su crecimiento o a través de sus rastrojos después del manejo. En el sistema de siembra directa los abonos verdes son sinónimo de plantas de cobertura porque siempre deben ser dejados sobre la superficie del suelo. Incorporarlos significa que los rastrojos dejados en superficie se integrarán gradualmente al suelo, principalmente por la acción de descomposición que realizan los microorganismos y no por la acción mecánica de un implemento como el arado. En la figura 11 se aprecia una plantación de abonos verdes de invierno.

El uso de los abonos verdes dentro del sistema de la siembra directa es vital. Sin embargo aún falta concienciar a muchos productores para que incluyan estos cultivos dentro de su sistema de producción. Para ello es necesario incentivar la financiación de su cultivo, mejorar la tecnología de producción de semillas, como también de equipamientos e infraestructura para procesamiento de semillas de abonos verdes.

6.1. Criterios para la selección de los abonos verdes.

Como reglas básicas para su utilización, los abonos verdes deben adecuarse a los sistemas de producción preexistentes y no deben competir por mano de obra, maquinarias, suelo, tiempo o espacio de ocupación de los cultivos comerciales ni comprometer la mejor época de siembra de éstos.

Las características que deben reunir los abonos verdes son:

- 1- Sus semillas deben ser de bajo costo.
- 2- Ser fáciles de sembrar y manejar.
- 3- Promover el buen control de malezas y el sombreado.
- 4- Ser poco exigentes en humedad y fertilidad de suelo para su emergencia y desarrollo.
- 5- Tener una buena capacidad de reciclar nutrientes (de preferencia también fijar nitrógeno).
- 6- Producir un efecto residual positivo sobre los cultivos de renta que le siguen en la rotación.
- 7- No deben ser hospederos de enfermedades y plagas.

6.2. Funciones y beneficios de los abonos verdes.

Los abonos verdes deben utilizarse principalmente para cubrir el suelo en los periodos sin cultivo y en ellos cumplirán diversas funciones. Las principales funciones de los abonos verdes son:

Proveer cobertura del suelo para la siembra directa con el objetivo de:

- Proteger el suelo contra la erosión.
- Aumentar la infiltración y retención de agua en el suelo.
- Reducir la evaporación de agua.
- Reducir la temperatura del suelo evitando que alcance valores perjudiciales para los seres vivos (microorganismos, raíces, etc.).
- Evitar el encostramiento de la superficie del suelo.
- Evitar o reducir el crecimiento de malezas y evitar que estas produzcan semillas.
- Aportar rastrojos que contribuyan a acumular materia orgánica en el suelo.
- Aportar, reciclar y almacenar nutrientes que son colocados a disposición de los cultivos comerciales.
- Promover la preparación biológica del suelo.
- Disminuir la infestación de plagas y enfermedades.

Cuando son seleccionadas especies inadecuadas, eventualmente los abonos verdes pueden tener efectos negativos como:

- Consumo excesivo de agua en regiones semi-áridas.
- Aumento de la incidencia de enfermedades y plagas.
- Sustancias alelopáticas contenidas en los abonos verdes pueden retardar o inhibir el crecimiento del cultivo posterior.
- Puede haber una disminución del rendimiento del cultivo posterior, cuando no se toma en cuenta el efecto residual de los abonos verdes.

6.3. Siembra y manejo de los abonos verdes recomendados para la agricultura mecanizada.

6.3.1. Siembra de los abonos verdes.

El éxito del uso de los abonos verdes depende, entre otras cosas, de su siembra en la época adecuada. Las experiencias recogidas en el centro y norte de la Región Oriental, indican que en el mes de abril se presentan las condiciones propicias para la siembra de los abonos verdes de invierno. La siembra de marzo corre el riesgo de ser afectada por altas temperaturas y las siembras posteriores a abril podrían tropezar con problemas de escasez de humedad.

La siembra de los abonos verdes puede realizarse en hileras con sembradora de grano fino o grueso o con el aplicador de fertilizantes al voleo (aplicador de urea). La ventaja de la siembra con sembradora es que requiere menor cantidad de semillas y se logra una emergencia más rápida y uniforme. La siembra al voleo tiene la ventaja de ser de menor costo y más rápida, pero es altamente dependiente de lluvias que se produzcan después de la distribución de las semillas. La siembra al voleo puede requerir de una pasada de rastra liviana sin trabar o del rollo cuchillo para mejorar el contacto entre las semillas y el suelo facilitando así la germinación. En ocasiones se pueden combinar las dos formas de siembra, principalmente cuando se asocian diferentes especies de abonos verdes. En casos especiales se puede realizar la siembra de un abono verde antes de la cosecha de un cultivo comercial o mismo antes del manejo de otro abono verde.

6.3.2. Manejo de los abonos verdes.

El momento ideal para el manejo de los abonos verdes es aquel capaz de proporcionar el mayor volumen de cobertura por un mayor periodo posible.

De esta manera, en lo posible, los abonos verdes de invierno deben ser acamados antes de la siembra de los cultivos de verano. El aplastamiento oportuno de los abonos verdes minimiza la pérdida de humedad del suelo y la germinación de semillas de malezas.

Para el manejo mecánico de los abonos verdes, se utiliza un cilindro metálico provisto de varios cuchillos sin filo llamado "rollo cuchillo", que permite acomodar la masa vegetal, acamando sin cortar y mover el suelo.

Se recomienda realizar la siembra de cultivos comerciales en el mismo sentido en que fue acamado el abono verde. De esa manera se va a lograr mayor permanencia de la cobertura del suelo, porque los discos de la sembradora cortan menos los rastrojos de los abonos verdes.

El tiempo entre el manejo del abono verde (acamado con rollo cuchillo y/o desecado con herbicidas) y la siembra del cultivo siguiente puede variar entre 0 y 30 días (ver la descripción de las diferentes especies).

En general los abonos verdes de invierno sembrados en abril deben manejarse entre los 100 y 120 días después de la siembra. Dependiendo de la época de la siembra y de las condiciones climáticas, el ciclo de los abonos verdes puede acortarse o alargarse. Las temperaturas altas y sequías acortan el ciclo hasta 30 días y temperaturas bajas, con lluvias bien distribuidas, pueden alargarlo.

Cuando los abonos verdes son manejados con el rollo cuchillo en el momento oportuno no rebrotan y no es necesario eliminarlos con el uso de herbicidas desecantes. Sin embargo, podría ser necesario el uso de herbicidas cuando no se dispone del rollo cuchillo o el abono verde es manejado en épocas inoportunas o cuando se constata la presencia de malezas.

6.4. Descripción de las principales especies de abonos verdes recomendadas para la Región Oriental.

Cuadro 3. Abonos verdes y algunas características.

| ABONOS VERDES DE OTOÑO/INVIERNO | | |
|-----------------------------------|---|--|
| CULTIVO | CARACTERÍSTICAS | OBSERVACIONES |
| avena negra | Gramínea anual, ciclo de 140 a 150 días. Producción de 5 a 7 t/ha de materia seca | Rápido crecimiento y efecto alelopático para supresión de malezas |
| avena amarilla | Gramínea anual, ciclo de 150 a 180 días. Producción de 4 a 8 t/ha de masa seca | Las semillas con doble trillado facilita la operación de siembra. En la región Sur se observa resiembra natural |
| aceven | Gramínea anual, ciclo de 210 días. Producción de 2 a 6 t/ha de masa seca | En la región sur presenta una gran capacidad de resiembra natural |
| nabo forrajero | Crucífera anual, ciclo de 160 a 180 días. Producción de 2 a 6 t/ha de masa seca | Manejar durante el periodo de plena floración o inicio de formación de silicuas. Esperar un periodo mínimo de 2 semanas posmanejo para sembrar maíz |
| lupino blanco amargo | Leguminosa anual, ciclo de 180 días. Producción de 3 a 6 t/ha de masa seca | Aporta y recicla un promedio de 86 kg/ha de N bajo condiciones de Yguazú |
| ABONOS VERDES DE PRIMAVERA/VERANO | | |
| CULTIVO | CARACTERÍSTICAS | OBSERVACIONES |
| crotalaria juncea | Leguminosa anual, ciclo de 180 a 270 días. Producción de 5 a 12 t/ha de masa seca | Notable efecto supresor de malezas. Manejar con rollo cuchillo antes de inicio de llenado de vainas. El trigo se recomienda sembrar inmediatamente posmanejo |
| kumanda yvyra'i | Leguminosa anual a semi-perenne, ciclo de 210 a 270 días. Producción de 6 a 18 t/ha de masa seca | Hay reporte de hasta 280 kg/ha/año de N fijado. Notable efecto para control de nemátodos |
| dolichos lab lab | Leguminosa bianual. La siembra de octubre permite cosechar las semillas entre 150 y 270 días. Es sensible al fotoperíodo. Producción de 4 a 6 t/ha de masa seca | Es susceptible al ataque de nemátodos. La variedad de semillas negras (highworth) crece erecto y facilita la cosecha mecanizada |
| milletto | Gramínea anual, ciclo de 120 a 150 días. Es sensible al fotoperíodo. Requiere de temperatura superior a 20 °C para su rápido desarrollo. Producción de 4 a 14 t/ha de masa seca | Notable capacidad de reciclar K. Muy apropiado para la siembra entre un cultivo de invierno y otro de verano |

6.5. Producción de semillas de abonos verdes.

Se considera que uno de los factores del escaso uso de los abonos verdes se debe a la indisponibilidad de semillas en cantidad, en la época requerida, de calidad y a precio accesible. Una alternativa es que el agricultor produzca su propia semilla. La producción de semillas debe realizarse en parcelas destinadas para tal fin, brindando los mismos cuidados culturales que en los cultivos de renta.

Cuadro 4. Algunos cuidados a tener en cuenta para la producción de semillas de abonos verdes.

| ABONO VERDE | ALGUNOS CUIDADOS |
|-------------------|---|
| avena negra | <ul style="list-style-type: none"> - Fertilización nitrogenada - Monitoreo periódico para detectar enfermedades - Rendimiento de granos de 800 a 1.000 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria para 100 ha de abono verde) |
| nabo forrajero | <ul style="list-style-type: none"> - Mantener la parcela semillera libre de malezas, principalmente del nabo silvestre - Fertilizar con N, P y K - Uniformizar la maduración mediante la siembra tardía de junio a julio - Rendimiento de granos de 300 a 800 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria para 25 ha de abono verde) - Debido al poder germinativo, el agricultor puede producir la semilla cada 2 años |
| lupino blanco | <ul style="list-style-type: none"> - Sembrar en el mes de abril para una cosecha entre setiembre y octubre - En el momento de la cosecha, no se golpeará las semillas. Así evitará disminuir su vigor y poder germinativo - Rendimiento de granos variable entre 1.300 a 2.200 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria para 10 ha de abono verde) - No cosechar parcelas que sufrieron ataque de antracnosis |
| crotalaria juncea | <ul style="list-style-type: none"> - Sembrar entre enero y febrero - La producción de semillas es muy inestable y dependiente del clima como de la proximidad de montes que condicionan la población de los polinizadores (insectos grandes) como los mamangás (<i>Xylocopa sp.</i> <i>O Bombus sp.</i>) - Rendimiento de granos variable entre 200 a 800 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria para 10 a 16 ha de abono verde) - Se recomienda sembrar como cultivo sucesor al maíz |
| kumanda yvyra'í | <ul style="list-style-type: none"> - Sembrar entre los meses de enero a febrero - La producción de granos es de 750 a 1.200 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria de 12 a 16 ha de abono verde) |
| dolichos lab lab | <ul style="list-style-type: none"> - Siembra entre diciembre y enero. - La producción de granos es de 1.000 a 1.500 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria de 25 a 37 ha de abono verde) |
| milletto | <ul style="list-style-type: none"> - Sembrar entre enero y marzo - La producción de granos está entre 500 a 1.000 kg/ha (equivalente a área de siembra necesaria para 40 a 80 ha de abono verde) |

6.6. Mezcla de abonos verdes

Para aumentar los efectos favorables de los abonos verdes sobre los cultivos de renta, se recomienda la mezcla de diversas especies combinando gramíneas con leguminosas. Debido a que los abonos verdes tienen diferentes hábitos de crecimiento, algunos erectos, otros rastreros, otros trepadores, etc., con la siembra conjunta se complementan, ocupando y aprovechando mejor los espacios y produciendo mayor cantidad de masa vegetal por unidad de superficie. Los abonos verdes poseen sistemas radiculares que exploran diferentes capas de suelo y tienen capacidades diferenciadas, permitiendo una extracción y reciclado de nutrientes de una forma más equilibrada para el siguiente cultivo. Además los abonos verdes con baja relación C/N se descomponen rápidamente y mineralizan nutrientes como es el caso del nitrógeno. Se liberan cantidades de nutrientes mayores de las que las plantas recién germinadas puedan aprovechar, son pérdidas por lixiviación o volatilización. Con la mezcla de especies de abonos verdes de baja y alta relación C/N se consigue una liberación gradual de nutrientes mejor aprovechados por el cultivo siguiente en su etapa de mayor demanda. Otro efecto beneficioso es la reducción de la incidencia de plagas, enfermedades y malezas en los abonos verdes por repelencia o barrera para la diseminación de las enfermedades. También la siembra asociada de especies de ciclos de crecimiento diferentes permiten mayor periodo de cobertura de suelo. Las mezclas más recomendadas son el nabo forrajero + avena negra/amarilla, el lupino blanco + avena negra, la avena negra + nabo forrajero + lupino, entre otros.

Figura 11. Abonos verdes en rotación con cultivos de renta en el departamento de Caaguazú.



7. PROTECCIÓN DE NACIENTES DE AGUA

El agua subterránea es un recurso natural vital y generalmente de excelente calidad. Por su importancia económica, su valor estratégico y su costo de reposición es fundamental impulsar medidas de protección de las fuentes de aguas. Pero también es importante llevar a cabo los planes de manejo y usos adecuados del suelo bajo criterios técnicos que ayuden a mitigar las presiones tanto por la expansión agrícola como demográfica.

En nuestro país, el Decreto 9824 reglamenta la protección de los cauces hídricos mencionando en su Artículo 8 que el ancho del bosque protector de las nacientes tendrá como mínimo 30 metros de radio, pudiendo ampliarse de acuerdo a las características de las mismas.

8. CULTIVOS EN CONTORNOS O EN NIVEL

Las operaciones de subsolado, siembra, aplicación de defensivos y todas las demás operaciones deberán ser realizadas acompañando las curvas de nivel. En forma aislada, como sistema de control de erosión, podrán realizarse en terrenos planos con menos del 3% de pendiente y de corta longitud de rampa. Las operaciones hechas en nivel y perpendiculares a la pendiente permiten actuar como pequeñas barreras para el escurrimiento superficial reduciendo su capacidad erosiva. De sembrarse cuesta abajo, las huellas de tractor compactan el suelo, dificultan la infiltración del agua y actúan como verdaderas canaletas favoreciendo la erosión hídrica.

8.1. Marcación de las curvas

Las curvas de nivel pueden ser marcadas en el campo con instrumentos rudimentarios o aparatos de precisión. El trabajo se inicia con la determinación de la pendiente o grado de inclinación del terreno expresada en porcentaje. Una vez calculada la pendiente, se calcula el espacio horizontal entre las curvas con el auxilio de una tabla, sea para la construcción de una terraza o cordón vegetal. La marcación se inicia desde la parte más elevada de la vertiente. Para el caso del uso de un nivel de precisión, se instala el aparato en el punto inicial de la línea en el nivel a ser marcado o también arriba o debajo de ese punto según la conveniencia. Posteriormente, el portador de mira parlante se desplazará hacia los puntos que tienen igual lectura de mira.

Para la construcción de las curvas, es recomendable que el productor solicite la asistencia de los técnicos de su cooperativa o del Programa Nacional de Manejo, Conservación y Recuperación de Suelos, MAG.

8.2 Cálculo de espaciamiento entre las curvas

Las distancias entre las curvas son calculadas utilizando la ecuación

$$EV = 0,4518 \cdot K \cdot D^{0,58} \cdot \frac{u + m}{2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Y el espacio horizontal es calculado mediante la siguiente ecuación

$$EH = \frac{100 \cdot EV}{D} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Con dichas ecuaciones se elaboró la Tabla 1 donde se consideró $\frac{u + m}{2} = 1$

EV : espacio vertical entre terrazas expresada en metros

EH : espacio horizontal entre terrazas expresadas en metros

K : Índice variable para cada tipo de suelo

D : pendiente del terreno expresada en porcentaje

u : factor de uso de suelo

m : factor de manejo de suelo (preparación y manejo de rastrojos)

| Pendiente % | Curvas en nivel | | | | Curvas en desnivel | | | | Pendiente % |
|-------------|-----------------|------|-------|------|--------------------|------|-------|------|-------------|
| | Tipo de Suelo | | | | Tipo de Suelo | | | | |
| | A | | B | | C | | D | | |
| | EH | EV | EH | EV | EH | EV | EH | EV | |
| 1 | 56,50 | 0,56 | 49,70 | 0,50 | 40,70 | 0,41 | 33,90 | 0,34 | 1 |
| 2 | 42,20 | 0,84 | 37,20 | 0,74 | 30,40 | 0,61 | 25,30 | 0,51 | 2 |
| 3 | 35,60 | 1,07 | 31,30 | 0,94 | 25,60 | 0,77 | 21,40 | 0,64 | 3 |
| 4 | 31,60 | 1,26 | 27,80 | 1,11 | 22,70 | 0,91 | 18,90 | 0,76 | 4 |
| 5 | 28,70 | 1,44 | 25,30 | 1,26 | 20,70 | 1,03 | 17,20 | 0,86 | 5 |
| 6 | 26,60 | 1,60 | 23,40 | 1,40 | 19,20 | 1,15 | 16,00 | 0,96 | 6 |
| 7 | 24,90 | 1,75 | 22,00 | 1,54 | 18,00 | 1,26 | 15,00 | 1,05 | 7 |
| 8 | 23,60 | 1,89 | 20,80 | 1,66 | 17,00 | 1,36 | 14,20 | 1,13 | 8 |
| 9 | 22,40 | 2,02 | 19,80 | 1,78 | 16,20 | 1,45 | 13,50 | 1,21 | 9 |
| 10 | 21,50 | 2,15 | 18,90 | 1,89 | 15,50 | 1,55 | 12,90 | 1,29 | 10 |
| 11 | 20,60 | 2,27 | 18,20 | 2,00 | 14,90 | 1,63 | 12,40 | 1,36 | 11 |
| 12 | 19,90 | 2,39 | 17,50 | 2,10 | 14,30 | 1,72 | 11,90 | 1,43 | 12 |
| 13 | 19,20 | 2,50 | 16,90 | 2,20 | | | | | 13 |
| 14 | 18,60 | 2,61 | 16,40 | 2,30 | | | | | 14 |
| 15 | 18,10 | 2,72 | | | | | | | 15 |
| 16 | 17,60 | 2,82 | | | | | | | 16 |

Tabla 1. Espaciamiento entre terrazas para valores de $(u + m)/2$ igual a 1

Los diferentes cultivos presentan efectos variados en las pérdidas de agua y suelo por erosión. La densidad de cobertura y su sistema radicular influyen en el proceso erosivo (cuadro 5).

| GRUPO | MANEJO DE SUELO | | RESTOS DE CULTIVOS | ÍNDICES |
|-------|---|--|--|---------|
| | Preparación primaria | Preparación secundaria | | |
| 1 | Rastra aradora o pesada o palas rotativas | Rastra de discos niveladora | Incorporados o quemados | 0,50 |
| 2 | Arado de disco o vertedera | Rastra de discos niveladora | Incorporados o quemados | 0,75 |
| 3 | Rastra liviana | Rastra de discos niveladora | Parcialmente incorporados con o sin rotación de cultivos | 1,0 |
| 4 | Arado escarificador | Rastra de discos niveladora | Parcialmente incorporados con o sin rotación de cultivos | 1,50 |
| 5 | No tiene | Siembra directa, rotativa, rolo cuchillo, herbicidas | En superficie del terreno | 2,0 |

Cuadro 5. Grupos de preparación de suelo y manejo de restos de cultivos con sus respectivos índices.

| GRUPO | CULTIVOS | INDICE |
|-------|---|--------|
| 1 | Poroto, mandioca, mamón | 0,50 |
| 2 | Maní, algodón, arroz seco, ajo, cebolla, girasol, tabaco | 0,75 |
| 3 | Soja, sandía, zapallo, calabaza, melón, leguminosas, abonos verdes | 1,00 |
| 4 | maíz, sorgo, caña de azúcar, trigo, avena, centeno, cebada, otros cultivos de invierno y frutales de ciclo corto como la piña | 1,25 |
| 5 | Banana, café, cítricos y frutales permanentes | 1,50 |
| 6 | Pasturas implantadas y de corte | 1,75 |
| 7 | Reforestación, cacao, seringueira (caucho) | 2,00 |

Cuadro 6. Grupos de cultivos y sus respectivos índices.

Considerando que los diferentes tipos de manejo de restos de cultivos y los equipos más utilizados en la agricultura afectan el proceso erosivo, se formaron cinco grupos y cada grupo recibe un índice utilizado como factor de preparación de suelo y manejo de los rastrojos (cuadro 6).

| Grupo | Grado de Resistencia a la Erosión | Principales características | | | | | |
|-------|-----------------------------------|---|---|---|-------------------------------|------------------------------|-------------|
| | | Profundidad | Permeabilidad | Textura | Razón Textural ⁽¹⁾ | Grandes grupos de suelos | Índice de K |
| A | Alto | Muy profundo (>2m) o profundo (1,0 – 2,0 m) | Rápida/rápida moderada/rápida | Media/media Muy arcillosa/ muy arcillosa Arcillosa/ arcillosa | <1,2 | LR, LB, LE, LEa, LV | 1,25 |
| B | Moderado | Profundo (1,0 – 2m) | Rápida/rápida Rápida/ moderada | Arenosa/ arenosa Arenosa/media Arenosa/ arcillosa Media/arcillosa Arcillosa/muy arcillosa | 1,2 a 1.5 | TR, PV, LEa, TB | 1,10 |
| C | Bajo | Profundo (1 m – 2 m) Moderadamente profundo (0,5 – 1m) | Lenta/rápida Lenta/ moderada Rápida/ moderada | Arenosa/ media ⁽²⁾ Media/ arcillosa ⁽²⁾ Arenosa/ arcillosa Arenosa/muy arcillosa | >1,5 | PV1, PV2, Ca1 | 0,9 |
| D | Muy Bajo | Moderadamente profundo (0,5 – 1,m) o raso (0,25 – 0,50) | Rápida/ moderada lenta/lenta | Muy variable | Muy variable | Ca2, Ca3, Ba, PVa2, Li | 0,75 |

Cuadro 7. Agrupación de suelos según sus cualidades, características y resistencia a la erosión y sus respectivos índices - Grandes grupos de suelos - Estado de Paraná, Brasil.

(1) Media de porcentaje de arcilla del horizonte B (excluyendo B3) sobre media del porcentaje de arcilla de todo el horizonte A.
(2) Solamente con cambio textural abrupta entre los horizontes A y B

| | |
|------------|--|
| LR | : Latossolo roxo |
| IB | : Latossolo bruno |
| IE | : Latossolo vermelho escuro (derivado de basalto) |
| IEa | : Latossolo vermelho escuro (derivado de arenisca) |
| IV | : Latossolo vermelho amarelo |
| tR | : Terra roxa estruturada |
| pV | : Podzólico vermelho amarelo |
| IEa | : Latossolo vermelho escuro alio |
| tB | : Terra bruna estruturada |
| pV1 | : Podzólico vermelho amarelo |
| pV2 | : Podzólico vermelho abruptico arenoso |
| ca1 | : Cambisoolo (alicos) |
| ca2 | : Cambissolo (distróficos o eutróficos) |
| ca3 | : Cambissolo |
| li | : Litolicos |

8.3. Uso de la tabla de espaciamento

La tabla de espaciamento permite definir el espaciamento vertical y horizontal entre las curvas o terrazas sin necesidad de realizar los cálculos de la ecuación 1.

Sin embargo es necesario realizar los ajustes a las distancias horizontales y verticales. Se harán aplicando la fórmula:

$$\frac{u + m}{2}$$

u = sumatoria de los índices de grupos de preparación de suelo y manejo de restos de cultivos sobre el total de operaciones a ser realizadas (cuadro 5)

m = sumatoria grupo de cultivos y sus respectivos índices (cuadro 6)

Aplicando los valores de los Cuadros 5 y cuadro 6 respectivamente en la fórmula $(u+m)/2$, se obtendrá un valor que multiplicado por el valor calculado en la Tabla 1 según el tipo de suelo y pendiente correspondiente dará por resultado el espacio vertical y el espacio horizontal a ser aplicado.

Ejemplo: Se requiere levantar curvas en nivel de una propiedad con suelo, con promedio de 1,20 m de profundidad, de textura arenoso/arcilloso, razón textural 1,3 y una pendiente promedio de 4%, localizado en el departamento de San Pedro. Cultivará soja, maíz y mandioca en los próximos años. No utiliza aún la siembra directa y prepara su suelo con rastra pesada incorporando los residuos del cultivo anterior para la soja y maíz. Usará arado escarificador para el cultivo de la mandioca.

En la figura 12, se aprecia la construcción de una terraza.

Figura 12. Construcción de terrazas de base media en el Departamento de Caaguazú.



Las características se encuadran a un suelo de resistencia moderada a la erosión (Suelo tipo B). Por lo tanto:

| | |
|--|--------|
| <i>u</i> soja | : 1 |
| <i>u</i> maíz | : 1,25 |
| <i>u</i> mandioca | : 0,50 |
| <i>m</i> rastra pesada | : 0,50 |
| <i>m</i> incorporación de cultivo | : 0,50 |
| <i>m</i> arado escarificador | : 1,50 |

$$\text{por lo tanto } u = \frac{1+1,25+0,50}{3} = 0,91 \quad m = \frac{0,50+0,50+1,50}{3} = 0,83$$

$$\text{Luego } u = \frac{0,91 + 0,83}{2} = 0,87$$

En la tabla 1, para un suelo de resistencia moderada (Suelo tipo B) con pendiente del terreno de 4%; se observa el valor EV = 1,11 y el valor EH = 27,80 que se ajustarán multiplicando por el factor 0,87 calculado anteriormente.

$$EV = 1,11 \times 0,87 = 0,96 \text{ m}$$

$$EH = 27,80 \times 0,87 = 24,1 \text{ m}$$

Finalmente, el espacio vertical EV entre las curvas será de 0,96 m y el espaciamiento horizontal EH será de 24,1 m.

9. DESAGÜES Y PALANGANAS DE RETENCIÓN

Normalmente el agua que no consigue infiltrarse en el suelo, tiende a correr sobre la superficie del suelo bajo la forma de escorrentía. Dependiendo de la capacidad de infiltración de agua y del grado de cobertura del suelo, de la pendiente del terreno y de la incidencia de las lluvias erosivas, la escorrentía será mayor o menor.

Del total de agua de lluvia que llega al suelo bajo la forma de lluvias intensas, una parte se infiltra y el resto pasa a formar la escorrentía, concentrándose en las depresiones naturales del terreno, escurriendo hasta encontrar áreas de deposición natural como bajadas. A medida que la escorrentía avanza, aumenta su velocidad y volumen. Cuanto mayor es la escorrentía, mayor es su capacidad de causar erosión.

De ahí la importancia de la instalación de canales de desagüe como la construcción de reductores de velocidad de la corriente de agua de lluvia. Las palanganas de retención de agua de lluvia o “mini represas”, tiene la finalidad de contener la fuerza erosiva del aluvión de agua funcionando como almacenadora de agua que infiltra gradualmente al suelo. Estas palanganas, cuyo tamaño, ubicación y su número, dependerá del tamaño de la propiedad como de su pendiente (figura 13).

Figura 13. Palanganas de retención construidas a lo largo de un camino con pendiente que cruza una parcela de cultivo.



10. EL CÍRCULO VIRTUOSO DEL AGRICULTOR

En la figura 14, se puede observar el manejo del suelo y de proceso conducente hacia una agricultura sustentable.

Figura 14. Círculo virtuoso del productor agrícola para una agricultura sustentable.







PROYECTO UNICOOP – Solidaridad
"BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS"

CAPÍTULO CUARTO

Sistemas de cultivo para mejorar el suelo

1. SISTEMA DE CULTIVO DE LA SIEMBRA DIRECTA.

La siembra directa es el procedimiento de siembra de un cultivo sin la remoción del suelo, en donde la semilla es colocada en surcos con un ancho y profundidad suficientes para una adecuada cobertura y correcto contacto de las semillas con la tierra. Sin embargo, esta definición debe asumir una visión de "sistema integrado de producción" combinando diferentes prácticas culturales y biológicas, tales como el uso de productos químicos o prácticas mecánicas en el manejo de cultivos destinados como abonos verdes para la formación de cobertura del suelo, la mantención de los residuos culturales en la superficie del suelo; la adopción de métodos integrados de control de malezas a través de la cobertura de suelos, el uso de herbicidas y la no remoción de suelos, excepto en los surcos de siembra.

Así, la siembra directa es un sistema sustentable porque es una agricultura que promueve una regeneración perpetua del suelo.

Los requisitos para obtener una agricultura sustentable mediante la siembra directa son:

- Cero o mínima erosión.
- Cero quema.
- Evitar la remoción del suelo.
- Rotación de cultivos.
- Uso de los abonos verdes.
- Cobertura permanente de suelos.
- Uso criterioso de correctivos y fertilizantes.
- Diversificación integrada de la producción agropecuaria.
- Integración de ciclos biológicos (aporte de nitrógeno por leguminosas) y el control natural biológico de plagas y malezas.

2. ROTACIÓN DE CULTIVOS

2.1. Consideraciones generales.

Rotación de cultivos es la alternancia regular y ordenada en el cultivo de diferentes especies vegetales en secuencia temporal en una determinada área (Geisler, 1980). La secuencia de cultivos utilizados debe respetar aspectos ambientales y económicos del sistema, dando énfasis especial a la sostenibilidad. Por el contrario, el monocultivo es la siembra repetida, año tras año, de una misma especie en el mismo lugar y época. Las sucesiones soja/trigo, soja/maíz tardío y soja/avena negra si se repiten año tras año en el mismo lugar son ejemplos de doble monocultivo.

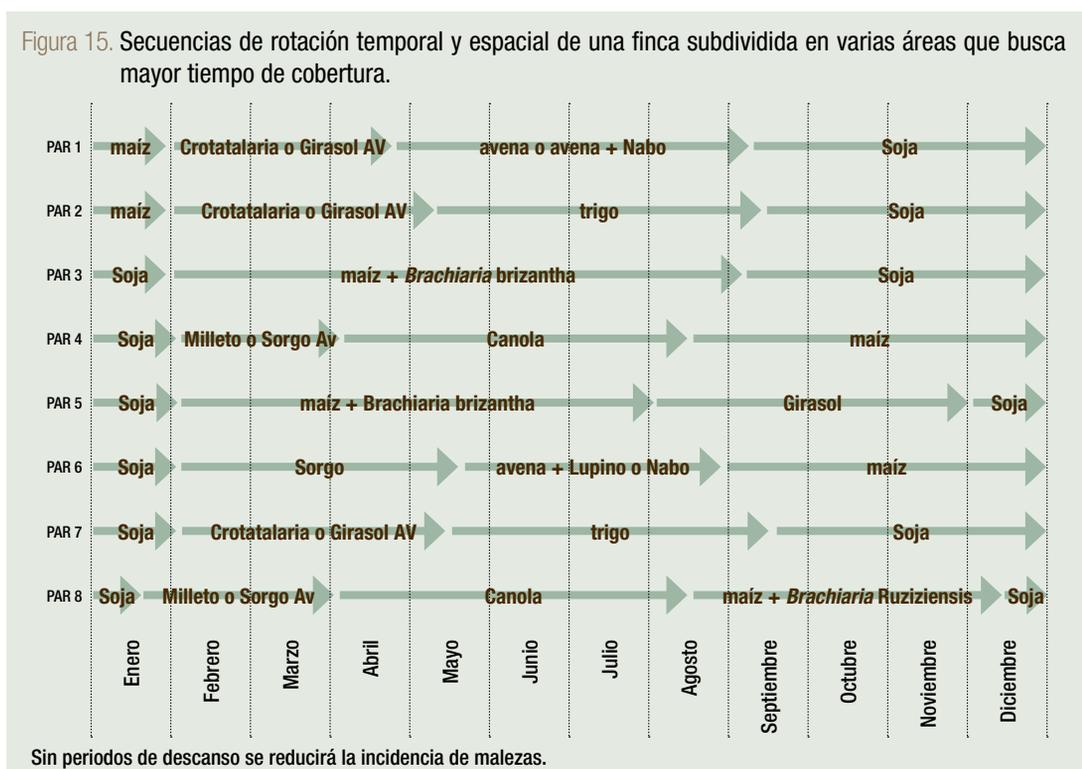
Las rotaciones de cultivos deben planificarse pensando en un sistema de producción agrícola a largo plazo y no sólo en oportunidades de ganancias inmediatas con visión a corto plazo. Por consiguiente, la planificación de la rotación de cultivos debe considerar secuencias que:

- 1) Mantengan el suelo permanentemente cubierto.
- 2) Aporten grandes cantidades de rastrojos al sistema.
- 3) Exploreen con sus raíces diferentes camadas del suelo.
- 4) Exporten diferentes nutrientes como también cantidades con sus granos.
- 5) Incluyan abonos verdes que aporten y reciclen nutrientes específicos para los cultivos que le siguen en la secuencia.
- 6) Rompan el ciclo de plagas y enfermedades.
- 7) No den oportunidad a que se multipliquen las malezas.

Este conjunto de factores favorables permitirá una disminución de la dependencia de insumos externos (diferentes agroquímicos) y conducirá hacia una mayor estabilidad de los rendimientos y mayor rentabilidad del sistema de producción.

La implementación de la rotación de cultivos incrementa la complejidad de tareas en la chacra. Por eso es importante que el productor registre en una planilla las actividades realizadas, los insumos utilizados, la secuencia de cultivo utilizado, los rendimientos obtenidos, entre otros. También es importante conocer los cultivos a sembrar, sus exigencias nutricionales, los abonos verdes recomendados, épocas y densidad de siembra; plagas, enfermedades y malezas que ocurren en la propiedad. Además es importante contar con personal de campo entrenado.

La forma práctica considerando los aspectos económicos, para la rotación se hará parcelando la propiedad en tres o más áreas. Cada área o parcela iniciará en las diferentes etapas de rotación. Esto permitirá que en forma secuencial se realice la sub-rotación y así el cultivo de renta se repetirá en el mismo lugar en tiempo y años que dure el sistema de rotación.



En la figura 15 es posible observar las alternativas de rotación de cultivos en siembra directa. En donde es notable el aumento del periodo de cobertura disminuyendo los periodos sin cultivo mediante rotaciones que incluyen los abonos verdes. Este cuadro ayudará a los productores a planificar otras secuencias de rotación acordes a su situación.

2.2. Principales efectos de las rotaciones de cultivos.

La rotación de cultivos tiene efectos sobresalientes sobre:

2.2.1. La cobertura del suelo.

La combinación de los cultivos en rotación determinará el tiempo en que el suelo permanecerá cubierto, si la cobertura será con plantas o rastrojos, si las plantas serán cultivos de renta, abonos verdes o malezas.

Las rotaciones que incluyeron abonos verdes en los periodos de entre zafra de los cultivos de renta, mostraron elevados niveles de cobertura de suelo (viva y muerta) que según Vallejos et al., 2001, se menciona una cobertura mínima superior a 85 % durante todo el año, obtenidas con las secuencias maíz/crotalaria - avena - soja y maíz/crotalaria - trigo - soja.

En la figura 16 se observa la emergencia de soja sembrada sobre rastrojos de trigo y la avena + nabo en donde se destacan los rastrojos dejados como cobertura por los abonos verdes.

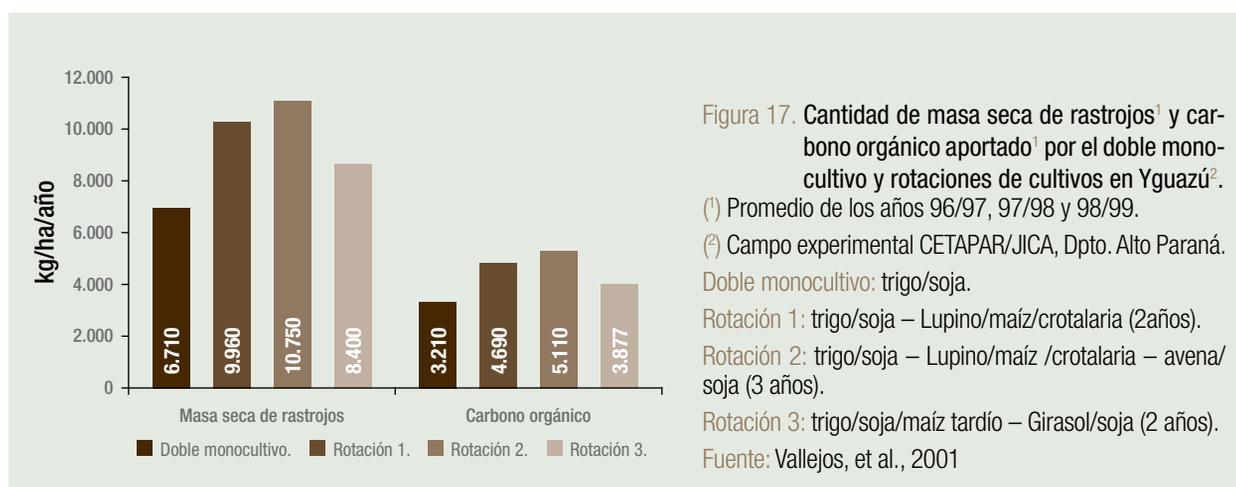
Figura 16. Soja sembrada sobre rastrojo de trigo (frente) y avena + nabo (fondo). CETAPAR, 2006.



2.2.2. El aporte del carbono orgánico al suelo.

Los rastrojos dejados dentro de la secuencia de cultivos en rotación, mejoran la cobertura del suelo y aportan carbono orgánico que contribuye a mantener y aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, de lo contrario se ocasionará su degradación.

Experiencias con rotaciones de cultivos en Yguazú mostraron que con el uso de secuencias adecuadas de cultivos se obtuvo mayor producción de biomasa y aporte de carbono orgánico que la producida por el doble monocultivo trigo/soja (figura 17).



Los resultados de la figura 17 muestran que las rotaciones 1 y 2, en las cuales hacen parte abonos verdes, presentaron mayor producción anual de rastrojos y consecuentemente mayor aporte de carbono orgánico que al doble monocultivo trigo/soja y la rotación que lleva cinco cultivos comerciales en dos años (rotación 3).

2.2.3. Mejora la dinámica de algunos nutrientes del suelo.

Para mantener la fertilidad de los suelos es necesaria la presencia permanente de plantas con abundantes raíces en crecimiento, que fijen nutrientes del aire (como el nitrógeno), que los solubilizan (como el fósforo), que los busquen de capas profundas (como el potasio) y que los acumulen en sus tejidos para liberarlos en la medida en que se lavan y descomponen sus rastrojos (reciclaje de nutrientes).

Actualmente más del 90% del área de cultivo del periodo primavera/verano es ocupado por la soja. Y aproximadamente un 50% es ocupado por el trigo y maíz tardío durante el periodo verano/otoño. Como puede apreciarse en el cuadro 8, el nitrógeno y el potasio son los nutrientes más extraídos y exportados del suelo en los granos cosechados de soja.

Cuadro 8: Estimación de la cantidad de macronutrientes exportados en los granos cosechados de los principales cultivos sembrados en áreas de agricultura mecanizada de la Región Oriental.

| Cultivos | Productividad ¹ | Nutrientes exportados en los granos ² | | |
|-------------|----------------------------|--|----|----|
| | | N | P | K |
| | | kg/ha | | |
| Soja | 2750 | 143 | 10 | 50 |
| trigo | 2250 | 72 | 11 | 15 |
| maíz Tardío | 3000 | 55 | 15 | 22 |

(¹) Productividad media calculada a partir de una encuesta realizada con agricultores, técnicos y funcionarios de cooperativas de la Región Oriental.

(²) Estimado a partir del análisis de los granos.

N = nitrógeno; P = fósforo y K = potasio.

Fuente: Vallejos et al., 2001.

Las exportaciones de N por las cosechas, sumadas a las otras pérdidas del sistema (lixiviación, erosión, volatilización, etc) producen como balance final un déficit en el suelo. Experiencias realizadas en Yguazú con rotaciones de cultivos que incluyen secuencias de cultivos con abonos verdes de leguminosas, mostraron que se consigue aportar a través de la biomasa grandes cantidades de nitrógeno (N) al sistema (en el caso del lupino media 90 kg/ha y de la crotalaria media de 82 kg/ha) (cuadro 9). Con esto es posible disminuir y en algunas oportunidades hasta sustituir el uso de fertilizantes nitrogenados en los cultivos comerciales de gramíneas que le siguen en la secuencia (maíz y trigo respectivamente).

Cuadro 9: Estimación de la cantidad de nitrógeno (N) presente en la parte aérea de plantas de un sistema de rotación¹. Yguazú², Dpto. Alto Paraná.

| | Rotación | | | | | kg/ha/año |
|-----------------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------|
| | Lupino | maíz | Crotalaria | trigo | Soja | |
| | kg/ha | | | | | |
| En el grano | - ³ | 110 ⁴ | - ³ | 70 ⁴ | 164 ⁴ | 172 |
| En el rastrojo ⁵ | 906 | 42 | 82 ⁶ | 56 | 42 | 156 |
| Total | 90 | 152 | 82 | 126 | 206 | 328 |

(¹) Rotación = lupino/maíz – crotalaria/juncea/trigo/soja (2 años).

(²) Campo experimental CETAPAR/JICA.

(³) Los abonos verdes fueron manejados en floración.

(⁴) Productividades (media de 6 años: maíz = 6.024 kg/ha, trigo = 2.213 kg/ha y soja = 3.170 kg/ha).

(⁵) Hojas, peciolo y tallos que son restituidos al suelo.

(⁶) Producción de masa seca de rastrojos (media de 3 años: lupino blanco amargo = 4.786 kg/ha y crotalaria/juncea = 3.268 kg/ha). Se asume que el nitrógeno reciclado en la biomasa de los abonos verdes proviene en su mayor parte de la fijación simbiótica de este elemento.

Fuente: Vallejos et al., 2001.

La soja es responsable por la mayor parte del K exportado por el doble monocultivo soja/trigo. Sin embargo, como se aprecia en el cuadro 10, la rotación que incluye abonos verdes ha logrado un consumo y exportación de K menor y más equilibrado.

Cuadro 10: Estimación de la cantidad de potasio (K) presente en la parte aérea de plantas de un sistema de rotación¹. Yguazú², Dpto. Alto Paraná.

| | Rotación | | | | | | | kg/ha/ año |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | Crotalaria juncea | avena negra | Soja | trigo | Soja | Lupino | maíz | |
| | kg/ha | | | | | | | |
| En el grano | - ³ | - ³ | 58 ⁴ | 14 ⁴ | 58 ⁴ | - ³ | 44 ⁴ | 58 |
| En el rastrojo⁵ | 47 ⁶ | 154 ⁶ | 69 | 31 | 69 | 72 ⁶ | 86 | 176 |
| Total | 47 | 154 | 127 | 45 | 127 | 72 | 130 | 234 |

(¹) Sistema de rotación = crotalaria/avena/soja - trigo/soja - lupino/maíz.

(²) Campo experimental CETAPAR/JICA.

(³) Los abonos verdes fueron manejados en floración.

(⁴) Productividades (media de 6 años: maíz = 6.024 kg/ha, trigo = 2.213 kg/ha y soja = 3.170 kg/ha).

(⁵) Hojas, peciolas y tallos que son restituidos al suelo.

(⁶) Producción de masa seca de rastrojos (media de 3 años: crotalaria juncea = 3.887 kg/ha, avena negra = 6.778 kg/ha y lupino blanco amargo = 5.281 kg/ha).

Fuente: Kliewer, et al., 2001.

2.2.4. Mejora la actividad biológica del suelo.

Los cultivos comerciales y los abonos verdes en rotación intervienen directamente en la dinámica poblacional de los organismos del suelo. Esto se debe a la constante adición de residuos vegetales al suelo (alimento), así como por el importante efecto de sus raíces y por el efecto de la cobertura del suelo (temperatura y humedad).

Resultados de investigación han mostrado una mayor formación de nódulos y su distribución más profunda en el sistema de siembra directa. La mayor estabilidad en la fijación de nitrógeno en siembra directa está relacionada principalmente con el hecho de que las plantas y las bacterias están más protegidas de las pérdidas de agua y de altas temperaturas del suelo (Voss, 1987).

2.2.5. Mejora la eficiencia para el control de algunas enfermedades y plagas.

La rotación de cultivos desde el punto de vista económico, ambiental y salud, ofrece el control más eficiente y menos costoso de enfermedades y plagas (por ejemplo del picudo de la soja y la mosca del tallo de la soja). Así, la rotación de cultivos permite disminuir considerablemente el inóculo del complejo de enfermedades de final de ciclo de la soja (*Septoria glycines* y *Cercospora kikuchii*), también permite disminuir la ocurrencia de las manchas foliares del trigo (mancha bronceada, tizón por *Septoria* y tizón por *Helminthosporium*) entre otros efectos favorables.

Es de destacar que la avena disminuye la población de hongo del suelo (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, etc) permitiendo a los cultivos de renta condiciones de mejor sanidad. También la inclusión de otras gramíneas (pastos, sorgo, millete, maíz, entre otros) y algodón en la rotación de cultivos permite disminuir la población de nemátodos del quiste de la soja (*Heterodera glycine*).

2.2.6. Mejora la eficiencia para el control de las malezas.

La experiencia muestra que cuanto menor el periodo de descanso sin cultivos, es menor la infestación de malezas.

La rotación de cultivos permite disminuir la población de malezas, en la medida que consiga prolongar el periodo de ocupación de la parcela durante el año, mediante los cultivos de abonos verdes como también

de renta. Esto impide a las malezas completar sus ciclos y producir semillas. Esto se logra con la siembra estratégica de abonos verdes de crecimiento inicial rápido, de elevada producción de biomasa y alta capacidad de supresión de malezas (girasol, crotalaria juncea, sorgo, millete, nabo forrajero, etc.) entre dos cultivos comerciales.

Los efectos físicos de la cobertura permanente del suelo (principalmente el sombreado), combinados con alelopáticos (substancias químicas que son liberadas por las raíces o por los tejidos en descomposición en el suelo) resultan en una menor infestación de malezas.

Las malezas de hojas finas (kapi'i pororo, kapi'iati, cebadilla, etc.) son normalmente problemáticas para ser controladas en cultivos comerciales de hojas finas como el maíz. Así como las malezas de hojas anchas (typychahu, santa lucía, yperupa, lecherita, etc.) en cultivos comerciales como la soja. La rotación de cultivos alternando especies de hojas anchas con finas facilita el control de malezas. Así, en lugares donde se tienen dificultades de controlar malezas de hojas anchas en soja, la opción es rotar con maíz y viceversa.

2.2.7. Reduce el costo de producción.

Entre la cosecha del cultivo de verano (por ejemplo, soja, maíz) y la siembra del cultivo de invierno (por ejemplo, trigo), ocurren intervalos de 50 a 90 días sin cultivo, periodo considerado suficiente para el desarrollo y proliferación de malezas. Es posible evitar esta situación sembrando abonos verdes de corto periodo, de crecimiento rápido y gran cantidad de biomasa con capacidad supresora de malezas como la crotalaria juncea y el girasol en alta densidad.

Esta situación de disminución de malezas mediante el uso de abonos verdes permite la siembra del cultivo comercial con uso mínimo de herbicidas incluso prescindiéndolos. Esto significa una reducción significativa del costo de producción.

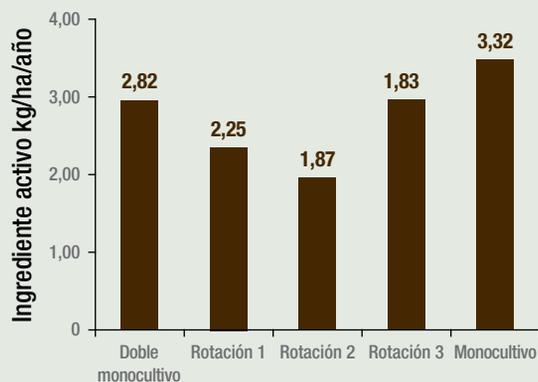
De esta manera, la inclusión de los abonos verdes en la rotación de cultivos consigue eliminar los periodos de descansos (sin cultivos) y consecuentemente minimiza la incidencia de malezas reduciendo los costos para controlarlas. Vallejos et al. (2001), informaron haber logrado una reducción del costo para control de malezas de 12 a 28 % en las parcelas con las rotaciones lupino/maíz/crotalaria – trigo/soja y avena/soja – trigo/soja en comparación a doble monocultivo trigo/soja.

2.2.8. Reduce el impacto ambiental.

Los productos denominados agroquímicos siempre tienen un impacto en menor o mayor grado en el ambiente. La rotación de cultivos con el uso de abonos verdes cuando conducidos bajo sistema de la siembra directa tiene una menor dependencia de uso de los agroquímicos. El estudio llevado a cabo en el campo experimental de CETAPAR, en donde fueron comparados volúmenes de ingredientes activos utilizados según diferentes sistemas de producción, arrojaron como resultado un mayor uso de ingredientes en el monocultivo con 3,32 kg/ha/año (figura 18). Esto no llega a ser un indicador directo del nivel de impacto ambiental, pero podríamos deducir que este resultado tendría mayor potencial en provocar desequilibrio ambiental que las otras rotaciones comparadas. Se destaca que la diferencia en el volumen de agroquímicos utilizados entre las rotaciones, podría ser aún mayor considerando que en la rotación 3 existe mayor número de cultivos cosechados con una secuencia de 5 cultivos en 2 años.

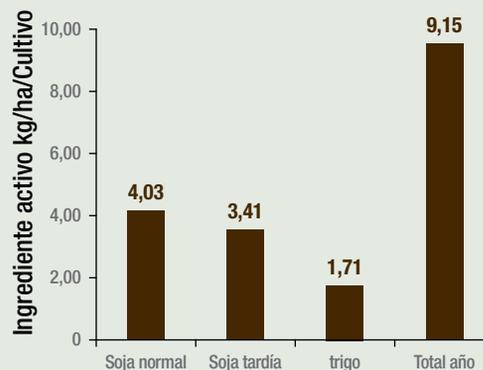
Por otra parte se destaca un menor uso de ingredientes cuanto mayor el número de cultivos dentro de la secuencia de la rotación. En la figura 19 se observa el creciente volumen de uso de ingredientes activos, en donde la secuencia trigo, soja zafra y soja entre zafra arroja un volumen total mayor a 9 kg/ha. Este resultado es muy superior al volumen empleado 15 años atrás, en el año 2000.

Figura 18: Suma de ingredientes activos de pesticidas (kg/ha/año) utilizados en diferentes sistemas de producción. (Adaptado de Vallejos, 2001. Campo experimental CETAPAR/JICA).



Doble monocultivo: trigo/soja (T/S). Rotación 1: Lupino/maíz/crotalaria - trigo/soja (L/M/Cr - T/S). Rotación 2: Lupino/maíz/crotalaria - avena/soja - trigo/soja (L/M/Cr - A/S - T/S). Rotación 3: trigo/soja/maíz tardío - girasol/soja (T/S/Mt - G/S). Monocultivo: Descanso/soja (D/S).

Figura 19: Estimación del volumen de ingredientes activos utilizados en los cultivos de trigo (2014) y soja (2014/15). Estimación efectuada por técnicos de las cooperativas durante la Jornada Técnica Sobre Introducción al Análisis de Gestión Agropecuaria. UniSol, Mayo de 2015.



2.3. Cuidados importantes en la operación de siembra.

2.3.1. Profundidad de siembra para una buena implantación del cultivo.

La profundidad de siembra adecuada es aquella que coloca la semilla donde pueda absorber agua para la germinación y una pronta emergencia de las plántulas.

Cuando se practica la siembra directa sobre rastrojos de cultivos de cobertura o de cultivos de renta, la profundidad de siembra no debería ser menor a 2,5 cm

Los rastrojos de nabo forrajero, avena negra, crotalaria juncea, girasol, maíz y de algunos otros, ejercen un efecto alelopático (herbicida natural) inhibiendo la germinación de semillas de los cultivos en sucesión dentro de una rotación.

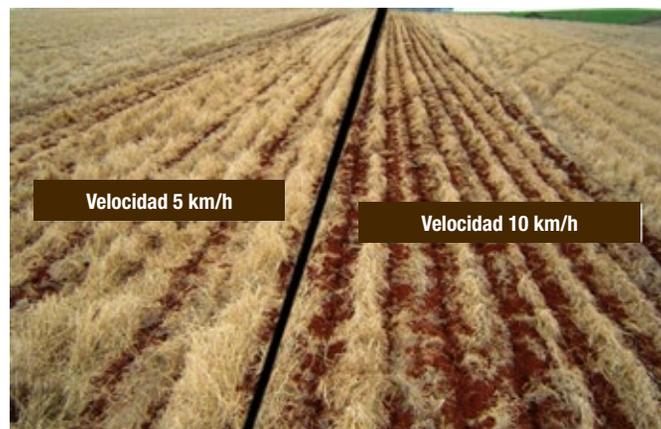
Este efecto se produce en la camada superficial de 2,5 cm de profundidad del suelo. Por debajo de esta camada el efecto es nulo o casi inexistente y las raíces de las plántulas no son afectadas.

Por lo tanto, para la siembra directa sobre cobertura de algún cultivo de abono verde, se recomienda realizar a una profundidad mayor a 2,5 cm y no superar los 5 cm por el riesgo de que la semilla no tenga suficiente energía para la emergencia exitosa.

2.3.2. Velocidad de siembra.

El exceso de velocidad durante la operación de siembra o mismo el desnivel de presión so-

Figura 20: Suelo mejor protegido cuando sembrado a una velocidad de 5 km/h (Gassen D., 2014).



bre las líneas de siembra ocasionan en el surco una depresión de algunos centímetros de profundidad. Esto trae como consecuencia semillas colocadas en lugares muy profundos en relación a la superficie del terreno y escasa cobertura de suelo.

El suelo de este surco normalmente estará desnudo, suelto y con muy poca capacidad de retención de humedad. En caso de no ocurrencia de lluvia en los días siguientes a la siembra, la buena germinación y emergencia estarían comprometidos. En caso de una fuerte lluvia antes de la emergencia, esta depresión podría cerrarse debido al taponamiento del surco, pudiendo producir un sellamiento superficial. Bajo esta situación, la semilla quedará con mucha tierra sobre ella, dificultando la emergencia de las plántulas. Para una siembra de calidad, la velocidad de siembra no debería pasar los 5 km por hora. En la figura 20, se observa el efecto de la siembra con velocidades a 5 y a 10 km/hora respectivamente.

2.3.3. Humedad del suelo para la siembra.

Otro aspecto a cuidar en el momento de la siembra es la humedad del suelo. La siembra realizada con excesiva humedad, ocasiona la formación de un espejo en las paredes del surco en donde son depositadas las semillas. Bajo esta situación habrá formación de bolsones de aire y consecuente disminución de contacto del suelo con la semilla. Esto disminuirá la absorción de agua por la semilla y favorecerá la proliferación de hongos que la atacarán, comprometiendo el stand del cultivo. Además, habiendo bolsones de aire en el interior del surco, la humedad se perderá con mayor rapidez haciendo con que las paredes espejadas del surco se sequen y endurezcan rápidamente, dificultando la penetración de las raíces.

Por otro lado, sembrar en suelo demasiado seco, producirá terrones en el surco ocasionando un menor contacto entre la semilla y el suelo, con las mismas consecuencias de una rápida pérdida de humedad mencionadas anteriormente. Además las plántulas tendrán mayores dificultades en emerger debido a la presencia de terrones de diferentes tamaños.

La humedad ideal del suelo para la siembra es cuando en el interior del surco no se produce masa. El suelo está suelto sin terrones. Así, el suelo en el surco se moverá menos y el contacto con la semilla será mayor. La humedad permanecerá mayor tiempo con la semilla permitiendo un vigoroso crecimiento de la raíz y la parte aérea con una óptima germinación y emergencia.

2.3.4. Uso de la cuchilla para la siembra.

En el caso de cultivos de granos gruesos (inclusive sorgo), normalmente el uso de disco (de corte) no consigue descompactar la camada por debajo de la semilla depositada. Lo que se consigue es un efecto inverso de adensamiento.

A fin de evitar el mencionado problema, se recomienda el uso de la chuchilla comúnmente llamada de "botita" instalada detrás del disco de corte. La cuchilla produce un aflojamiento más profundo del suelo (de 10 a 12 cm) dejándolo blando entre 5 y 7 cm por debajo de la semilla. Esto facilita el desarrollo normal de la raíz (sin resistencia) y posibilitará alcanzar prontamente horizontes más profundos en donde encontrarán humedad y nutrientes. Las plántulas emergerán más uniformes y con más vigor. En suelos adensados, sean agrícolas o pasturas, es imprescindible el uso de la cuchilla.

2.3.5. Uso de ruedas o rollos compactadores.

Igualmente una pequeña presión ejercida sobre el surco de siembra después de depositada la semilla traerá mejores resultados. Los rollos o ruedas compactadoras que siguen las líneas de siembra ayudarán a eliminar las bolsitas de aire producidas durante el proceso y posibilitará a la semilla un mejor contacto con la tierra y humedad.

El suelo sobre la semilla un poco más apelmazado reducirá la evaporación y el secado dando mejores condiciones de germinación y emergencia.

2.3.6. Cuidados al usar fertilizantes químicos.

Las semillas, principalmente de los cultivos de soja, maíz, sorgo y girasol, son sensibles al efecto ácido o salino de los fertilizantes químicos. Estos pueden ser nitrogenados como la Urea y los que contienen Cloruro de Potasio.

En una determinada proximidad, el fertilizante deshidratará la semilla y podrá causar su “quemadura”. En la mayoría de los casos el efecto es irreversible causando la muerte de plántulas y semillas, comprometiendo el vigor de las que eventualmente consigan emerger. Por esto, se debe distanciar el fertilizante al menos 3 cm hacia un lado y 5 cm por debajo de la semilla depositada. Ante dificultades para efectuar esta operación, es preferible soltar el tubo de distribución del fertilizante y esparcir sobre el suelo, distanciando algunos centímetros al lado del surco de siembra.

3. SISTEMA DE CULTIVO ASOCIADO (SANTA FE)

La siembra simultánea de cultivos anuales con pasturas (figuras 21 y 22) es una estrategia económica para el establecimiento o para la renovación de estas últimas. La mayoría de los cultivos anuales son de crecimiento rápido, lo cual en sistemas de cultivo asociado con pasto, este por la cobertura, les permite proteger el suelo contra la erosión y reducir las labores de control de malezas.

El sistema de cultivo asociado llamado comúnmente “sistema Santa Fe”, es una tecnología (también difundida por la EMBRAPA en el Brasil), que está basada en la producción asociada de cultivos agrícolas y forrajeros, principalmente el maíz, asociado con el pasto *Brachiaria*.

Algunas ventajas de la siembra asociada de cultivos:

- No altera el cronograma de actividades del productor.
- No se requiere de equipos especiales para su implantación.
- El cultivo asociado es establecido anualmente y puede ser sembrado simultáneamente con el cultivo anual o cerca de 10 a 20 días luego de emergido éste.

Las principales ventajas de la *Brachiaria*, principalmente de la *brizantha* para el sistema de siembra directa son:

Por su rastrojo:

- Mayor eficiencia y tiempo de cobertura del suelo.
- Mayor capacidad de supresión física de malezas, pudiendo reducir o hasta prescindir el uso de herbicidas pos-emergentes.
- Control o minimización de la ocurrencia de enfermedades en cultivos agrícolas.

Por su desarrollo radicular:

- Mayor producción de biomasa y distribución radicular que permite mejorar la calidad del suelo.

Cuidados a tener en cuenta para el uso y manejo del pasto:

- Posteriormente a la cosecha de maíz, en caso de uso bajo pastoreo, será controlado permitiendo suficiente desarrollo del pasto y así asegurar una buena cobertura para la siembra del cultivo sucesor.
- Aplicar los desecantes por lo menos antes de 3 semanas de la siembra del cultivo sucesor.
- Utilizar siempre semillas libres de impurezas y nematodos.

- Utilizar la *B. ruziziensis* en caso de la siembra asociada de zafra. La *B. brizantha* en caso de la siembra asociada de entre zafra.

Figura 21. maíz entre zafra en asociación con *Brachiaria brizantha* (productor de Yguazú, 2008).



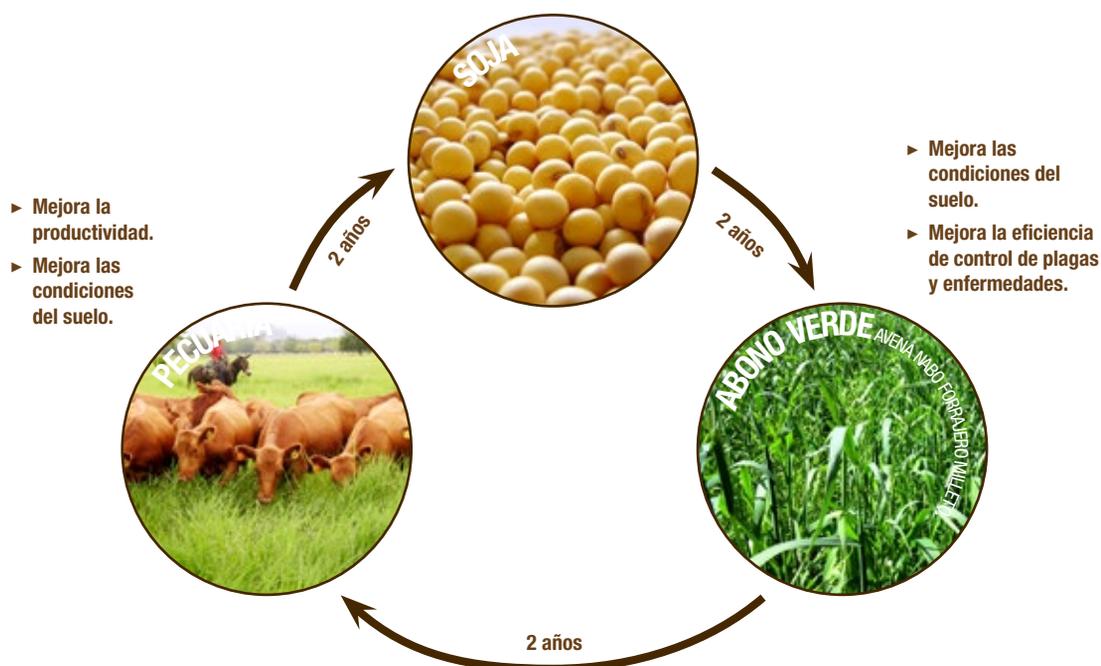
Figura 22. maíz entre zafra asociado con *Panicum* en plena cosecha para ensilado (CETAPAR, mayo de 2008).



4. SISTEMA INTEGRACIÓN AGRICULTURA PECUARIA

La integración agropecuaria es un sistema de producción sustentable, donde las plantas alimentan a los animales y los desechos de éstos retornan a la tierra nutriendo el suelo que alimenta a la planta. Es un sistema que permite producir granos, carne y leche dentro de una mutua sinergia. Cuando conducidos equilibradamente, estas actividades resultan beneficiosas al medio ambiente ofreciendo mayor estabilidad económica al productor (figura 23).

Figura 23. Esquema de un sistema de producción integrada de la agricultura y pecuaria. Fuente: CETAPAR-JICA



Resultados de experimentos realizados en CETAPAR (2006) informan de un mayor contenido de materia orgánica y mejores condiciones de las propiedades físicas en suelos manejados bajo el sistema integrado.

Los rendimientos de soja en el sistema integrado fueron mayores comparados al doble monocultivo soja/trigo. Así, fueron constatados una diferencia porcentual de 234%, 186% y 145%, en el primero, segundo y tercer año respectivamente. Esta diferencia de rendimiento disminuyó con el transcurrir de los años y estuvo relacionado con el deterioro de las propiedades físicas del suelo.

Por otra parte, los resultados pecuarios muestran una ganancia de peso de 1.323 kg/ha a 1.753 kg/ha dentro de un periodo de pastoreo de 387 días a 338 días en el primero y segundo año respectivamente. Estos resultados favorables a la integración agropecuaria nos indican de cómo la ganadería ayuda a mejorar la productividad de la soja, dándole mayor estabilidad al negocio agrícola; y cómo la agricultura permite mejorar los resultados pecuarios.

5. DIFERENTES TIPOS DE INTEGRACIÓN AGROPECUARIA

5.1. La rotación de cultivos agrícolas y pasturas. Es un sistema más intensivo de explotación en donde las áreas de cultivos agrícolas y pasto son alternados cada dos a tres años, mediante la siembra directa. De esta forma el suelo es conservado y su fertilidad preservada (figura 24).

5.2. La recuperación de pasturas con cultivos anuales. Es realizada principalmente en explotaciones dedicadas a la ganadería. La disminución de la fertilidad y la población de plantas forrajeras, como también el incremento de las malezas debido al manejo inadecuado hacen necesarias la renovación de las pasturas. Luego de corregida la fertilidad del suelo y controladas las malezas, mediante los cultivos anuales tanto de verano como de invierno, es restablecida la pastura.

Figura 24. Emergencia de soja en una parcela de pasto colonial desecado (CETAPAR, 2006)



Figura 25. Novillos pastoreando la mezcla forrajera invernal de avena + nabo (CETAPAR, 2008)



5.3. El cultivo de verano asociado a pastura anual de invierno. Es un sistema en donde predomina la agricultura durante el verano, donde la actividad principal es la soja. Durante el periodo otoño-invierno es cultivado algún abono verde como la avena que es pastoreada (figura 26 y 27) y luego en la parcela entra nuevamente un cultivo de verano como la soja. Una segunda modalidad sería la siembra asociada de maíz entre zafra con el pasto *Brachiaria*, en donde luego de cosechado el maíz el pasto es pastoreado y/o utilizado como cobertura para el cultivo siguiente de verano.

Figura 26. Manejo pos pastoreo de avena + nabo (CETAPAR, 2008).

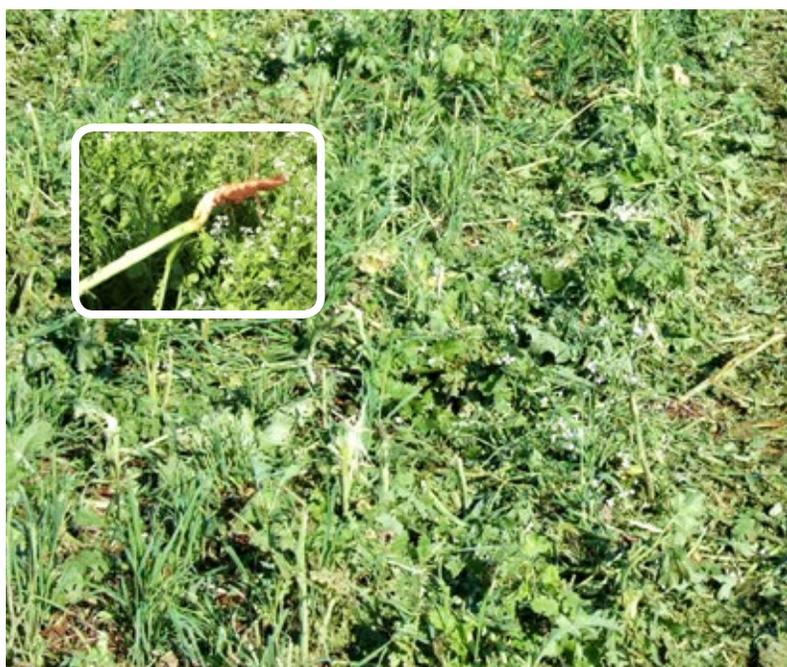
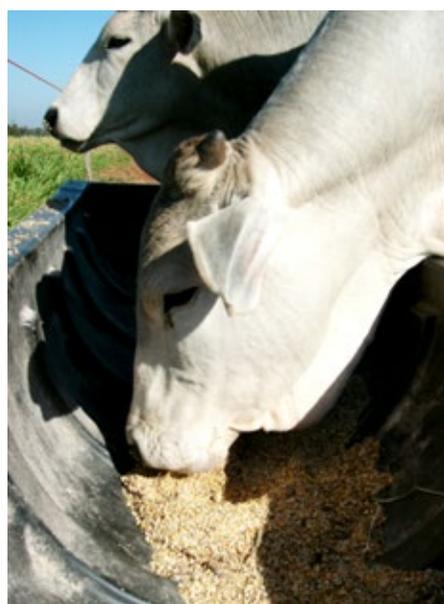


Figura 27. Aprovechamiento en finca de los residuos de cosecha en la alimentación de bovinos (CETAPAR, 2006).



5.4. Uso de productos y subproductos agrícolas. La utilización de productos y subproductos agrícolas en la alimentación animal, es un sistema en donde son aprovechados los desechos agrícolas para la alimentación animal, principalmente durante el periodo invernal. Es un sistema implementado en fincas en donde las actividades están tanto integradas como no integradas (figura 27).





PROYECTO UNICOOP – Solidaridad
"BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS"

CAPÍTULO QUINTO

Manejo de nutrientes químicos

1. PRINCIPALES NUTRIENTES QUÍMICOS Y SU IMPORTANCIA AGRÍCOLA

La fertilidad de un suelo es el concentrado por unidad de superficie de elementos químicos necesarios para mantener una planta.

Los elementos esenciales son 16, pero los aportados por el suelo son los llamados macroelementos, como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el azufre. En tanto, los llamados microelementos son el hierro, el manganeso, el boro, el molibdeno, el cobre, el zinc y el cloro. Todos estos elementos son esenciales para el normal desempeño de las plantas y cuando están presentes en cantidades insuficientes, pueden producirse graves alteraciones y reducirse notablemente el crecimiento de las mismas.

Los macronutrientes son elementos necesarios en cantidades relativamente abundantes para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas. En la mayoría de los cultivos, sus necesidades son superiores a las reservas existentes en forma asimilable de los elementos en el suelo, por lo que es necesario realizar aportes de los mismos mediante los fertilizantes.

El nitrógeno (N). Cerca del 99% del N combinado en el suelo se halla contenido en la materia orgánica. Sin embargo, la lentitud en la liberación del N orgánico y una mayor capacidad potencial de utilización de N por los cultivos suelen ocasionar situaciones de déficit de este elemento.

El fósforo (P). El P, luego del N, es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos y es el elemento que procede únicamente de la descomposición de la roca madre resultante del proceso de meteorización; por consiguiente no es un recurso renovable. Es un elemento con poca movilidad y su desplazamiento a camadas más profundas es poco probable. De esta manera bajo situación de siembra directa mal conducida, el ion fosfato difícilmente penetrará hasta camadas más profundas, acumulándose en la capa superficial del suelo.

La disponibilidad de este elemento depende del pH del suelo, la presencia de Fe, Al, y Mn solubles; la presencia de minerales que contienen Fe, Al, Mn, minerales de calcio y magnesio disponibles. También depende de la cantidad y descomposición de materia orgánica, además de la actividad de microorganismos.

El potasio (K). El K es tal vez el elemento mineral encontrado en mayor proporción en las plantas y es relativamente frecuente en las rocas. El K presente en los suelos procede de la desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos, como también de la descomposición de restos vegetales y animales. Los suelos arcillosos y limo arcillosos son más ricos en K que los suelos limo arenosos y arenosos. Así mismo, su contenido varía según la intensidad de las pérdidas debido a la extracción por los cultivos, lixiviación y erosión.

El calcio (Ca). La mayoría de los suelos contienen suficiente Ca para cubrir gran parte de las necesidades de la planta. La deficiencia del calcio es generalmente causada a una baja disponibilidad del calcio o debido a un estrés hídrico que tiene como resultado bajas tasas de transpiración.

El magnesio (Mg). Es un elemento esencial para una amplia gama de funciones en los vegetales, cumple una importante función en el proceso de fotosíntesis y es un componente básico de la clorofila.

El azufre (S). La mayor parte del S en los suelos se encuentra en la materia orgánica y no está presente para las plantas. Este elemento está disponible para ellas cuando es liberado de la materia orgánica y mineralizado.

Los micronutrientes. Los micronutrientes son aquellos elementos indispensables para que las plantas puedan completar su ciclo vital, aunque las cantidades necesarias de ellos sean muy pequeñas. Algunos microelementos requieren un manejo cuidadoso debido a que existe un estrecho margen entre los niveles óptimo y tóxico.

2. EL ENFOQUE DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión es definida como un conjunto de técnicas que permiten el gerenciamiento localizado de cultivos y tiene como objetivo principal adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad natural y/o inducida presente de la parcela de tierra y así mejorar la productividad.

En nuestro país, no existen datos precisos, pero su adopción es cada vez mayor entre productores de soja medianos a grandes, considerados de avanzada.

La agricultura de precisión es una tecnología de proceso y, como toda herramienta, es importante su utilización correcta con conocimiento de los factores a manejar. De esta manera, se deberá considerar la incorporación de máquinas y herramientas que pueden llegar a ser más costosas que otras y con mayor o menor aplicación que otras a campo, como también el costo de inversión sumado a la información base disponible en la región. Cabe destacar la gran importancia de la observación cotidiana de la parcela cultivada, a fin de identificar las áreas con necesidad de corrección antes de iniciar cualquier emprendimiento en agricultura de precisión.

Figura 28. Extracción de muestra de suelo a 20 cm de profundidad.



3. EL ANÁLISIS DE SUELO

El análisis de suelo es una herramienta que tiene como principal finalidad medir o cuantificar el estado de fertilidad de las tierras, indicando la disponibilidad de algunos de los principales nutrientes para los cultivos, como base para una recomendación racional y económica de correctivos y fertilizantes.

3.1. Extracción de muestras

Una muestra deberá representar al área de interés. En ese sentido las extracciones se planificarán considerando áreas o parcelas homogéneas, máximo hasta 20 hectáreas, considerando las características físicas del terreno como el color, la vegetación dominante, la textura aparente del suelo, la pendiente del terreno, el cultivo anterior, la fertilización anterior realizada, el encalado, los rendimientos de los cultivos, entre otros. También se deberá considerar las deficiencias observadas en los cultivos.

La extracción se realizará como mínimo 2 a 3 meses antes del cultivo o en tiempo suficiente para planificar la compra de fertilizantes (figura 28). Parcelas donde se utilizaron arado de disco, rastra pesada, subsoladores o pie de pato, entre otros que remueven el suelo y retirar la muestra de 0 a 20 cm de profundidad. Parcelas con siembra directa se podrán retirar de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad. La primera para la recomendación de fertilización y encalado superficial y la segunda para evaluar la dinámica de los nutrientes a través del tiempo.

Se evitarán muestrear surcos de erosión, líneas de siembra, hormigueros, camellones o bases de las curvas de nivel.

Se extraerán como mínimo 12 submuestras del área a representar, las cuales se mezclarán lo más homogéneamente posible para obtener una muestra compuesta "padrón" de la cual se extraerán de 500 a 600 g que cargarán en una bolsita de plástico para ser enviada al laboratorio para su análisis.

Evitar el uso de envases ya utilizados o que contenían harina, leche, arroz, fertilizantes, cal agrícola, plaguicidas, entre otros.

Registrar en una etiqueta, escrita a lápiz de papel, el nombre y apellido del agricultor, localidad, distrito, departamento, fecha, número de la muestra, cultivo anterior, cultivo a sembrar y su posición geo referenciada.

Solicitar al laboratorio el análisis químico de rutina (contenido de P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes) y el análisis de textura.

3.2. Lectura de los análisis

Los suelos presentan una gran variabilidad en sus características químicas, físicas, biológicas y mineralógicas. Las especies en ellas cultivadas difieren en sus capacidades de absorción y utilización de los nutrientes. Por lo tanto además de los resultados obtenidos deberán ser considerados en las tecnologías de fertilización a ser aplicadas, el tipo de suelo, antecedentes del uso como cultivo anterior, el encalado, las dosis de fertilización aplicadas, los rendimientos obtenidos. La recomendación de fertilización debe ser orientada por los datos de los análisis, interpretados en, por lo menos, tres niveles: alto, medio y bajo. Un ejemplo se presenta en el cuadro 11.

Cuadro 11. Niveles de algunos componentes del suelo para efecto de la interpretación de resultados de análisis químico de suelo para el cultivo de soja¹

| Niveles | cmolc dm ³ de suelo | | | g.kg ⁻¹ | | Saturación en el CIC (%) | | | Relaciones ² | | |
|---------|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------|--------------------------|------------------|----------------|-------------------------|------|-----|
| | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | C | M.O. | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Ca/Mg | Ca/K | M/g |
| Bajo | <0,02 | <2 | <0,4 | 8 | <15 | <35 | <13 | <3 | <1,5 | <8 | <3 |
| Medio | 0,02-1,5 | 2-4 | 0,4-0,8 | 8-14 | 15-25 | 35-50 | 13-20 | 3-5 | 1,5-3,5 | 8-16 | 3-6 |
| Alto | >1,5 | >4 | >0,8 | >14 | >25 | >50 | >20 | >5 | >3,5 | >16 | >6 |

(¹) Para fósforo y Potasio extraído por Mehlich I

(²) Sfredo et al, 1999

Resultados de interpretación con base a investigaciones de calibración, en recientes experimentos de calibración en el sistema de siembra directa realizada en Paraguay, permiten identificar niveles críticos de P en dos tipos de suelos, arenosos y arcillosos (cuadro 12).

Cuadro 12. Interpretación del tenor de P en el suelo extraído por el método de Mehlich I conforme el tenor de arcilla para soja, maíz, trigo y girasol.

| Interpretación | Clase del suelo según tenor de arcilla ¹ | |
|----------------|---|--------------------------|
| | 1 mg.dm-3 | 2 mg.dm-3 |
| Muy baja | <4,0 | <5,0 |
| Baja | 4,1 – 8,0 | 5,1 – 10 |
| Media | 8,1 – 12 ² | 10,1 – 15,0 ² |
| Alta | 12,1 – 24,0 | 15,1 – 30 |
| Muy alta | >24 | >30,1 |

(¹) Clase 1 de 410 – 600 g.kg-1 Clase 2 de 210 – 400 g.kg-1

(²) Nivel crítico.

Fuente: Cubilla, et al. (2007)

Para el caso del K, también fueron identificados en los experimentos de calibración los niveles críticos según contenido en el suelo (cuadro 13).

Cuadro 13. Interpretación del tenor de K en el suelo extraído por el método de Mehlich I, conforme el contenido de K en el suelo.

| Interpretación | Potasio mg.kg ⁻¹ |
|----------------|-----------------------------|
| Muy baja | >25 |
| Baja | 26 – 50 |
| Media | 51 – 75 ¹ |
| Alta | 76 – 150 |
| Muy alta | >150 |

(¹) Nivel crítico.

Fuente: Wendling, et al. (2007)

4. CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ

4.1. El encalado

La corrección de la acidez a un nivel deseado de pH entre 5,5 y 7 permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes existentes en el suelo. Los efectos benéficos se deben a la eliminación del ion Al^{3+} que limita el desarrollo radicular, la dinamización de la actividad microbiana que aumenta la mineralización del P quedando disponibles para las plantas, el aumento de la fijación de N por las bacterias nitrificadoras y el aumento de los OH^- que favorece la desorción del P fijado en las superficies de los minerales del suelo.

La evaluación de la necesidad o no de aplicar la cal agrícola se realiza con base a la interpretación del análisis de suelo. La cantidad de cal a ser aplicada en un área se determina por el método de saturación de bases que se fundamenta por la correlación positiva entre los valores de pH y el porcentaje de saturación de bases. La metodología establece que cada cultivo requiere de un valor de saturación de bases óptimo. Un ejemplo es el cultivo de la soja, en la que se aplicará la cantidad necesaria para elevar la saturación de bases a 70%. Se recomienda un valor menor o igual a 60% de saturación por bases para la decisión de aplicación de cal agrícola. La cantidad será calculada para su incorporación a 20 cm de profundidad como mínimo.

$$\text{Cantidad de cal} = \frac{(V^2 - V^1) \times CIC \times f}{100}$$

Dónde:

V^1 = Valor de la Saturación de Bases intercambiables del suelos en porcentaje.

$V^1 = 100 S/CIC$

$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ($cmol_c/dm^3$)

V^2 = Valor de saturación de bases intercambiables deseables

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; $CIC = S + (H + Al^{3+})$ ($cmol_c/dm^3$)

f = Factor de corrección del PRNT de la cal agrícola $f = \frac{100}{PRNT}$



4.2. Encalado en siembra directa

Para encalar un suelo para iniciar el sistema de siembra directa, se aplicará el total de cal agrícola calculado e incorporarlo a 20 cm de profundidad.

Para áreas con siembra directa establecidas, se hará el muestreo a 20 cm de profundidad y se aplicará al voleo sobre la superficie, el 1/3 de la cantidad calculada por lo menos 6 meses antes de la siembra.

Para suelos con siembra directa ya encalado superficialmente, el muestreo se hará de 0 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad respectivamente. La cantidad de cal a aplicar, será igual a 1/3 parte de la media calculada de las dos profundidades (figura 29).

4.3. Calidad de la cal

El material calcáreo a aplicar no deberá contener partículas mayores de 2mm de diámetro y la composición en óxido de calcio + óxido de magnesio superior al 38%. En suelos con relación de Ca/Mg superior a 3/1, o que presenten menos de 0,8 cmol/dm⁻³, seleccionar cal dolomíticas (>12% de MgO) o magnesianas (5,1 a 12% de MgO).

Figura 29. Aplicación de cal agrícola sobre cobertura de maíz.





CAPÍTULO SEXTO

Fertilización

1. FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS

Según estudios básicos de calibración y cuantificación de dosis de fertilizantes, el criterio de fertilización es un sistema compuesto de una aplicación correctiva total o gradual para suelos que presenten nutrientes con categorías por debajo del nivel crítico y de mantención/reposición por encima de los niveles críticos.

Los valores de nutrientes de los análisis de suelo y su interpretación en las diferentes categorías Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja establece la indicación de fertilizantes a ser recomendados.

El sistema propone elevar el contenido de nutrientes al nivel crítico.

2. FERTILIZACIÓN CORRECTIVA TOTAL

La fertilización correctiva total es recomendada cuando los suelos presentan deficiencias de P y K (categorías de fertilidad Muy Bajas a Bajas) y se cuentan con recursos financieros, pues tanto el K como el P son aplicados de una sola vez (cuadro 14).

Cuadro 14. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva total en kg ha⁻¹ de P₂O₅ de acuerdo con el tenor de arcilla.

| Contenido de arcilla (gKg ⁻¹) | Categoría de P (mgdm ⁻³) – Mehlich-1 | | |
|---|--|------|-------|
| | Muy bajo | Bajo | Medio |
| Clase 1 410 – 600 | 200 | 100 | 25 |
| Clase 2 210 – 400 | 150 | 75 | 15 |

Fuente: Cubilla (2005).

3. FERTILIZACIÓN DE CORRECCIÓN GRADUAL

Ante las limitaciones de recursos financieros se presenta la opción de la fertilización de corrección gradual donde las dosis son aplicadas en forma proporcional 1/3 por cultivo, para suelos con contenidos de P y K en las categorías de interpretación Muy Baja a Baja (cuadro 15, 16 y 17).

Cuadro 15. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual para la Clase 1 de suelo en kg ha⁻¹ de P₂O₅ bajo el sistema de siembra directa para Paraguay.

| Categoría | Recomendación para tres cultivos en sucesión | | | |
|-----------|--|-------------|-------------|----------|
| | 1er Cultivo | 2do Cultivo | 3er Cultivo | Total |
| | Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ | | | |
| Muy Baja | 80 + M | 70 + M | 50 + M | 200 + 3M |
| Baja | 35 + M | 35 + M | 30 + M | 100 + 3M |
| Media | 25 + M | M | M | 25 + 3M |
| Alta | M | M | M | 3M |
| Muy Alta | R | R | R | 3R |

M: Manutención (tasa de exportación + pérdidas)

R: Reposición (exportación de cultivos)

trigo: 10 kg de P₂O₅

Soja: 12 kg de P₂O₅

maíz: 8 kg de P₂O₅

Girasol: 15 kg de P₂O₅ por tonelada de granos producidos

Fuente: Cubilla et al. (2007).

Cuadro 16. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual para suelos de Clase 2 en kg ha⁻¹ de P₂O₅ bajo el sistema de siembra directa para Paraguay.

| Categoría | Recomendación para tres cultivos en sucesión | | | |
|-----------|--|-------------|-------------|--------|
| | 1er Cultivo | 2do Cultivo | 3er cultivo | TOTAL |
| | kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ | | | |
| Muy Baja | 60+ M | 50+M | 40+M | 150+3M |
| Baja | 25+M | 25+M | 25+M | 75+3M |
| Media | 15+M | M | M | 15+3M |
| Alta | M | M | M | 3M |
| Muy Alta | R | R | R | 3R |

M: manutención (tasa de exportación + pérdidas)

R: reposición (exportación de cultivos)

trigo: 10 kg de P₂O₅,

Soja: 12 kg de P₂O₅,

maíz: 8 kg de P₂O₅ y

Girasol: 15 kg de P₂O₅ por toneladas de granos producidos

Cuadro 17. Recomendación de fertilización potásica correctiva gradual y total en kg ha⁻¹ de K₂O en el Sistema de siembra directa en el Paraguay.

| CATEGORIA | Recomendación para tres cultivos | | | |
|-----------|---|-------------|-------------|---------|
| | 1er Cultivo | 2do Cultivo | 3er Cultivo | TOTAL |
| | (kg ha ⁻¹ de K ₂ O) | | | |
| Muy Baja | 150 | 100 | 60 | 310 |
| Baja | 90 | 60 | 40 | 190 |
| Media | 60 | M | M | 60 + 2M |
| Alta | M | M | M | 3M |
| Muy Alta | R | R | R | 3R |

M: manutención (tasa de exportación + pérdidas)

R: reposición (exportación de cultivos)

trigo y maíz: 6 kg de K₂O por tonelada de granos

Soja: 20 kg de K₂O y

Girasol: 12 kg de K₂O por toneladas de granos exportados

Fuente: Wendling et al. (2007)

4. FERTILIZACIÓN DE MANUTENCIÓN

Por encima del nivel crítico, o sea la categoría Alta, se recomienda realizar la fertilización de manutención y reposición, donde debe ser adicionado el total exportado por el cultivo, más las posibles y probables pérdidas (25%) por lixiviación, fijación, erosión, volatilización, etc. que puedan ocurrir. Los valores de reposición se obtienen calculando las dosis de manutención multiplicado por 1,25 (cuadro 18).

Cuadro 18. Valores de fertilización de manutención (M) de P y K de los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol para los rendimientos especificados y cantidades a ser adicionados por tonelada de granos producidos.

| Cultivo | Rendimiento Referencia (t ha ⁻¹) de granos | Manutención (M) para Rendimientos Referencia | | Cantidad (M) a Adicionar por Tonelada | |
|---------|--|--|---|--|---|
| | | kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ | kg ha ⁻¹ de K ₂ O | kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ | kg ha ⁻¹ de K ₂ O |
| Soja | 3 | 45 | 75 | 15 | 25 |
| trigo | 3 | 37,5 | 22,5 | 12,5 | 7,5 |
| maíz | 5 | 50 | 37,5 | 10 | 7,5 |
| Girasol | 2 | 30 | 30 | 15 | 15 |

5. FERTILIZACIÓN ÓRGANO MINERAL

La mayoría de los nutrientes contenidos en la materia orgánica forma parte de los compuestos orgánicos que no son directamente asimilados por las plantas. Para que los nutrientes sean absorbidos por las raíces es necesario que ocurra su mineralización, realizada por los microorganismos.

La materia prima empleada directamente como fertilizante orgánico se puede clasificar por su naturaleza (vegetal, animal y mixta) y por su consistencia (sólida, líquida y semi líquida).

Los de naturaleza vegetal se encuentran en los residuos del cultivo anterior, los abonos verdes y las turfas.

Los de naturaleza animal se encuentran en los estiércoles de ganado vacuno, porcino, los residuos de frigoríficos, la harina de carne y sangre, compost de los contenidos intestinales, entre otros.

Las de naturaleza mixta son las mezclas de residuos vegetales puestos a servir como cama de animales equinos, bovinos, aves, etc. recibiendo de estos sus deyecciones sólidas y líquidas. Las de consistencia sólida son más fáciles de almacenar y aplicar a los terrenos. Las de consistencia líquida requiere el uso de un sistema de almacenamiento y distribución.

Para la utilización de materiales orgánicos de origen vegetal, animal o mezcla de ambos se tendrá en cuenta su estado de descomposición biológica, con miras a mejorar las propiedades del suelo para el aumento de la productividad. El uso del estiércol líquido como alternativa de aprovechamiento requiere de algunas consideraciones:

- Capacidad de soporte de los suelos. Tipo de suelo, su localización en el paisaje y el nivel de la napa freática. Suelos profundos, derivados del basalto con relevo, suaves, ondulados, tienen potencial de recibir hasta 160 m³ de estiércol líquido porcino por año, distribuido 100 m³ en el verano y 60 m³ en el invierno. En tanto, para los suelos con napa freáticas a menos de 1 m de profundidad no deben recibir estiércol líquido de animales.
- El estiércol líquido porcino deberá ser aplicado en parcelas con cobertura (siembra directa y pasturas) porque en parcelas de siembra convencional causa la dispersión de la arcilla, disminuye la infiltración de agua y aumenta los procesos erosivos (Oliveira, E., 2015).
- Calidad del estiércol. Cuánto mayor es la concentración de la materia seca tiene generalmente mayor concentración de los nutrientes N, P y K, presentando mayor respuesta de las plantas (cuadro 19). Así, es importante proteger el estanque de almacenamiento evitando la entrada de aguas de lluvia y preservar la calidad del estiércol.

Cuadro 20. Concentración media de N, P₂O₅ y K₂O y tenor de materia seca de algunos materiales orgánicos de origen animal y sus índices de liberación (nutrientes).

| Material orgánico | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Materia Seca |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|--------------|
| | % | | | |
| Cama de aves de 1 lote | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 70,0 |
| Cama de aves de 3 lotes | 3,2 | 3,5 | 2,5 | 70,0 |
| Cama de aves de 6 lotes | 2,1 | 2,8 | 2,9 | 25,0 |
| Estiércol sólido de suínos | 2,1 | 2,8 | 2,9 | 25,0 |
| Estiércol fresco de bovinos | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 15,0 |
| | kg/m ³ | | | |
| Estiércol líquido de suíno | 4,5 | 4,0 | 1,6 | 6,0 |
| Estiércol líquido de bovinos | 1,4 | 0,8 | 1,4 | 4,6 |
| | kg/t | | | |
| Estiércol pastoso de bovino | 3,2 | 2,6 | 3,4 | 14,9 |
| Índice de frecuencia del cultivo | Índice de conversión | | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | - |
| Primero | 0,5 | 0,6 | 1 | - |
| Segundo | 0,2 | 0,2 | - | - |

- Respuestas de las plantas y efecto residual. El nitrógeno es el nutriente encontrado en mayor cantidad en los estiércoles sólidos y líquidos. Cultivos exigentes como las gramíneas y leguminosas con deficiencias de fijación biológica presentan mayores respuestas a la fertilización orgánica. En suelos de origen basáltico (LATOSSOLO) estiércol porcino líquido en dosis de 20 m³/ha + 40 kg de N (Urea) dan respuestas satisfactorias para el cultivo de maíz.

La aplicación del estiércol de gallina presenta incrementos en la producción en el primer año (efecto inmediato), pero la mayor respuesta se obtiene por el efecto residual en el segundo año. Dosis de 2 a 4 t/ha de estiércol de gallina presentan respuestas significativas. El estiércol de gallina es fuente de fósforo que necesita de la actividad biológica para su mineralización.

- e) Sistema de aplicación. Se recomienda la aplicación del estiércol de aves en surco incorporado para un mayor efecto residual. Sin embargo el estiércol porcino líquido podrá aplicarse sobre la superficie de suelo sin incorporación, mitad en siembra y la otra en cobertura.
- f) Cantidad a aplicar. La cantidad de estiércol a aplicar depende de factores tales como: la disponibilidad en el suelo, la exigencia del cultivo y la disponibilidad y calidad del material orgánico. La calidad del material orgánico se refiere a la concentración de nutrientes, el tenor de agua y la tasa de conversión biológica afectada por la relación C:N del material. Las concentraciones de nutrientes se conocerían mediante análisis laboratoriales o utilizando valores medios estándares.

Una opción simple a fin de orientar la aplicación del estiércol de gallina se puede realizar aplicando la siguiente fórmula:

Para estiércol de aves $X = A \times B/100 \times C/100 \times D$

Para estiércol de suínos $X = A \times B \times C$

Donde:

X= Cantidad de nutrientes

A= Cantidad de estiércol orgánico a aplicar

B= % de materia seca

C= Concentración de nutrientes de la materia seca

D= Índice de conversión.

Un ejemplo: un agricultor dispone de 12 t de cama de aves (3 lotes) y desea distribuir en 5 hectáreas para la siembra de maíz de alta productividad. El agricultor desea distribuir el estiércol equitativamente en toda la superficie de la propiedad y complementar con la aplicación de fertilizantes químicos para alcanzar la fórmula 90-60-60 en el primer año. Tiene acceso en el mercado a la compra de las siguientes formulas 45-00-00, 18-46-00 y 00-00-60.

$X = A \times B/100 \times C/100 \times D$

A= 12 t/5 ha

B= 70%

C= 3,2%

D N= 0,5

DP₂O₅ = 0,6

DK₂O = 1

Aplicando la fórmula:

XN= 12.000 t/5 ha x 70%/100 x 3,2%/100 x 0,5 = 26,88

XP₂O₅ = 12.000 t/5 ha x 70%/100 x 3,5%/100 x 0,6 = 35,28

XK₂O = 12.000 t/5ha x 70%/100 x 2,5%/100 x 1,0 = 42,00

Cuadro 20. Ejercicio práctico: Aplicación de fertilizantes de origen animal y químicos.

| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--------------------------------|-------|-------------------------------|------------------|
| Requerimiento | 90,00 | 60,00 | 60,00 |
| Aporte estiércol (cama) de ave | 26,88 | 35,28 | 42,00 |
| Fertilizante químico | 63,12 | 24,72 | 18,00 |

Aplicando la fórmula:

$$\text{Cantidad de fertilizante} = \frac{\text{Requerimiento del Nutriente}}{\text{Concentración de nutriente disponible}} \times 100 =$$

$$\text{Cantidad de Fert. P} = \frac{24,72}{46} \times 100 = 53,74 \text{ kg de } 18 \ 46 \ 00 \text{ (Fosfato Di Amónico)}$$

Cálculo auxiliar:

$$\text{Cantidad N aportado c/el } 18 \ 46 \ 0 = \frac{18,0 \times 53,74}{100} = 9,67 \text{ de N}$$

$$\text{Cantidad de Fert. de N} = \frac{63,12 - 9,67}{45} \times 100 = 118,78 \text{ kg de } 45 \ 00 \ 00 \text{ (Urea)}$$

$$\text{Cantidad de Fert. de K} = \frac{18}{60} \times 100 = 30,0 \text{ kg de } 00 \ 00 \ 60 \text{ (Cloruro de Potasio)}$$

Finalmente se aplicará:

- a) 86,5 kg/ha de Urea (45 00 00)
- b) 53,7 kg/ha de Fosfato Di Amónico (18 46 00)
- c) 30,0 kg/ha de Cloruro de Potasio (00 00 60)



Bibliografía:

- **AMÉZQUITA, E. Y CHÁVEZ, L. F. (1999)** La compactación del suelo y sus efectos en la productividad de los suelos. Congreso Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- **CUBILLA, M. M. (2012)** Recomendaciones de fertilización para soja trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra en el Paraguay. CAPECO. Asunción, Paraguay.
- **COSTA, M. M. Y DE OLIVEIRA, E. F. (2001)** Fertilidades do Solo e Nutrição de Plantas. Culturas soja, milho, trigo, algodão, feijão, 2da Edición. COAMO-CODETEC Campo Murão. Cascavel, Paraná, Brasil.
- **CURSO INTENSIVO SOBRE PLANTÍO DIRECTO EN PEQUEÑA PROPIEDADES. (1999)** Chapeco, Santa Catarina, Brasil.
- **DERPSCH, R; FLORENTÍN M. A. Y MORIYA K. (2006)** Importancia de la Siembra Directa para Alcanzar la Sustentabilidad Agrícola. Proyecto Conservación de Suelos MAG/GTZ. Asunción, Paraguay.
- **DERPSCH, R., (1997)** Sustentabilidad Importancia de la Siembra Directa para obtener la Sustentabilidad de la Producción Agrícola. En: V Congreso Nacional de Siembra Directa, AAPRESID, 20 – 30 agosto 1997. Mar del Plata, Argentina.
- **FLORENTÍN, M. A.; PEÑALVA, M; CALEGARI, A. Y DERPSCH, R. (s/a)** Abonos verdes y Rotación de Cultivos en Siembra Directa: Pequeñas Propiedades. MAG-GTZ, DIA-DEAG. San Lorenzo, Paraguay.
- **HORITA, I. (2001)** Experiencias sobre integración agropecuaria obtenidas en CETAPAR. En: Jornada sobre integración de la pecuaria con la agricultura – Naranjal. Itapúa, Paraguay.
- **HORITA, I. (2006)** Sistema agro pastoril, una conjugación saludable de rubros de producción agrícola. Boletín informativo de CETAPAR. Nº 55. Itapúa, Paraguay.
- **HOSHIBA, K. (2007)** Fertilidad química y física de suelos dentro del sistema agro pastoril. En: Jornada técnica sobre integración de la pecuaria con la agricultura – Cooperativa La Paz. Paraguay.
- **KLIEWER, I.; CASACCIA, J Y VALLEJOS, F. (1999)** Supresión de malezas en el cultivo de soja en siembra directa a través de abonos verdes de invierno. En: Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto (Resumos de Palestras do II Seminário Nacional Sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto, 1999, Passo Fundo). Editora Aldeia Norte. Passo Fundo, Brasil.
- **LOMBARDI NETO, F. (1994)** Terraceamento Agrícola, Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Boletín Técnico N 206. Brasil.
- **LÓPEZ GOROSTIAGA, O. E.; GONZÁLEZ E.; E. LLAMAS G., P. A. Y MOLINAS M., A. S. (1998)** Reconocimiento de suelos y capacidad de uso de las tierras. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Asunción, Paraguay.
- **OLIVEIRA, E. (2015)** Uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura. En: jornada de capacitación técnica de agricultores de las cooperativas Pindó y Raúl Peña. Proyecto UniSol, UNICOOP. Santa Rita, Paraguay.
- **PARANA, SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. (1994)** Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo. 2da ed. Curitiba, Brasil.
- **PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DE SOLO. (s/a)** Circular Técnica 133 Campina Grande Embrapa. Brasil.
- **POTAFOS, INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. (1998)** Manual Internacional de Fertilidade do solo / Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes, 2da edición. Piracicaba, Brasil.
- **PRIMAVESI, A. (1990)** Manejo Ecológico do Solo: A agricultura em regiões tropicais. Editorial Nobel. São Paulo, Brasil.
- **SCHEFFER, F; SCHACHTSCHABEL, P; BLUME, H.-P; BRÜMMER, G; HARTGE. K-H. Y SCHWERTMANN, U. (1992)** Lehrbuch der Bodenkunde. Auflage, Stuttgart. Ferdindan Enke Verlag, Alemania.
- **SISTEMAS DE PRODUÇÃO 8.** Tecnologias de Produção de Soja – Parana (2006). Embrapa Soja. Brasil.
- **SOIL CONSERVATION SERVICE. (1994)** From The Surface Down: An Introduction to Soil Surveys For Agronomic Use. USA.
- **VALLEJOS F; KLIEWER I.; FLORENTÍN M. A.; CASSACCIA J.; CALEGARI A. Y DERPSCH R. (2001)** Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Proyecto Conservación de Suelos MAG/GTZ. Asunción, Paraguay.





UniSol
Agricultura Sustentable

