



Manual de **Buenas
Prácticas Agrícolas**
e indicadores de gestión



**Agricultura
Certificada**

INDICE

| | |
|--|----------|
| Introducción | 05 |
| Buenas Prácticas Agrícolas | |
| Siembra Directa | 09 |
| Rotación de Cultivos | 11 |
| Manejo Integrado de Malezas, Enfermedades, insectos y otras plagas | 13 |
| Manejo eficiente y responsable de agroquímicos | 16 |
| Nutrición estratégica | 17 |
| Gestión de la Información Ganadera | 19 |
| Bibliografía | 20 |
| Anexo A: "AgroLimpio" | 22 |
| | |
| Indicadores de gestión | 22 |
| a. Indicadores químicos de gestión agronómica | 27 |
| Salinidad y sodicidad | 28 |
| pH | 28 |
| Gestión agronómica del fósforo | 30 |
| Gestión agronómica del azufre | 31 |
| Bibliografía | 33 |
| Anexo 1: Procedimiento para el muestreo de suelos | 34 |
| Anexo 2: Planilla de cálculo de requerimientos y extracción de nutrientes, IPNI | 35 38 |
| | |
| b. Propiedades físicas como indicadores de suelos | 39 |
| Textura | 40 |
| Densidad de suelo: real y aparente | 41 |
| Porosidad Total | 43 |
| Porosidad de aireación | 44 |
| Infiltración | 45 |
| Cobertura de la superficie del suelo | 46 |
| Bibliografía | 48 |
| Anexo 1: Procedimientos para las determinaciones físicas | 49 |
| | |
| c. La dinámica de acumulación de carbono como un indicador de gestión | 51 |
| Bibliografía | 56 |

“ Con la Agricultura Certificada podemos hacer más alimentos para los argentinos y el mundo, cuidando y hasta mejorando el capital suelo. ”



Manual de buenas prácticas agrícolas e indicadores de gestión

Agricultura Certificada, la evolución de la SD.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la globalización actual -denominada BIG globalization (Di Castri, 2001)- con su enfoque multilocal (Ordoñez, 2002) ha producido importantes cambios de paradigma en el ámbito institucional, organizacional, tecnológico y comercial, impactando fuertemente en el negocio de los alimentos en general.

El ambiente cobra una importancia mayúscula en los procesos de desarrollo y de comercio internacional, más allá de los mitos, dogmas y eslóganes que circulan entre ciertos ambientalistas (Di Castri, 2001). Más que por los recursos, el ambiente es valorizado ahora por los servicios esenciales que proporciona a la humanidad; como el reciclaje de nutrientes, la regulación del sistema climático y del ciclo hidrológico, la conservación del suelo y de las aguas, etc. (Di Castri, 2001).

Es por esto que la clave está en la adaptación activa. Esta no es otra cosa que la innovación o, mejor aún, la construcción de ventajas competitivas en sentido amplio.

La calidad, juega un rol importantísimo en el proceso de adaptación. No es más que conocimiento aplicado a productos, procesos y/o servicios focalizados en las preferencias y en el deleite de los clientes. Existe un concepto más amplio de calidad y que "es el deseo del cliente hecho realidad en los procesos, los productos y los servicios" (Ordoñez, 2002). La estandarización de la calidad ha sido un avance fundamental en el último siglo. En este contexto, la producción industrial y de servicios pueden considerarse como los sectores económicos pioneros en la aplicación de normas y protocolos, debido fundamentalmente a las exigencias de un mercado internacional que, primero, trató de unificar criterios de calidad y luego los relacionó con el desarrollo sustentable (Viglizzo, 2004). Así surgieron cuerpos de estándares, normas y protocolos de gestión cuyo enfoque se centró en aspectos de seguridad y salud laboral, y a la gestión ética de negocios como parte de la responsabilidad social que tiene cada empresa. Se pueden citar la serie de normas ISO 9000 de Gestión de Calidad; las normas de Gestión Ambiental ISO 14000; las de Salud y Seguridad laboral: la BS8800 y el OHSAS 18001; y de Responsabilidad Social, conocida como SA8000. A este grupo se suman requisitos particulares para cada sector, como por ejemplo la TL9000 para comunicaciones, los estándares API para la industria petrolera y los sistemas GMP, SSOP y HACCP, para el sector alimenticio, entre otros (Viglizzo, 2004).

El sector primario agropecuario, parecía ajeno a todo este tipo de exigencias, pero la tendencia se revirtió. Viglizzo (2004) cita entre otras causas de este fenómeno: la globalización de los mercados internacionales, los problemas de inocuidad en los alimentos, las altas cargas en el uso de agroquímicos y fertilizantes (sobre todo en los países europeos), la deforestación, los graves problemas de erosión y las demandas de los consumidores para que los alimentos cumplan con normas de calidad y seguridad.

En el sector agropecuario, la diferenciación de productos es una variante cada





vez más utilizada por los mercados para materializar el compromiso de cumplir con las exigencias planteadas por los consumidores actuales. Es un mecanismo de captura y generación de un nuevo valor agregado para bienes e insumos agropecuarios (Malvicino, 1998).

Por todo lo dicho, la calidad es el primer desafío que debe abordar el sector agropecuario, ya que no solo basta con decir que se produce bajo sistemas que la aseguren, sino que hay que respaldarlos mediante la certificación (Viglizzo, 2004).

En este contexto, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA's) surgen básicamente, para asegurar que los alimentos sean sanos y aptos (inocuos) para el consumo humano (Gómez Riera et al., 2001); favoreciendo también, la protección del medio ambiente y la salud de los trabajadores. Están orientadas fundamentalmente a la producción primaria de productos que se consumen en estado fresco o con un mínimo de procesamiento, tal es el caso de hortalizas y frutas (Viglizzo, 2004). Sin embargo, ninguna de estas BPA están pensadas para ser implementadas de manera específica en la producción primaria de commodities agropecuarios.

Según un documento de la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, "Las Buenas Prácticas Agrícolas" de Enero de 2004 (FAO, 2004a) consisten en la aplicación del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios inocuos y saludables, a la vez que se procura la viabilidad económica y la estabilidad social".

Podemos resumir esta definición sosteniendo simplemente que las BPA's consisten en "hacer las cosas bien y dar garantías por ello". Para ello, se basan en un proceso de mejora continua a través de la activa incorporación de conocimientos y tecnología en el sector, debiendo ser éste un objetivo estratégico de las empresas agropecuarias que deseen certificar.

Dicho proceso debiera integrarse en toda la cadena, con foco en el consumidor y su demanda creciente de calidad y seguridad, así como la sociedad en su conjunto, cada vez más exigente en materia ambiental y sanitaria, como se mencionara con anterioridad.

Esta búsqueda y/o exigencia de calidad, voluntaria u obligatoria, puede plasmarse como barreras para-arancelarias al comercio, en especial en la medida que se avanza en la especialización, diferenciación y agregado de valor, y, como una oportunidad para ganar mercados satisfaciendo las exigencias crecientes del consumidor. Se reconoce que las BPA constituyen el "primer eslabón" en el sendero de la calidad y que los productores argentinos ya han recorrido desde hace mucho tiempo, a través de la implementación de prácticas conservacionistas de los recursos naturales como la siembra directa, las rotaciones, el manejo integrado de plagas, el correcto manejo de los fertilizantes y fitosanitarios, entre otras.

También es necesario resaltar que las BPA's son generadoras de mejores condiciones laborales y mayor calificación al trabajador rural.

En resumen, implementar las BPA's requiere en simultáneo ciertas condiciones como:

- La inversión en capacitación de trabajadores, productores y profesionales.
- La inversión en tecnologías apropiadas (semillas, maquinaria, fertilizantes, etc.) y en infraestructura.

- El reconocimiento por el consumidor / mercado, es decir, que la implementación resulte rentable para el productor.
- La viabilidad global de la empresa agropecuaria a largo plazo, un concepto en donde la sustentabilidad sea necesariamente la interacción responsable de las variables económica, ambiental y social.

En términos productivos, son relevantes las incidencias que tienen algunas técnicas de BPA sobre la productividad. La aplicación de BPA debería mejorar la productividad en un período de mediano a largo plazo, ya que sus implicancias (registros, capacitación, personal más calificado, etc.) permiten al productor contar con un mayor grado de conocimiento de su sistema productivo y por lo tanto se produce una mejora en el proceso de gestión.

En este marco coyuntural, Aapresid ideó este Sistema de Gestión de Calidad -“Agricultura Certificada”. En el mismo se certifica el proceso productivo de cada establecimiento, de acuerdo al Protocolo vigente y al cumplimiento de las Buenas Prácticas Agrícolas descritas en el Manual, corroboradas mediante los registros e indicadores.

Este documento (Manual de BPA), de carácter público, define los indicadores y guías para cada criterio o práctica. Está diseñado para proveer un marco dentro del cual se puedan preparar lineamientos para cada sistema agropecuario individual o integrado. Los indicadores son piezas específicas de evidencia objetiva que deben ser realizadas en forma correcta para demostrar o verificar que el criterio se encontró. La guía consiste en una recopilación de Buenas Prácticas Agrícolas o Prácticas de Manejo que proveen información útil para ayudar al productor y al auditor a entender qué significa el criterio realmente en la práctica. En los Anexos se encontrará información complementaria sobre los indicadores.

Este Manual podrá ser actualizado en el período que Aapresid considere pertinente a los efectos de incluir mejoras y nuevos criterios o indicadores, conforme los avances científicos lo indiquen y la experiencia de productores, cuyos establecimientos estén certificados, brinden información para una mejora continua de este texto.





Buenas Prácticas **Agrícolas**

Buenas Prácticas Agrícolas

En su experiencia de más de 20 años y con el apoyo de trabajos de investigación realizados por diferentes organizaciones, Aapresid establece las siguientes prácticas de manejo como criterios para acceder a la Certificación:

1

No remoción, presencia de cobertura

La agricultura convencional, basada en las labranzas de los suelos, fue el modelo agrícola que la humanidad aplicó desde sus inicios, hace más de diez mil años. Bajo esta concepción de la agricultura, la labranza era vista como una pieza clave e ineludible a la hora de producir granos y forrajes. El paquete tecnológico reinante bajo el ejemplo de la producción con labranzas incluía prácticas como arar, rastrear, y quemar los residuos, dejando el suelo totalmente pulverizado (Pereira, 2002). Sin embargo, y aún reconociendo que sirvió para alimentar a la humanidad en el pasado, la agricultura convencional -por vía de la erosión de los suelos- y por la aplicación de un criterio de explotación, minero o extractivo de los recursos, en muchos casos hizo llegar a extremos de deterioro de magnitud escalofriante: "perder más de diez toneladas de suelo por tonelada de grano producido"; evidentemente, un "costo" que la humanidad toda no podía, y menos aún no puede ni podrá seguir pagando. (Peiretti, 2004). Esto se refleja en numerosos documentos, pero especialmente en los principios establecidos por la RSB (Roundtable on Sustainable Biofuels): "La producción agropecuaria no debe degradar, directa o indirectamente, los suelos y debe estar seguida por un plan apropiado de manejo de suelos" así como en los principios y criterios desarrollados por la RTRS (Roundtable on Responsible Soybean): "asegurar que el manejo del suelo no causa erosión u otros impactos negativos", "evitar prácticas de manejo que impactan negativamente en la sustentabilidad biológica y ecológica del sistema suelo". "mantener o mejorar la calidad del suelo con el objetivo de incrementar los rendimientos y la intensidad de uso del suelo".

La superficie bajo siembra directa se ha incrementado en los últimos años: actualmente supera los 70 millones de hectáreas en todo el mundo, la mitad de las cuales corresponde a países de América Latina. De ellas, a su vez, el 50 por ciento están en Argentina, donde diversos organismos oficiales calculan casi 20 millones de hectáreas, o sea, el 70% de la superficie Argentina.

La siembra directa puso en marcha un nuevo paradigma en la agricultura, que permite superar el problema de la erosión y degradación de los suelos y dejar atrás la clasificación de los suelos en arables y no arables. Además:

- La fragilidad de los agroecosistemas trabajados bajo siembra directa es muy inferior a la del sistema de labranzas, lo que permitió ampliar las superficies productivas sin los riesgos conocidos.
- La siembra directa combinada con una adecuada secuencia y fertilización de cultivos permite mejorar la fertilidad física y química, hacer un uso más eficiente del agua e incrementar la productividad de los suelos.
- La reducción del consumo de combustibles fósiles, sumado a la menor emisión de dióxido de carbono -por ausencia de labranzas- y al secuestro de carbono -por aumento de materia orgánica- ayuda a mitigar el efecto invernadero.



Por eso es que la siembra directa se vislumbra hoy como la alternativa productiva que mejor conjuga los intereses -muchas veces contrapuestos- de alcanzar una producción económicamente rentable, ambientalmente sustentable, y socialmente aceptada. En consecuencia, su preservación es fundamental para la viabilidad de la empresa a lo largo del tiempo, para así lograr el objetivo de la sustentabilidad del sistema.

Actualmente, la economía ecológica plantea una visión novedosa que apunta a asignar un precio o valor económico a los servicios ecológicos que se pierden o son afectados por intervención humana. Es una forma de valorar el costo ecológico ambiental tangible o intangible, de la intervención del hombre en el ecosistema. Por ejemplo, la erosión de los suelos, tiene un costo intangible que la economía convencional no llega a valorar. Si se plantea este problema bajo otra perspectiva, lo que se ha estimado es el valor imputable al control natural de la erosión, considerado este como un servicio ecológico.

Los servicios tradicionales de producción de granos, carnes, leche, fibras, etc., que son remunerados mediante un valor de mercado en base al libre juego de oferta y demanda, son complementados por otros que todavía carecen de una cotización generada por este mecanismo económico, pero que la sociedad debe aprender a apreciarlos ya que equivaldrían al costo de reemplazar artificialmente lo destruido.

La lógica indica que si la ruptura de un servicio ecológico impone un costo ambiental que debería tener alguna penalización, su preservación debería plantear una oportunidad para los productores de diferenciarse y obtener incentivos.



La Siembra Directa logra niveles productivos altos con estabilidad temporal y en armonía con el ambiente. Sus principales beneficios son:

- 96% menos de erosión del suelo
- 66% menos de uso de combustible
- Menor emisión de carbono
- Mayor calidad de agua
- Mayor actividad biológica
- Aumento de la fertilidad del suelo
- Mayor estabilidad de producción y rendimiento
- Incorporación de nuevas áreas para la producción
- Menores costos de producción.

2 Rotación de Cultivos

“La alternancia de diferentes cultivos en el tiempo y espacio, es decir, la rotación de cultivos, presenta ventajas desde el punto de vista empresarial”. Específicamente, permite una diversificación de los riesgos productivos, ya que las condiciones ambientales pueden ser desfavorables para un cultivo, pero es poco probable que lo sea para los demás cultivos integrantes en la rotación, que están sembrados en otros lotes. Se logra así disminuir el riesgo medio de la actividad, máxime si ello se combina con estrategias de coberturas de precio y climáticas (Lorenzatti et al, 2003).

Además, la alternancia (espacial y temporal) de cultivos tiene un efecto inhibitorio sobre muchos patógenos. Es decir, que el agente causal de enfermedad al no encontrar el hospedante adecuado (planta a la cual infectar) ve interrumpido su ciclo y no tiene oportunidad de prosperar, disminuyendo la cantidad de inóculo presente en el lote. Con las malezas y los insectos ocurre algo similar. Al ir modificando anualmente el ambiente estos organismos no encuentran un nicho estable que permita un aumento importante de su densidad poblacional. En consecuencia, malezas y plagas se mantienen en niveles que no comprometen el éxito del cultivo con un manejo integrado. Ello se debe complementar con el concepto de rotación y mezcla de principios activos de diferente mecanismo de acción tanto en herbicidas como en insecticidas (Lorenzatti et al, 2003).

Desde el punto de vista de la fertilidad química de los suelos, las rotaciones hacen un uso balanceado de nutrientes, comparado con el monocultivo, evitando desequilibrios químicos de importancia. Si ello se complementa con una fertilización que contemple las diferentes necesidades de cada cultivo, habrá respuestas económicas favorables y se mantendrá el potencial productivo de los suelos.

Las rotaciones también influyen en las condiciones físicas y bioquímicas del suelo. En el aspecto físico, los distintos sistemas radiculares de los cultivos exploran diferentes estratos del perfil, permitiendo una colonización del suelo con raíces de diferente arquitectura. Debido a esto, cada tipo de raíz genera una clase determinada de poros, los cuales según su tamaño tendrán funciones de aireación, ingreso del agua al perfil, almacenamiento, o funciones mixtas. Al descomponerse las raíces por actividad de los microorganismos quedan formados poros, los cuales presentan alta estabilidad y continuidad espacial, favoreciendo una buena dinámica de aire y agua (Lorenzatti et al, 2003). Respecto a los aspectos bioquímicos, la rotación de cultivos favorece a obtener un balance neutro o positivo de carbono, comparado con el monocultivo.

En el plano biológico, las ventajas de la rotación de cultivos son también evidentes. Específicamente, en los primeros centímetros del suelo existe una gran actividad y diversidad biológica responsable en buena parte de la mineralización, formación y reciclado de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes. La rotación de cultivos con los diferentes aportes en cantidad y calidad de rastrojo brinda el sustrato del cual se nutrirán los microorganismos, haciendo que exista un equilibrio de sus poblaciones similar a lo que ocurre en ambientes naturales; aunque con predominio de otras especies adaptadas a los agroecosistemas.

Otro aspecto importante al plantear la rotación es ajustar su intensidad a la realidad climática y productiva de cada zona, principalmente a la disponibilidad de agua. La intensidad hace referencia a la cantidad de tiempo. La rotación será más intensa cuantos más cultivos se realicen en un número determinado de años. Hay que encontrar la intensidad adecuada, ya que si la misma es baja se estarán desaprovechando oportunidades de obtener



mayor rentabilidad y no se utilizaría toda el agua almacenada. Por el contrario, si la intensidad es excesiva, se utilizaría toda el agua almacenada y los riesgos productivos serán altos, ya que para las condiciones promedio de la zona el agua no será suficiente para obtener altas producciones en todos los cultivos (Lorenzatti et al, 2003).

Los cultivos pueden clasificarse según la cantidad de rastrojo remanente en:

| Alta cantidad de rastrojo remanente | Baja cantidad de rastrojo |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Maíz (granífero) | Maíz (para silo) |
| Sorgo (granífero) | Sorgo (para silo) |
| Cereales de invierno (trigo, avena) | Soja |
| Forrajeras (leguminosas y gramíneas) | Algodón. Maní |



Para el diseño e implementación de rotaciones de cultivos es necesario utilizar semillas mejoradas / adecuadas para lograr altos rendimientos así como alta producción de residuos de las partes aéreas y subterráneas, según las condiciones del clima y el suelo.

En una rotación también se pueden incluir cultivos de cobertura si el periodo entre la cosecha de un cultivo y la siembra del próximo es demasiado largo. Éstos mejoran la estabilidad del sistema, no solo en cuanto a propiedades del suelo, sino también por su capacidad de promover una biodiversidad aumentada en el agroecosistema.

Mientras que los cultivos comerciales tienen un valor de mercado, los cultivos de cobertura tienen valor por su efecto sobre la fertilidad del suelo o como forraje para el ganado. Especialmente, en las regiones donde las cantidades de biomasa producidas son muy pequeñas, como las áreas secas y los suelos erosionados, los cultivos de cobertura son beneficiosos porque:

- Protegen el suelo en los períodos de barbecho.
- Evitan la pérdida de nutrientes, los movilizan y reciclan.
- Mejoran la estructura del suelo y rompen las capas compactadas.
- Permiten una rotación más intensiva con mayor aporte de rastrojo.
- Pueden ser usados para el control de malezas y plagas.

Los cultivos de cobertura utilizan la humedad residual del suelo y su crecimiento es interrumpido antes de la siembra del siguiente cultivo o bien después de la siembra de este, pero antes de que comience la competencia entre los dos cultivos. Además, los cultivos de cobertura dinamizan la producción agrícola, pero a su vez presentan algunos desafíos:

- Requieren un más alto nivel de manejo.
- La descomposición de los cultivos de cobertura puede llevar a un déficit de nitrógeno en el comienzo del período de crecimiento.

Los residuos de rastrojo actúan como una cubierta protectora que atenúa la presión ejercida sobre la superficie del suelo por los tractores y los equipos de cosecha, evitando así problemas de compactación. Hay varias especies de cultivos que pueden ser usadas como cobertura vegetal, como los cereales, las leguminosas y los cultivos de oleaginosas. Todas estas especies son de gran beneficio para el suelo; sin embargo, algunos cultivos presentan mayores beneficios, lo cual es útil tener en cuenta cuando se planea el esquema de rotación. Por ejemplo, los cultivos de leguminosas enriquecen el suelo con nitrógeno y se descomponen rápidamente debido a su baja relación C/N.

3 Manejo Integrado de Malezas, Enfermedades, Insectos y otras plagas.

El uso desmedido, indiscriminado e irracional de plaguicidas genera efectos colaterales negativos que dañan la salud humana. Los efectos sobre el medio ambiente también son serios, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. A partir de la intensificación de las fallas del enfoque unidimensional (control químico) se reconoció que era necesario un enfoque multidimensional con una visión agroecológica del problema. Este nuevo enfoque es representado por el Manejo Integrado de Plagas (MIP), que fue el primer gran logro en la operacionalización del enfoque sistémico en la producción agropecuaria (Cobbe, 1998).

El MIP procura reducir los problemas fitosanitarios a través de la utilización de diversas tácticas, considerando factores económicos, sociales y ambientales, teniendo un profundo conocimiento de la biología de la plaga hábito de consumo, reproducción, impacto de los factores bióticos (predadores, parásitos) y abióticos (temperatura, humedad, precipitaciones, etc.) optimizando el control en relación a todo el sistema de producción de una especie cultivada. Las principales tácticas, utilizadas en combinaciones diferentes conforme la situación de cada cultivo en cada localidad, incluyen los controles genético, filogenético, cultural, biológico, etológico, físico, legal y químico (Cobbe, 1998).

Respecto al uso de plaguicidas (manejo químico), la FAO (2002) sostiene que las "BPA's", en el uso de plaguicidas, incluyen los usos recomendados oficialmente o autorizados a nivel nacional, en las condiciones existentes, para combatir las plagas de manera eficaz y confiable. Abarca una variedad de niveles de aplicaciones del plaguicida hasta la concentración más elevada del uso autorizado, aplicada de tal manera que deje el residuo más bajo posible".

El MIP es especialmente importante en países donde la producción agropecuaria tiene gran magnitud e importancia como la Argentina. En ellos, es imprescindible el desarrollo de un sistema oficial de registro que asegure la calidad, efectividad e inocuidad de los productos fitosanitarios que se aplican sin perder de vista cuestiones fundamentales para la salud humana como son la toxicidad (aguda, crónica o subcrónica) y los límites máximos de residuos tolerables en alimentos, así como la preservación del ambiente (ecotoxicidad).

En los últimos años, se está cambiando el concepto de "eliminar" una plaga por el de "mantenerla por debajo del nivel de daño económico". Es imprescindible lograr que se utilicen productos provenientes de empresas reconocidas en el mercado, adecuados para controlar la plaga, maleza o enfermedad problema sin afectar al resto de las especies "no blanco" y realizar monitoreos a campo, previamente a la toma de decisión de aplicar alguna medida de control químico.



Los diferentes cultivos albergan una importante cantidad de insectos, moluscos, isópodos, nemátodos, entre otros, los cuales pueden alimentarse de las plantas cultivadas. Algunos de ellos, llegan a causar un daño en la especie vegetal sembrada cuya valoración económica justifica la implementación de una medida de manejo tendiente a bajar el nivel poblacional de esa especie, la cual se la considera plaga.

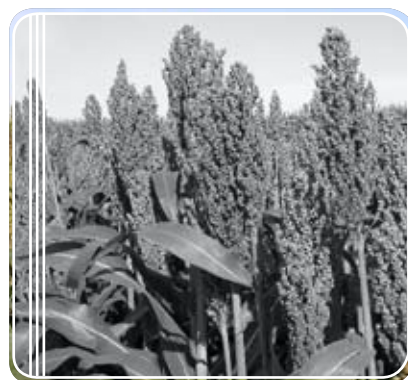
Es decir que una plaga es un organismo capaz de causar un daño económico en un cultivo, lo cual justifica la implementación de una medida para su control.

De esta definición surgen varias cuestiones a considerar:

1. No todas las especies que se alimenten de un cultivo pueden llegar a ser plagas. Muchos insectos, como por ejemplo el Siete de oro (*Astylus atro-maculatus*) en soja, se alimentan de diferentes porciones u órganos de las plantas, sin que esto llegue a ocasionarle al cultivo un nivel de perjuicio importante. En consecuencia, ningún nivel de la plaga justifica la realización de una medida de manejo para controlar su población.

2. La presencia de una plaga no implica necesariamente la necesidad de una medida de control. Es bien sabido por todos que las orugas defoliadoras pueden destruir un cultivo de girasol o soja; pero también es cierto que eso se produce siempre y cuando el nivel poblacional de la plaga sea elevado. En consecuencia, unos pocos individuos presentes en un lote puede que no lleguen a dañar al cultivo. Por lo tanto, un tratamiento químico sólo se justificará si el nivel de la plaga sobrepasa un determinado UMBRAL. El manejo integrado de plagas utiliza umbrales de acción, los cuales consideran números de individuos plagas presentes y/o nivel de daño en el cultivo, para justificar un tratamiento.

Asimismo, en la Fig. 1 podemos observar las diferencias entre un manejo adecuado (con monitoreo) y un testigo control sin tener en cuenta los Umbrales de Daño (Igarzábal, 2004).



Nº de orugas de *Rachiplusia* nu por metro en dos lotes contiguos (Alta Gracia - Córdoba 2004) manejados con recomendaciones del sistema de monitoreo y con criterio convencional.

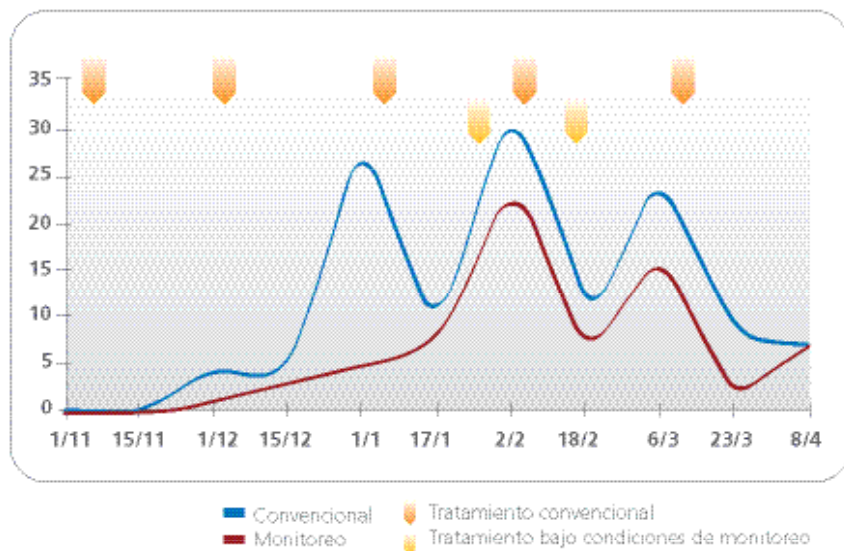


Figura 1. Densidad poblacional de orugas por efecto del manejo convencional vs. manejo basado en monitoreo.

3. La pulverización con productos químicos no es la única alternativa de manejo para controlar una plaga. Las herramientas que tiene el productor para manejar a las plagas son variadas, y el tratamiento químico es una de ellas. Por ejemplo, las siembras tempranas de maíz o sorgo permiten escapar a los ataques importantes del Barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), ya que el pico poblacional de la plaga se da cuando el cultivo ya no es susceptible al ataque. La selección de materiales con resistencia a



insectos (ej híbridos de maíz Bt), los tratamientos curasemillas, también son medidas de control de insectos. Los tratamientos con insecticidas deben manejarse criteriosamente, seleccionando correctamente productos y dosis en aquellos casos que sea necesaria su utilización.

4. Debe conocerse la biología de la plaga, como así también los factores naturales de control. Es preciso investigar y determinar el número de generaciones de una plaga, la densidad poblacional de cada generación, sus hábitos alimenticios y los factores que naturalmente realizan un control de estos insectos. Es decir, saber qué temperaturas afectan la viabilidad del insecto, conocer los patógenos (virus, hongos y bacterias) que los parasitan, como así también otros insectos que se alimentan de las plagas.

En cuanto a malezas, se debe recordar que estas son vegetales que crecen en los lotes de producción y compiten con el cultivo. Con la siembra directa toma una relevante importancia el concepto de barbecho químico. El mismo consiste en el período de tiempo que media entre la cosecha de un cultivo y la siembra del siguiente, durante el cual se realizarán aplicaciones con herbicidas para el control de las malezas.

Es necesario tener en claro que las malezas presentes en el barbecho consumirán agua y nutrientes. En consecuencia, es necesario controlarlas con tratamientos que incluyan herbicidas totales, con la posibilidad del agregado de residuales.

El control en postemergencia tampoco debe ser descuidado, ya que las malezas presentes simultáneamente con el cultivo compiten por agua, nutrientes y luz.

El uso de herbicidas como herramienta de control debe considerar la rotación de principios activos que tengan sitios de acción diferentes. Ello tiene como objetivo disminuir la aparición de especies resistentes. La rotación de cultivos ayuda, obviamente, en este aspecto, permitiendo además que ninguna especie en particular predomine en la flora del lote.

4

Manejo eficiente y responsable de agroquímicos

Con referencia al control químico convencional, es importante destacar el hecho de que, en los últimos años y, como resultado de los avances logrados en la investigación y el desarrollo de nuevas moléculas, éstas presentan niveles de toxicidad cada vez menores, se las aplica en concentraciones también menores y en lugar de tener un amplio espectro de control son cada vez más específicas, controlando sólo a las plagas objetivo sin afectar al resto.

En el caso de la protección de los consumidores, como resultado de la aplicación, es fundamental considerar el tiempo de carencia del producto y de cada cultivo. Este es el tiempo mínimo que debe transcurrir entre la última aplicación de un agroquímico y el momento de cosecha, para que el nivel de residuos en los vegetales cosechados esté por debajo de las tolerancias admisibles. Los residuos son partes de un compuesto químico que después de su descomposición o degradación, se pueden encontrar en el suelo, agua, plantas, aire o alimentos. Los límites máximos de residuos admisibles, o tolerancias, son los niveles de residuos máximos permitidos por los organismos y las directivas nacionales e internacionales en los alimentos de consumo humano o animal.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el almacenamiento de los productos fitosanitarios que debe realizarse guardando todas las precauciones de seguridad necesarias como para prevenir efectos indeseados para las personas o para el ambiente. Es también necesario establecer pautas adecuadas para la realización de un transporte seguro de estas sustancias que son potencialmente peligrosas, contemplando además todos los procedimientos a seguir en caso de accidentes (derrames o incendios).

Se debe poner especial atención en todos los temas relacionados con la salud del trabajador. En aspectos de prevención, es importante tener en cuenta que el peligro potencial de los productos fitosanitarios no desaparece con el uso de los elementos de protección personal, sino que debe ir acompañado de procedimientos de trabajo seguros. La política de prevención requiere del compromiso, capacitación y entrenamiento tanto del nivel gerencial como operativo de la empresa agropecuaria.

También es importante la protección del ambiente, debiendo tenerse en cuenta que, para su preservación, se debe realizar una correcta calibración de los equipos de aplicación priorizando momentos con las condiciones ambientales más favorables, así como contemplar el destino y tratamiento de las aguas residuales de una forma segura y ecológica y de la disposición final de los envases vacíos de agroquímicos.

Es necesario conseguir una elevada eficiencia en las aplicaciones de productos fitosanitarios en todos aquellos tratamientos realizados a partir de decisiones agronómicas razonadas. Esta exigencia se debe basar en varios aspectos claves como son la minimización de las dosis aplicadas por unidad de superficie cultivada, mejorando la distribución sobre el objetivo que se pretende proteger, la limitación de los efectos contaminantes de los tratamientos reduciendo las pérdidas por deposición de productos sobre el suelo o por desplazamiento lateral más allá de la superficie objetivo, acotar el riesgo que pueden representar para el aplicador las operaciones de pulverización, minimizar los niveles de residuos químicos sobre los productos agrícolas mediante la aplicación realizada de acuerdo a las instrucciones del fabricante y la implementación de todas las Buenas Prácticas de Aplicación de fitosanitarios, que engloban a las acciones anteriores.



También se debe respetar el triple lavado de los envases y evitar la quema de los mismos enviándolos a centros de reciclado al igual que cualquier otro material plástico como, por ejemplo, bolsas para silo.

Para obtener mayor información, remitirse al anexo A: "AgroLimpio: Programa de Recolección y disposición final de los envases vacíos de agroquímicos".

5 Nutrición estratégica

Históricamente la Región Pampeana Argentina es definida a nivel mundial como una de las regiones más ricas del planeta, en donde se pueden realizar diferentes actividades agrícolas. Sin embargo, el proceso de agriculturización que se asoció en un principio a una mecanización intensa, tuvo como consecuencia problemas de erosión de diferente intensidad con la consecuente pérdida de materia orgánica. Hace veinte años, no se pensaba en reponer los nutrientes del suelo, porque supuestamente alcanzaba con la fertilidad natural de los suelos. La contra cara es que en la actualidad hay un aumento en la frecuencia a la respuesta a nutrientes que por aquellas épocas no se pensaba en reponer (Salvagiotti, 2004).

Las altas tasas de exportación han provocado disminuciones dramáticas en los contenidos de materia orgánica y disponibilidad de los diferentes nutrientes. Como ejemplo, podemos citar la drástica disminución en el contenido del fósforo en los suelos pampeanos (Fig. 2).

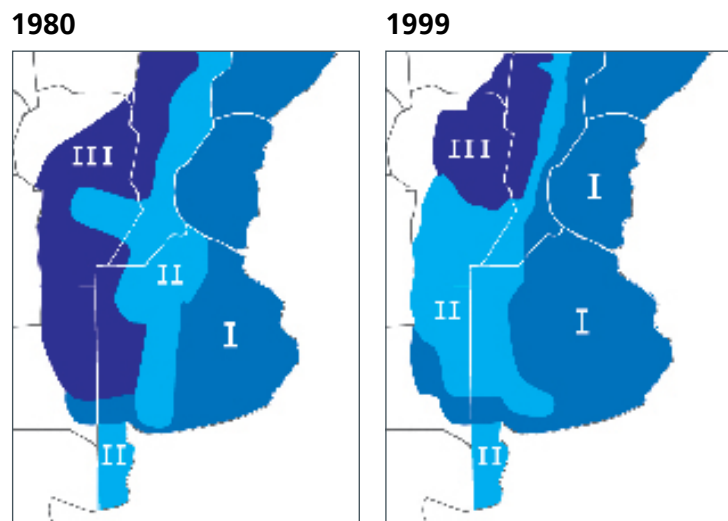
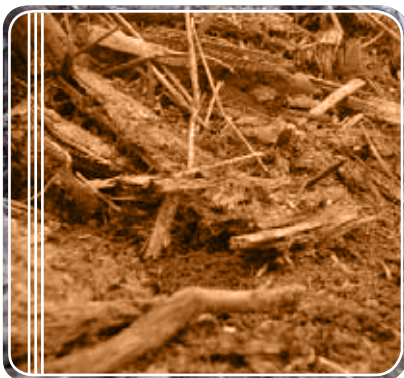


Figura 2. Disponibilidad de P en la región Pampeana en 1980 y 1999. Zona I = nivel menor a 10 ppm, II = 10 a 20 ppm y III = mayor a 20 ppm (disponibilidad adecuada). (Darwich N., 1983 y 1994. F. García 2001).



Un buen método para evaluar la fertilidad química del suelo - y analizar si el manejo que recibe es compatible con su clasificación de recurso renovable - es el balance de nutrientes. Este se estima como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo (García, 2003). En Argentina, existen balances de nutrientes negativos para la Región Pampeana. Específicamente, en el período 1996-2001 se aplicó el 29%, 45%, 1% y 9% del nitrógeno, fósforo, potasio y azufre exportados por los cuatro principales cultivos - maíz, trigo, soja y girasol. Es importante tener en cuenta que este desbalance implica una remoción de nutrientes del suelo por un valor de U\$S 1141 millones por

año (García, 2003).

La fertilización de los cultivos no solo permitirá un mayor retorno económico en el corto plazo, sino que una planificación racional de la fertilización incrementará el nivel de nutrientes de más difícil reposición (Salvagiotti, 2004), compatible con una producción sustentable. Esto no invalida que se tomen las precauciones necesarias para no caer en viejos errores, como lo es la contaminación de napas y acuíferos por un uso excesivo y poco eficiente de fertilizantes. A título de referencia el 40% de los condados en los Estados Unidos contienen niveles altos de nitratos en el agua y en un 10% el nivel es tan alto que el agua ya no se puede utilizar para consumo humano (Solbrig, 2002).



La incorporación de un plan racional de fertilización -que contemple no sólo la cantidad de nutrientes a aplicar, sino también su uso eficiente por los cultivos- en cada unidad de producción, es un desafío que deberá ser cumplido para acceder a una producción ambientalmente sustentable. Además, organizaciones como la RSB (Roundtable on Sustainable Biofuels) recomiendan que "La salud química del suelo debe ser mantenida o recuperada". La realización de siembra directa continua tuvo y tiene consecuencias sobre las condiciones de temperatura, aireación y humedad del suelo. Específicamente, estos parámetros son mucho más estables a lo largo del año, sin que se produzcan variaciones bruscas típicas de sistemas con laboreos. En consecuencia, ello afectará la actividad de los microorganismos, muchos de los cuales intervienen en el ciclo de la materia orgánica. Por lo tanto, nitrógeno y azufre tendrán una dinámica diferente a los ambientes manejados con labranza convencional. Es decir, que al no promoverse la oxidación de la materia orgánica la adición de estos nutrientes en forma de fertilizantes es una práctica corriente que muestra buenos niveles de respuesta.

Ello hace que, la realización de análisis de suelo sea de suma importancia, ya que determinan la correcta cantidad de fertilizante para cada lote de acuerdo al cultivo propuesto a sembrar; puede ayudar a detectar nemátodos y otras plagas; provee información sobre drenaje y potencial de compactación, para aplicación de herbicidas y posible selección varietal y rendimiento potencial.

Si bien la fertilización balanceada provee la correcta cantidad y fuente de nutrientes, en el momento adecuado y en la ubicación exacta, para que sean usados eficientemente se deben cumplir ciertos requisitos como por ejemplo, un pH óptimo que facilite la absorción de los mismos. Las cuatro características de la fertilización balanceada (dosis, fuente, momento y localización) deben ser especialmente tenidas en cuenta a la hora de fertilizar con nitrógeno.

En la actualidad, el fertilizante es un insumo sumamente importante en una agricultura sustentable en siembra directa, como se mencionara anteriormente, y se debe seguir investigando y ensayando diferentes estrategias de manejo.

En conclusión, cada productor deberá ajustar la fertilización en cada lote para lograr producciones elevadas y económicamente rentables.

6

Gestión de la información Ganadera

Cualquier actividad ganadera que se realice dentro del establecimiento deberá cumplir las pautas mínimas de trazabilidad que indica el Servicio Nacional de Sanidad Animal (SENASA):

- Identificación de animales: marca a fuego.
- Registro del establecimiento en el Registro Nacional Sanitario de Productores Agropecuarios (RENSPA).
- Registro de Movimiento de hacienda: Documento de Transporte Animal (DTA), guía.
- Clave única de identificación ganadera (CUIG).
- Certificados de vacunaciones con exigencia legal.

Además, se deberá proporcionar alimento, bebida y un manejo sanitario apropiado para un correcto bienestar del rodeo.

Las pasturas y cultivos producidos dentro del establecimiento deberán cumplir con todas las BPA's, registros e indicadores mencionados en los puntos anteriores (1 al 5).



Bibliografía

Cobbe, R. 1998. Capacitación Participativa en el Manejo Integrado de Plagas (MIP): Una Propuesta para América Latina. FAO, Roma.

Darwich, N. 1983. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos, IDIA, 409-412. Enero-Abril, pág. 1-5.

Darwich, N. 1994. Los sistemas mixtos y la fertilidad de los suelos. 2do Simposio Tecnológico AACREA, Bs. As. 29-30 sept. 1994, pág. 1 a 10.

Di Castri F. 2001. Vivir la transición postindustrial: la adaptación al cambio en Argentina. En: Los desafíos de la agricultura en un complejo mundo globalizado. Aapresid, Mar del Plata. pp. 15-25.

FAO. 2002. Conservation Agriculture, Case Studies in Latin America and Africa. FAO Soils Bulletin 78. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2002.

FAO. 2004a. Las buenas prácticas agrícolas. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Enero 2004.

FAO. 2004b. Conferencia Electrónica: Las buenas prácticas agrícolas (BPA), En búsqueda de la sostenibilidad, competitividad y seguridad alimentaria. 19 de julio - 9 de agosto de 2004. Disponible en www.rlc.fao.org/foro/bpa/private.htm.

FAO 2004c. Gap working paper series. Good Agricultural Practices – a working concept Background paper for the FAO Internal Workshop on Good Agricultural Practices. Rome, Italy 27-29 October 2004.

FAO. Departamento de Agricultura y protección del consumidor. Agricultura de Conservación. Disponible en <http://www.fao.org/ag/ca/es/1b.html>

Foro de la Cadena Agroindustrial (FCAA). 2005. Buenas Prácticas Agrícolas: Diagnóstico y propuestas del primer eslabón. Octubre de 2005.

García, F. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas N° 9, pág. 1 a 3

García, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: impacto en rendimientos y calidad de suelos. En: Revista Técnica de Aapresid: Fertilidad y fertilización en siembra directa pp 60-65.

Gómez R. y Hubbe S. 2001. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas y de manejo y empaque, para frutas y hortalizas. INTA. Mendoza.

Igarzábal, D. 2004. Nuevos servicios agropecuarios: el monitoreo de plagas. 12° Congreso de Aapresid "La hora del Empowerment". Rosario. Aapresid. 2004.

IPNI. 2008. A Global Framework for Best Management Practices for Fertilizer Use. IPNI Fertilizer BMP and Nutrient Use Efficiency Working Group. Marzo de 2008.

IPNI. 2008. Informaciones Agronómicas del Cono Sur Junio de 2008 N°38. Un marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. Tom W. Bruulsema, Christian Witt, Fernando García, Shutian Li, T. Nagendra Rao, Fang Chen y Svetlana Ivanova. IPNI - Grupo de Trabajo de MPM.

ISGA (International Soybean Growers Alliance). 2007. BMP Handbook. ISGA meeting. November 2007.

Lorenzatti S. 2006. Factibilidad de implementación de un certificado de agricultura sustentable como herramienta de diferenciación del proceso productivo de Siembra Directa. Tesis de Maestría en Agronegocios. Universidad de Buenos Aires. pp 47-53 y 71-80.

Lorenzatti S. 2003. La rotación de cultivos: Una herramienta poco utilizada. Revista técnica: Conociendo el suelo en siembra directa. Aapresid.





Malvicino G. 1998. Sistema de Certificación de Productos Agrícolas Diferenciados. En: Carpeta Seminario-Taller: Prevención del riesgo de contaminación agrícola. Bs.As. 1998.

Ordoñez, H. 2002. La calidad y los agroalimentos. En: Apuntes del Programa de Agronegocios y Alimentos. FAUBA.

Peiretti, R. 2004. El Modelo Agrícola de CAAPAS: Su adopción actual y potencial dentro del sistema agrícola nacional y mundial. Amenazas y oportunidades dentro del escenario global. En: Actas del XII Congreso de Aapresid. pp 57-60.

Pereira, M. H. 2002. Un buen trabajo. En: Actas del X Congreso de Aapresid. Rosario.

Rountable on Responsible Soybean (RTRS). 2008. Principles and Criteria for Sustainable Soybean production. Disponible en www.responsiblesoy.org.

Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB). 2008. Background Paper 1 for the Expert Panel on Soils. Disponible en <http://cgse.epfl.ch/page65660.html>.

Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO). 2007 Principles and Criteria for Sustainable Palm Oil Production. October 2007. Disponible en www.rspo.org.

Salvagiotti, F. 2004. El manejo de los nutrientes y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En: Revista Técnica de Aapresid: Fertilidad en siembra directa 2004. pp 75-78.

Solbrig, O. T. 2002. El impacto ambiental de la agricultura pampeana: reflexiones en relación a la crisis. Rosario: Actas del X Congreso de Aapresid.

Viglizzo, E. 2004. Desarrollo de una metodología compatible con la norma ISO 14000 para la eco-certificación de predios rurales. Programa Nacional de Gestión Ambiental. INTA.

Viglizzo, E. & L. Carreño. 2007. Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina. Área estratégica de Gestión Ambiental. INTA.

www.senasa.gov.ar

Anexo A:

“AgroLimpio - Programa de recolección y transformación de los envases vacíos de productos fitosanitarios”.



Estructura y actividades del programa de Recolección de envases:

La recolección de los envases vacíos se inicia en el campo, pero para el buen desarrollo se necesita una infraestructura básica:

Minicentros de Acopio. son lugares de recolección primaria, ubicados en lugares estratégicos dentro de los campos de cultivo.

Centros de Acopio. son lugares donde los materiales ya son acondicionados para su destino final. Generalmente están equipadas con una trituradora o una compactadora de materiales.

Equipamiento de los centros de acopio y acondicionamiento de los envases:

Ambos deben cumplir con las siguientes condiciones:

1. Requerimientos municipales (generalmente son pocos) y los provinciales. En la provincia de Buenos Aires están en una disposición de la SPA la 592/00.
2. Estar fuera de lo urbano.
3. Poseer un alambrado o cerco para la contención de los envases.
4. Poseer carteles indicando el contenido.
5. Poseer una media sombra o silo bolsa para evitar que el viento los desparrame.
6. Poseer una planilla de ingresos y egresos.
7. Tener siempre visible el teléfono del responsable.

En los centros de acopio se acondicionan los envases recolectados para ser enviados posteriormente a su destino final. Las alternativas son dos:

Triturado. Las trituradoras tienen que ser especiales para el triturado de plástico. La maquinaria puede ser fija o móvil, impulsada con energía propia, o de toma de fuerza, o de energía exterior.

Compactado. Es un acondicionamiento de los materiales más práctico y más económico. Además permite el compactado de diferentes materiales, como plástico, metal, cartón y otros materiales.

La selección de la alternativa debe adecuarse a las necesidades y a las posibilidades del centro de acopio.

Transformación de los envases

Dentro de los diferentes destinos hay dos grupos básicos:

- Reutilización de los materiales. Esto incluye:
 - Reciclado de los materiales plástico y metal
 - Reutilización térmica o energética (hornos de cemento o energía)
- Desecho o eliminación definitiva. Esto puede ser por incineración en hornos especiales.

Limpeza adecuada e inutilización de los envases

Los programas de eliminación se apoyan sobre envases que fueron limpiados previamente a su recolección en el campo o lugar de utilización.

La limpieza se tiene que realizar en el campo, ya que es el único lugar donde se utiliza el agua de enjuague en el caldo de aspersión en forma inmediata.

Las formas de limpieza son:

- Triple Lavado
- Lavado a presión

Recomendaciones para la recolección y disposición de envases



1. Los productos para la protección de cultivos o fitosanitarios, deben ser adquiridos en el comercio especializado, en almacenes que ofrezcan asesoría técnica para asegurar el uso adecuado y garanticen productos de calidad.



2. Para manipular los productos fitosanitarios es imprescindible el uso de ropa e implementos de seguridad para el aplicador o usuario final, así como leer atentamente las etiquetas de los productos antes de ser utilizados.



3. Los envases vacíos de productos fitosanitarios, se deben lavar adecuadamente siguiendo las recomendaciones del triple lavado o del lavado a presión.

Es importante verter el agua de lavado al tanque de aplicación y utilizarla inmediatamente en forma correcta.



4. Una vez lavados en forma adecuada, los envases deben ser perforados para inutilizarlos. De esta forma, se evita su reutilización.



5. Los envases limpios y perforados se deben llevar a un lugar especial para su recolección. Puede ser a un minicentro o directamente al Centro de acopio en donde serán acondicionados para el destino final o transformación.



6. Los minicentros o lugares de recolección primaria, deben estar cerca de los lugares de utilización de productos. Tienen que ser diseñados para cumplir con su objetivo. Se requiere vigilarlos para evitar el mal uso y vaciarlos periódicamente, para evitar acumulación o contaminación.



7. En los centros de acopio se recolectan, clasifican y acondicionan los envases. Estos deben estar ubicados fuera del área urbana y contar con un mantenimiento adecuado. Allí los envases se trituran o se compactan, para ser llevados a su destino final.



8. Una de las opciones para la disposición final de los envases es llevarlo a un horno de cemento, para su incineración o reutilización energética. Por su alto costo es una forma de eliminación poco empleada.



9. Otra alternativa es el relleno sanitario autorizado que cuente con las especificaciones técnicas adecuadas.



10. La opción más recomendable es llevarlos a una planta de reciclaje, en donde serán reutilizados para producir tapas, madera plástica, tubos, tejas, caños de desagüe, etc.

Responsabilidad del fabricante - formulador - importador

- Promover la recolección de los envases.
- Instalar facilidades para la recolección y acondicionamiento de los envases.
- Buscar un destino final adecuado de los materiales recolectados.
- Realizar capacitación para la correcta aplicación del programa.
- Realizar la promoción del programa en todas las instancias.

Responsabilidad de las autoridades

- Ayudar en la factibilidad y en la realización de los programas.
- Prestar asistencia para la correcta aplicación de un programa.
- Adecuar disposiciones a la práctica de un programa, ya sea para el transporte de los mismos a sus destinos finales.
- Ayudar y asistir en la capacitación y la divulgación.
- Participar activamente en los programas.

Responsabilidad del usuario final

- Lavar - limpiar adecuadamente, mediante la técnica del Triple Lavado o lavado a presión.
- Inutilizar los envases con el método más práctico para evitar un reuso incontrolado.
- Entregar los envases en los lugares indicados para su recolección, ya sean minicentros o centros de acopio. Sin una limpieza correcta de los envases, no es posible un programa de eliminación.



Responsabilidad del distribuidor - intermediario - comercio minorista

- Facilitar la devolución y recolección de los envases.
- Promover el triple lavado y su control ante el usuario final.
- Intervenir en forma activa en la promoción del programa.

El ideal sería, que cada uno de los distribuidores asegurara las facilidades para recibir los envases devueltos por el usuario final.

| Provincia | Cantidad de centros habilitados a fines del año anterior 2007 | Cantidad de centros habitualmente en funcionamiento | Estimación de la cantidad de centros habilitados a diciembre de 2008 |
|--------------|---|---|--|
| Buenos Aires | 18 | 19 | 19 |
| Chaco | 2 | 2 | 3 |
| Córdoba | 19 | 26 | 31 |
| Corrientes | 4 | 2 | 4 |
| Entre Ríos | 6 | 8 | 10 |
| Mendoza | 6 | 9 | 10 |
| Neuquén | 2 | 2 | 2 |
| Río Negro | 6 | 8 | 10 |
| Salta | 0 | 3 | 6 |
| Santa Fe | 5 | 4 | 4 |
| Tucumán | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL | 70 | 85 | 101 |

Centros AgroLimpio.Totales por Provincia a Julio 2008.

Bibliografía

Guillermo T. Dalton. Programa AgroLimpio Argentina

Javier Arregui. CASAFE

<http://www.croplifela.org>

Mayor información:

<http://www.agrolimpio.com.ar/agro/>





Indicadores de gestión

a. Indicadores químicos de gestión agronómica

La utilización de indicadores químicos asociados con la calidad / salud de los suelos tiene por objetivo conocer la presencia de limitantes que podrían afectar el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos y la dotación de nutrientes para las plantas.

Para evaluar la calidad y la salud, y la evolución de la fertilidad química de un suelo se debe comenzar con la extracción de una muestra representativa (Anexo 1), para luego realizar las determinaciones de laboratorio necesarias, el diagnóstico de las variables evaluadas y las recomendaciones de manejo correspondientes.

Se propone el uso de indicadores como el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio de intercambio (PSI) que refieren a limitaciones por acidez / alcalinidad y salinidad / sodicidad, y de indicadores de fertilidad química que combinan la disponibilidad de nutrientes y el balance de los mismos en el suelo. Los indicadores de fertilidad química serán utilizados para determinar el status de fósforo (P) y azufre (S) del suelo. Dada la dinámica del nitrógeno (N), su manejo no deberá basarse en el balance, sino en el análisis de suelo y/o planta, el rendimiento esperado y otros elementos de diagnóstico y recomendación. El balance de nutrientes se calcula como la diferencia entre las entradas por aplicaciones de fertilizante (y/o estiércol) al sistema y las salidas por extracción en grano (y/o rastrojo o forraje), calculadas en base a las Tablas de IPNI Cono Sur disponibles en el Anexo 2. El nivel de nutrientes en el suelo se cuantifica a través de determinaciones de laboratorio sobre las muestras de suelo extraídas de acuerdo a las recomendaciones del Anexo 1.



Salinidad y sodicidad

1 Un indicador sencillo de evaluar para determinar la salinidad de los suelos es la Conductividad Eléctrica (CE). La CE es una determinación característica para identificar suelos salinos que se correlaciona con propiedades del suelo que afectan la productividad de los cultivos, incluyendo textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), condiciones de drenaje, nivel de materia orgánica, salinidad, y características del subsuelo.

La CE puede relacionarse con propiedades específicas del suelo que afectan la productividad y pueden verificarse en el lote, tales como el espesor del horizonte superficial, los niveles de pH, los contenidos de sales, y la capacidad de almacenaje de agua (que también es afectada por la textura).

La CE se mide en el extracto de saturación de un suelo (0 - 20 cm) y tiene una alta concentración de sales. Cuando la CE está sobre 4 dS/m, nos encontramos ante un suelo de tipo salino.

La sodicidad de los suelos es frecuentemente evaluada a través de la determinación del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) que es la relación del sodio (Na) en el complejo de intercambio respecto al total de cationes intercambiables.



Diagnóstico de CE

| Nivel de CE (dS/m) | Diagnóstico |
|--------------------|---|
| Menor a 2 | No hay problemas de salinidad. |
| De 2 a 4 | Puede haber limitaciones en la productividad de algunos cultivos. |
| Mayor a 4 | Puede haber serias limitaciones en la mayoría de los cultivos. |

Diagnóstico de PSI

| PSI | Diagnóstico |
|------------|--|
| Menor a 5 | Suelo con mínimas limitaciones en la infiltración y desarrollo de cultivos. |
| De 5 a 15 | Suelo con crecientes limitaciones en la infiltración y desarrollo de cultivos. |
| Mayor a 15 | Suelo sódico con severas limitaciones en la infiltración y desarrollo de la mayoría de los cultivos. |

Recomendaciones

Para hacer recomendaciones apropiadas para suelos salinos/sódicos, es necesario hacer un diagnóstico más preciso de las causas de la salinidad, que incluya la evaluación de CE a mayor profundidad (hasta al menos 1 m), cationes de intercambio (Ca, Mg, Na y K), Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y pH en agua (o en el extracto de saturación).

Para recuperar un suelo salino o salino / sódico se debe prestar atención a la profundidad de la napa freática, ya que si ésta al ascender se aproxima a la superficie, el suelo podría volver a salinizarse o sodificarse. Se debe tener en cuenta que la mayor concentración de raíces de los cultivos está dentro de los 50-60 cm; por lo tanto, se podría usar un límite de ascenso de 60 a 80 cm. Para corregir este tipo de problemas se debe manejar el drenaje para permitir el lavado de sales del perfil por lixiviación. Solucionado el problema de drenaje, en suelos sódicos (pH>8.2), se puede usar yeso agrícola o azufre elemental.

La posibilidad de riego contribuye a mejorar el desplazamiento de sales y específicamente de cationes como el sodio. Para el cálculo de dosis, existen fórmulas en las que la cantidad a aplicar está en función de la dotación de sales del suelo y de la profundidad a la que se encuentren.

Con respecto a las prácticas de manejo, no es conveniente laborear dichos suelos y, además, se los debe mantener cubiertos con cultivos o rastrojos de especies tolerantes a salinidad, como cebada, sorgo de escobas o maíz de guinea, agropiro, lotus, etc. Esto reduce el ascenso capilar de agua en el perfil del suelo, mejora las condiciones de captación e infiltración del agua de lluvia reduciéndose la salinización.

2 pH

El pH de un suelo indica el nivel de acidez o alcalinidad del mismo. El pH está asociado a la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Los nutrientes más afectados por el pH del suelo son Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo). La deficiencia de Fe, Mn, Zn y Cu es más frecuente en suelos alcalinos, y la deficiencia de Mo es más habitual que aparezca en suelos ácidos.

Cuando el suelo tiene un pH por debajo de 5.5, se puede liberar aluminio (Al) intercambiable en el suelo generando toxicidad para los cultivos. Una pequeña cantidad de Al en el suelo en exceso de lo que es normal afecta las raíces de la mayoría de las plantas (las raíces se acortan y engrosan). Como resultado de esto, las plantas no pueden absorber agua y nutrientes.



Diagnóstico

| Nivel de pH | Diagnóstico |
|--------------|--------------------|
| Menor de 5.5 | Muy ácido |
| De 5.5 a 6.0 | Levemente ácido |
| De 6.0 a 7.5 | Óptimo |
| De 7.5 a 8.0 | Levemente alcalino |
| De 8.0 a 8.5 | Alcalino |
| Mayor de 8.5 | Muy alcalino |

Recomendaciones

Para hacer recomendaciones apropiadas con pH ácido o alcalino, es necesario hacer un diagnóstico más preciso de las causas de la acidez o alcalinidad, que incluya la evaluación de CE y pH a mayor profundidad (hasta al menos 1 m), cationes de intercambio (Ca, Mg, Na y K), niveles extractables de Al, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).

Las recomendaciones de manejo van a depender de los resultados de las determinaciones realizadas, los cultivos predominantes en la rotación y el tipo de enmiendas a aplicar.

3 Gestión agronómica del fósforo (P)

El fósforo (P) es uno de los nutrientes que afectan en mayor medida la producción de los cultivos agrícolas. Este macronutriente tiene las siguientes funciones en las plantas:

- Fotosíntesis y respiración.
- Transferencia y almacenamiento de energía.
- Crecimiento y división celular.
- Desarrollo y crecimiento temprano de la raíz.
- Mejora la calidad de la Materia Seca.
- Vital para la formación de la semilla.
- Transferencia de características genéticas.

El diagnóstico de la fertilidad fosfatada de los suelos se basa en el análisis de suelo. En nuestro país, la metodología calibrada y validada para esta determinación es la extracción Bray 1. El monitoreo de los niveles de P Bray 1 permite caracterizar la fertilidad fosfatada de los suelos y se relaciona con la respuesta a la fertilización de los cultivos.

Diagnóstico y recomendaciones para rotaciones de cultivos anuales

La filosofía de manejo que se persigue es la de incrementar y reponer el P y se basa en el poder residual de los fertilizantes fosfatados. Dicho criterio establece que si el nivel está por debajo del nivel óptimo se fertiliza no sólo para alcanzar el máximo rendimiento sino para incrementar el nivel de nutriente disponible hasta el óptimo en un plazo determinado.

Este diagnóstico esta basado en el proceso de mejora continua que guiará la gestión agronómica. El productor debería ubicar la situación de su establecimiento en la tabla y luego, a partir del diagnóstico y de la recomendación, definir un plan de acción para incrementar o mantener el nivel de P en su suelo, según la situación en la que se encuentre.

| Nivel de P Bray Kurtz 1 (0-20 cm) ppm | Diagnóstico | Recomendación |
|---------------------------------------|---------------------|--|
| Más de 40 | Muy alto | No aplicar P |
| De 30 a 40 | Muy alto | Reponer 33% del P extraído |
| De 20 a 30 | Alto | Reponer 66% del P extraído |
| De 15 a 20 | Óptimo (o adecuado) | Reponer 100% del P extraído |
| Menos de 15 | Bajo | Reposición total + dosis necesaria para elevar P del suelo a 15 ppm. |

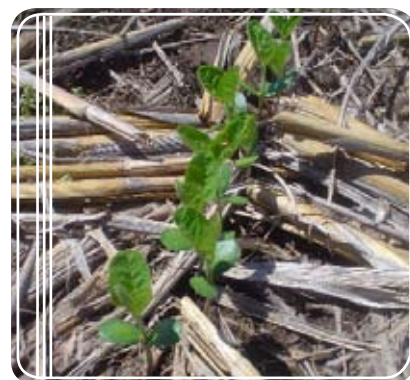
Nota: si el pH del suelo es mayor a 7.8, se recomienda realizar el análisis de Olsen, de acuerdo a la siguiente tabla.



| Nivel de P Olsen 1 (0-20 cm) ppm | Diagnóstico | Recomendación |
|----------------------------------|---------------------|--|
| Más de 28 | Muy alto | No aplicar P |
| De 20 a 28 | Muy alto | Reponer 33% del P extraído |
| De 14 a 20 | Alto | Reponer 66% del P extraído |
| De 10 a 14 | Óptimo (o adecuado) | Reponer 100% del P extraído |
| Menos de 10 | Bajo | Reposición total + dosis necesaria para elevar P del suelo a 10 ppm. |

Diagnóstico y recomendaciones para pasturas

Dado que los sistemas agrícolas y ganaderos se encuentran conectados a través del ingreso de nutrientes en los fertilizantes o en los alimentos y el egreso en productos de carne o grano, la práctica de fertilización fosfatada es la única alternativa para el mejoramiento y la conservación uniforme de los niveles de fósforo de los suelos de la región pampeana. En la medida que la principal fuente de alimento para la producción de carne es la pastura, los pastoreos con altas cargas instantáneas permiten una mejor distribución de las restituciones pero no eliminan la reducción en la disponibilidad generada por el consumo del forraje y la transferencia por concentración en las heces. Este comportamiento es explicado más por la concentración y los traslados de fertilidad en las heces que inducidos por el aumento en la inmovilización y la extracción en los animales (Díaz Zorita y Barraco, 2002.).



Por esta razón la estrategia o filosofía de manejo de P para sistemas ganaderos es diferente de la utilizada en cultivos agrícolas.

| Nivel de P Bray | Valoración Agronómica | Alfalfa | Pasturas consociadas | Gramíneas |
|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| (mg/kg) | | -----kg de P/ha----- | | |
| <5 | Muy bajo | 100-125 | 75-100 | 50-75 |
| 6-10 | Bajo | 75-100 | 50-75 | 25-50 |
| 11-15 | Medio bajo | 50-75 | 25-50 | 10-25 |
| 16-20 | Medio alto | 25-50 | 10-25 | — |
| 21-30 | Alto | 10-25 | — | — |
| >30 | Muy alto | — | — | — |

En general, se puede considerar como criterio para elevar en 1 ppm el nivel de P en suelo (0 - 20 cm), los siguientes valores:

En suelos arenosos a franco arenosos: 2 a 4 kg P/ha.
 En suelos francos a franco limosos: 3 a 5 kg P/ha.
 En suelos limosos a arcillosos: 4 a 6 kg P/ha.

Para estimar valores específicos de determinadas zonas se recomienda consultar la siguiente bibliografía: Berardo y Grattone, 2000; Quintero et al., 2003; Suñer et al., 2004; Rubio et al., 2004; Rubio et al., 2007; y Ciampitti et al., 2008.

La aplicación de P con el propósito de modificar los niveles extractables de dicho nutriente de los suelos se puede realizar en cualquier momento del año (pre-siembra, post-emergencia o post-cosecha) y con cualquier método de aplicación (voleo, incorporado, en bandas, etc.). En términos de respuesta de los cultivos, las diferentes formas de aplicación darán lugar a diferentes eficiencias de aprovechamiento según aplicaciones superficiales o localizadas y según tipos de cultivos. En zonas de escurrimientos importantes las pérdidas de P aplicado al voleo pueden ser muy importantes.

4 Gestión agronómica del azufre (S)

El azufre (S) es un nutriente de creciente importancia en los sistemas de producción agropecuaria argentinos, y tiene las siguientes funciones en las plantas:

- Esencial para la formación de proteínas:
 - Constituyente de aminoácidos esenciales.
 - Componente de enzimas.
- Requerido para la formación de clorofila.
- Participa en la formación de componentes de aceites (glucósidos y glucosinolatos) y en la síntesis de vitaminas.

Las determinaciones de laboratorio realizadas en la actualidad (determinación por turbidimetría) no presentan una buena correlación con la probabilidad de respuesta a la fertilización con dicho nutriente. En general se menciona que los ambientes degradados con pérdidas importantes de Materia Orgánica (M.O.), suelos arenosos, varios años de monocultivo de Soja, con labranza intensiva y/o sin presencia de napas superficiales con sulfatos, son aquellos en donde existen mayores probabilidades de encontrar respuesta a la aplicación de S. por lo tanto, para el diagnóstico de S se utilizará el nivel relativo de M. O. del suelo.

Diagnóstico y recomendaciones

| Nivel de MO relativo | Diagnóstico | Recomendación |
|-----------------------------|-------------|--|
| 75 -100% del valor original | Alto | No aplicar S |
| 50 - 75% del valor original | Medio | Reponer 33% del S extraído |
| Menor del 50% del extraído | Bajo | Reponer entre 66 y 100% del S valor original |

Si la napa freática o el agua de riego contienen altos niveles de sulfatos, puede no ser necesaria la aplicación de fertilizante azufrado. La aplicación de S se puede realizar en cualquier momento del año (pre-siembra, post-emergencia temprana o post-cosecha) y con cualquier método de aplicación (voleo, incorporado, en bandas, etc.).



Bibliografía

Berardo, A., D. Grattone. 2000. Fertilización fosfatada requerida para alcanzar niveles objetivos de P Bray en un Argiudol. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata.

Ciampitti I.A., F.O. García, G. Rubio y L.E. Picone. 2008. Fósforo en rotaciones agrícolas de la Región Pampeana Central: II. Balance de P. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del

Díaz Zorita M. y M. Barraco. 2002. ¿Cómo es el balance de P en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana? Informaciones Agronómicas del Cono Sur 13:8-11. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.

Quintero, C., G. Boschetti, y R.A. Benavidez. 2003. Effect of soil buffer capacity on soil test phosphorus interpretation and fertilizer requirement. Comm Soil Sci Pl Anal, 34:1435-1450.

Rubio, G., F.H. Gutiérrez Boem, y M.J. Cabello. 2004. ¿Cuánto P hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de P disponible en el suelo? I. Cálculo a partir de propiedades básicas del suelo. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 23: 5-8.

Rubio, G., F.H. Gutiérrez Boem, y M.J. Cabello. 2007. ¿Cuánto P hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de P disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas sur y norte de la región pampeana. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 35: 6-10.

Suñer, L., J.A. Galantini, y R.A. Rosell. 2004. Fertilización con P en suelos de la Región Pampeana cultivados con trigo. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná. AACCS.



Anexo 1:

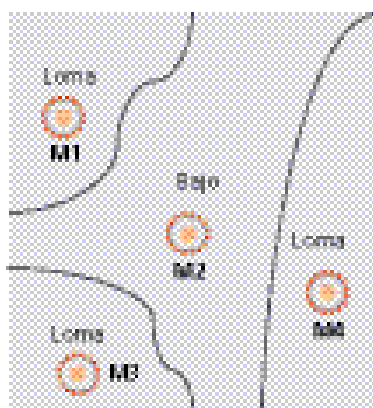
Procedimiento para el muestreo de suelos

Para el muestreo de suelos se recomienda seleccionar un mínimo de lotes representativos por establecimiento, de acuerdo al siguiente criterio:

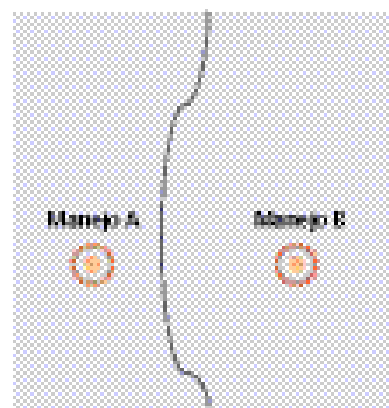
- En establecimientos con 20 lotes o menos, muestrear el 30% de los mismos (con 10 lotes, muestrear 3 lotes representativos).
- En establecimientos con más de 20 lotes, muestrear el 20% de los mismos (con 30 lotes, muestrear 6 lotes representativos).
- Si el lote es mayor a 50 ha y/o tiene diferencias de relieve, con distintos tipos de suelos, o cualquier variable para diferenciar ambientes (antecesor, fertilización, etc.), se recomienda tomar una muestra compuesta y representativa de cada uno de ellos.

Cómo muestrear un lote

Lote 1



Lote 2

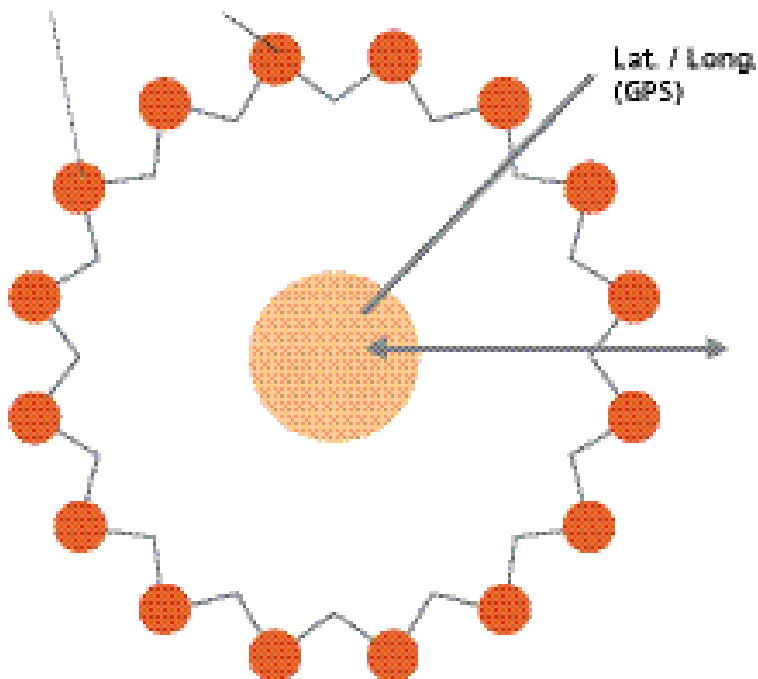


- Todas las muestras compuestas deben estar georreferenciadas (Lat/Long con GPS). La muestra de suelo se compone de 15-20 sub-muestras (20 cm) para determinar CE, PSI, pH, P, C, Textura. Es preciso tomar 15-20 sub-muestras en la profundidad 0-5 cm (apareadas a 10 cm de las muestras a 20 cm de profundidad), para la determinación de C.

- Con el conjunto de muestras simples (sub-muestras) de cada profundidad se hace la muestra compuesta final para enviar al laboratorio. Esta muestra compuesta debe homogeneizarse y posteriormente cuartearse hasta llegar a una cantidad de suelo de no más de medio kilogramo. Luego se guardan en bolsas de plástico que se cierran bien y se rotulan exteriormente, detallando: nombre del establecimiento, potrero, sector y profundidad de extracción.

Cómo tomar una muestra de suelo

15-20 sub-muestras a 20 cm
15-20 submuestras a 5 cm



Determinaciones en laboratorio

Las determinaciones que se realizan en laboratorio son CE, PSI, pH, P, C, y Textura.

El momento para hacer el muestreo debe ser siempre en la misma época del año, para evitar efectos de variaciones térmicas y de actividad biológica. El otoño, por otra parte, es la época más adecuada.

La frecuencia mínima es un muestreo inicial y un muestreo final a los 3 años (como la textura es una variable que no se modifica, se realiza solo una vez).

Las muestras deben ser enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Bolsa de Comercio de Rosario. Dicho laboratorio cuenta con un servicio de envío sin cargo a través de Correo Argentino.

Determinaciones a campo

Las determinaciones que se realizarán a campo son Densidad Aparente (Dap) (luego con la fórmula enunciada en la sección correspondiente a este indicador y Porosidad de Aireación (PA)), Infiltración y Cobertura.

Las repeticiones por determinación son:

- 5 de Dap, 10 de infiltración y 4 de cobertura.

El momento para hacer las determinaciones es previo a la siembra del cultivo de verano.

La frecuencia mínima es la siguiente:

- Dap e infiltración: muestreo inicial y muestreo final a los 3 años.
- Cobertura: todos los años.

Con respecto a la ubicación se deben hacer las determinaciones en los mismos lugares de extracción de muestras de suelo (georreferenciadas).

Los errores de muestreo pueden ser minimizados siguiendo técnicas de muestreo adecuadas. Para mantener uniforme la profundidad de muestreo

se recomienda el uso de barreno. Siempre es bueno asegurarse la limpieza del mismo, el cual debe ser fabricado en acero inoxidable o cromado, en especial para el análisis de micronutrientes. Además, dicho barreno debe estar siempre bien afilado para producir un corte uniforme en todo el perfil de muestreo.

Antes de introducir el barreno en el suelo, se debe remover el residuo grueso (cañas, tallos, hojas, etc) con la mano, para no generar interferencias. Se recomienda no usar el taco del calzado para remover dicho residuo, ya que generalmente se eliminan los primeros cm de suelo, que tienen una alta incidencia en el resultado del análisis.

Es imprescindible tener cuidado de no muestrear en áreas cercanas a taperas viejas o corrales, caminos, antiguos comederos, aguadas, sectores de carga y descarga de fertilizantes y construcciones; teniendo siempre la precaución de dejar una distancia de 50 metros desde los alambrados perimetrales.

Dependiendo del tipo de suelo, se aconseja no muestrear inmediatamente después de una lluvia o si el perfil del suelo está saturado; conviene siempre esperar 2 ó 3 días a que drene bien,.

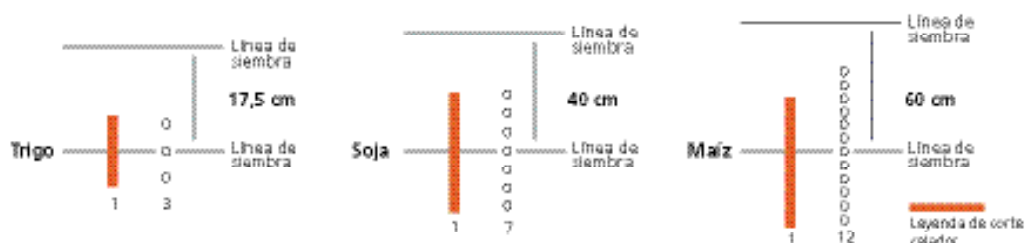
Cuando en cultivos anteriores se han realizado fertilizaciones en banda y aún se diferencian las líneas de cultivo y donde se aplicó el fertilizante: a) evitar muestrear en la banda de fertilización del último cultivo o muy cerca de la misma, o b) utilizar el método alternativo siguiente:

Muestreo alternativo para fertilización P en bandas (Anghinoni 2003)

Trigo (a 17.5 cm): 3 submuestras (7 estaciones)

Soja (a 40 cm): 7 submuestras (3 estaciones)

Maíz (a 60 cm): 13 submuestras (2 estaciones)



Si fuera necesario, al extraer las muestras sub-superficiales (20-40 cm / 40-60 cm), convendrá quitar o separar la tierra que haya caído de más arriba para no contaminar las sub-muestras. Es preciso tener especial cuidado de no mezclar las muestras de diferentes profundidades.

Si existen manchones o problemas localizados, hay que considerar cada uno individualmente, registrando la superficie estimada comprendida por cada uno. Frente a problemas limitantes, como sales o presencia de sodio, es conveniente tomar paralelamente "muestras de control" de los suelos adyacentes, donde éstos no se manifiesten y el crecimiento de los cultivos sea normal, para efectuar una comparación entre los mismos.

Es muy importante conocer la historia del campo y tener en cuenta las siguientes pautas:

- Los suelos cultivados son más variables que los vírgenes.
- Los suelos con limitantes de salinidad y/o alcalinidad presentan gran variabilidad en superficie y profundidad.
- Los suelos bajo siembra directa y fertilizados presentan irregular distribución del fertilizante en superficie y profundidad; por lo tanto, se deben omitir las bandas de fertilización.

Anexo 2:

Planilla de Cálculo de Requerimientos y Extracción de Nutrientes, IPNI Cono Sur, Marzo 2007

(<http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf>).



| Nutriente | Requerimiento o Necesidad Kg/ton | Extracción Kg/ton |
|----------------|----------------------------------|-------------------|
| Maíz | | |
| N | 22 | 15 |
| P | 4 | 3 |
| K | 19 | 4 |
| Ca | 3 | 0,2 |
| Mg | 3 | 2 |
| S | 4 | 1,5 |
| Trigo | | |
| N | 30 | 21 |
| P | 5 | 4 |
| K | 19 | 4 |
| Ca | 3 | 0,4 |
| Mg | 4 | 3 |
| S | 5 | 2 |
| Soja | | |
| N | 75 | 55 |
| P | 7 | 6 |
| K | 39 | 19 |
| Ca | 16 | 3 |
| Mg | 9 | 4 |
| S | 4 | 3 |
| Girasol | | |
| N | 36 | 22 |
| P | 10 | 6 |
| K | 26 | 5 |
| Ca | 16 | 1 |
| Mg | 10 | 3 |
| S | 4,5 | 2 |
| Alfalfa | | |
| N | 27 | 41 |
| P | 2,5 | 4 |
| K | 21 | 32 |
| Ca | 12 | 18 |
| Mg | 3 | 5 |
| S | 3,5 | 5 |

Referencia: Ciampitti I. y F. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas No. 33. Archivo Agronómico No. 11. pp. 1-4. IPNI Cono Sur. Buenos Aires.



b. Propiedades físicas como indicadores de suelos

La estructura física del suelo

Las propiedades físicas del suelo están ligadas a la textura o composición elemental, y a la estructura o forma de organización de las partículas en agregados.

Una manera efectiva de entender el funcionamiento físico del suelo es centrando la atención en su estructura ya que la misma, por su naturaleza porosa, impacta directamente sobre el balance de agua (entradas y salidas del sistema), y su dinámica (relaciones agua planta), en la entrada y difusión de gases y de calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. Además de todas las propiedades del suelo, la porosidad es tal vez la más fácil, frecuente y ampliamente alterada por las operaciones de labranza o de manejo sin laboreo.

En términos generales, el 50 % del volumen de un suelo agrícola lo constituye la fase sólida, formada predominantemente por partículas minerales (arena, limo y arcilla) y una pequeña porción de materiales orgánicos. El otro 50 % del volumen está representado por poros de distintos tamaños, ocupados por agua o por aire.

Desde el punto de vista agronómico, la distribución de tamaños de los poros no sólo incide sobre la cantidad de agua que puede retener el suelo, sino que además regula la energía con que la misma es retenida y el movimiento dentro del perfil y hacia la planta.

Las características que se ponen en juego cuando se analiza el funcionamiento del sistema poroso son su geometría y su estabilidad.

Estas características son altamente modificables por la labranza o por los sistemas de no laboreo (siembra directa), destacándose sobre todo en esta última, la actividad biológica. Generalmente, los bioporos de canales de lombrices, insectos de suelos en general y raíces son más continuos, menos tortuosos y más estables que los macroporos creados por la labranza, resultando los primeros más efectivos para el movimiento del agua y del aire y para el crecimiento de nuevas raíces.

Antes de considerar cualquier metodología para el diagnóstico del funcionamiento físico del suelo, es conveniente recordar que los sistemas de flujo de los suelos están condicionados por un patrón natural que define a estos como medios esencialmente heterogéneos y anisótropos. En la práctica, llegar a medir este patrón natural no resulta sencillo, aunque con el uso de ciertas metodologías se pueden alcanzar aproximaciones con un alto grado de confiabilidad con fines de diagnóstico.

Parámetros físicos tales como la Textura, la Densidad Aparente (y su derivada: la Porosidad Total), la Capacidad de Almacenaje de Agua, la Infiltración, la Resistencia Mecánica y la Profundidad Efectiva, considerados aisladamente, si bien aportan bastante información, no siempre son suficientes cuando se desea efectuar un diagnóstico funcional. Pero éstos, analizados integralmente, resultan muy útiles para estudiar y explicar los estados físicos del suelo y sus efectos en el continuum suelo-planta.

Para que un suelo tenga óptimas condiciones de funcionamiento para el desarrollo de las plantas, debería presentar una estructura estable capaz de permitirle al vegetal la expresión de su potencial de crecimiento, sobre todo del sistema de raíces, sin impedimentos para la exploración del mayor volumen de suelo posible. Ello implica:

- Condiciones de superficie con buena estabilidad de agregados para una correcta entrada y circulación de agua y aire, y transferencia de calor en el suelo.
- Buena capacidad de almacenaje de agua y libre movimiento de la solución agua más nutrientes, desde el suelo a la raíz
- Ausencia de limitaciones, ya sean genéticas (naturales) o inducidas, en la profundidad del suelo para el desarrollo de raíces.



1 Textura

La textura es una expresión que sintetiza las características del suelo en función del tamaño de las partículas. Si bien, se dispone de distintas técnicas de laboratorio para determinar los porcentajes de los tamaños de partículas que componen una muestra de suelo, con frecuencia es necesario conocer en el campo, y con suficiente rapidez, la clase textural de un suelo. Con la práctica se gana experiencia en esta prueba, llegando a coincidir con las clasificaciones por tipo de texturas obtenidas en laboratorio.

El manejo no puede alterar este parámetro edáfico, pero sí debe conocerse ya que el mismo definirá en gran medida diferentes características, como ser la capacidad de acumulación total del agua y el movimiento de la misma en la matriz del suelo. Por lo tanto, no existen umbrales para las clases texturales, pero sí para las características de funcionamiento físico en función de dicha textura.

Un procedimiento para la determinación de la textura al tacto, se describe en el Anexo 1 A.

2 Densidad de suelo: real y aparente

En el estudio de los suelos se distinguen dos tipos de densidad: la densidad real (o de las partículas) que corresponde a la densidad de la fase sólida del suelo, y la densidad aparente que incluye el volumen que ocupan dichas partículas, más el volumen vacío de los poros en la masa de suelo. En suelos estructurados, los poros se disponen mayormente entre los planos de ruptura de los agregados formados por el conglomerado de las partículas minerales.

La densidad aparente no sólo constituye un indicador útil para evaluar los efectos del manejo sobre el suelo, sino que es necesario para referir los datos de los análisis de laboratorio a un volumen o masa de suelo en condiciones de campo (por ejemplo: para la determinación del stock de materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno; para el cálculo de la lámina de agua hasta una profundidad dada y para estimar la porosidad total).

Densidad real o de partícula (Dp)

En general, para la mayoría de los suelos agrícolas, se pueden considerar valores de densidad de partículas minerales entre 2,5 y 2,7 g/cm³; aunque para los suelos de la región pampeana se citan valores inferiores, cercanos a 2,45 g/cm³. La materia orgánica presenta valores de densidad real cercanos a 0,20 g/cm³.

Densidad aparente (Dap)

Se refiere a la relación entre la masa seca de una porción de suelo (muestra) y el volumen que ocupó dicha muestra en el campo, con su ordenamiento natural. La Dap variará básicamente en función de la textura, del estado de agregación, del contenido de materia orgánica y del contenido de humedad (sobre todo en suelos con materiales expansibles); por lo tanto, el manejo que recibió el suelo afectará su expresión. La Dap se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$[Dap \text{ (g/cm}^3\text{)} = \text{masa (g de suelo seco)} / \text{volumen (cm}^3\text{)}]$$

El muestreo puede efectuarse con anillos de tamaño variable, pero teniendo en cuenta que la muestra sea lo suficientemente grande para que se incluya adecuadamente el desarrollo estructural secundario y terciario del suelo, de modo que quede representado también el espacio poroso que se halla entre las unidades estructurales. Para evitar la compactación de la muestra, es conveniente que la relación diámetro/altura sea mayor a 1 (Tabla 1); y el espesor de pared lo más delgado posible, de tal manera que la relación de áreas sea menor al 10 %. La relación de áreas (r.a) puede obtenerse de la siguiente manera:

$$r.a. = (A - a) / A$$

Donde: "A" es la superficie externa en cm² y "a" la superficie interna del cilindro en cm².

Tabla 1. Medidas orientativas del anillo para la determinación de la densidad aparente.

| Volumen (cm ³) | Diámetro (d) (cm) | Altura (a) (cm) | Relación d/h | Pared máxima (mm) |
|----------------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------------|
| 628,32 | 10,0 | 8 | 1,25 | < 3 |
| 265,07 | 7,5 | 6 | 1,25 | < 2 |



El extremo por donde se introducirá el anillo debe estar biselado y afilado y en el otro extremo es conveniente adosar un sobre-anillo desmontable para evitar compactación en la operación de clavado.

Es conveniente hacer el muestreo con el suelo húmedo, en lo posible en capacidad de campo. Esto cobra especial importancia en aquellos suelos con niveles de arcillas que provocan variación de volumen con el contenido de humedad (como en el caso de los suelos con características vérticas).

También es importante realizar muestreos en la parte superficial y sub-superficial (por ejemplo, separar la medición de los primeros 5-10 cm del resto), a los fines de analizar el impacto que provoca el tipo de manejo sobre esta propiedad del suelo.



El diagnóstico de la Dap se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores orientativos de densidad aparente que caracterizan a suelos normales, densos y compactos, según sus texturas, con niveles de materia orgánica aceptables.

TABLA 2

| Textura | Distribución de partículas | | | Diagnóstico | | |
|--------------------------|----------------------------|---------|------|-------------------------------|-------|----------|
| | Arena | Arcilla | Limo | Normal | Denso | Compacto |
| | _____ % _____ | | | _____ g/cm ³ _____ | | |
| Arenoso | 90 | 5 | 5 | < 1,50 | 1,65 | > 1,75 |
| Arenoso - Franco | 80 | 7 | 13 | < 1,40 | 1,52 | > 1,66 |
| Franco - Arenoso | 65 | 10 | 25 | < 1,40 | 1,52 | > 1,68 |
| Franco arcillo - arenoso | 60 | 30 | 10 | < 1,39 | 1,55 | > 1,70 |
| Arcillo - arenoso | 50 | 40 | 10 | < 1,39 | 1,54 | > 1,60 |
| Franco | 40 | 20 | 40 | < 1,30 | 1,50 | > 1,50 |
| Franco Arcilloso | 33 | 33 | 34 | < 1,30 | 1,47 | > 1,50 |
| Franco Limoso | 20 | 15 | 65 | < 1,30 | 1,45 | > 1,50 |
| Limoso | 8 | 7 | 85 | < 1,30 | 1,45 | > 1,50 |
| Franco arcillo limoso | 10 | 33 | 57 | < 1,30 | 1,36 | > 1,50 |
| Arcillo Limoso | 7 | 47 | 46 | < 1,35 | 1,38 | > 1,50 |
| Arcilloso | 25 | 50 | 25 | < 1,40 | 1,40 | > 1,50 |

Fuente: Adaptado de USDA-NRCS. Soil Quality Institute y Keith E. Saxton. USDA - Agricultural Research Service.

3 Porosidad Total (PT)

Puede estimarse a partir del contenido de Humedad volumétrica en Saturación o calcularse a partir de la Dap con la siguiente ecuación:

$$PT (\%) = (1 - Dap / Dp) \times 100$$

y asumiendo que Dp es aproximadamente 2,5 g/cm³,

$$PT (\%) = (1 - Dap / 2,5) \times 100$$

El diagnóstico de la PT se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles de Porosidad Total (PT) en suelos de distintas texturas, para valores normales de Densidad Aparente (Dap).

TABLA 3

| Textura | Distribución de partículas | | | Diagnóstico | |
|--------------------------|----------------------------|---------|------|-------------------|----|
| | Arena | Arcilla | Limo | Dap | PT |
| | _____ % _____ | | | g/cm ³ | PT |
| Arenoso | 90 | 5 | 5 | 1,50 | 40 |
| Arenoso - Franco | 80 | 7 | 13 | 1,40 | 44 |
| Franco - Arenoso | 65 | 10 | 25 | 1,40 | 44 |
| Franco arcillo - arenoso | 60 | 30 | 10 | 1,40 | 44 |
| Arcillo - arenoso | 50 | 40 | 10 | 1,39 | 44 |
| Franco | 40 | 20 | 40 | 1,33 | 50 |
| Franco Arcilloso | 33 | 33 | 34 | 1,30 | 51 |
| Franco Limoso | 20 | 15 | 65 | 1,30 | 51 |
| Limoso | 8 | 7 | 85 | 1,30 | 51 |
| Franco arcillo limoso | 10 | 33 | 57 | 1,30 | 51 |
| Arcillo Limoso | 7 | 47 | 46 | 1,35 | 46 |
| Arcilloso | 25 | 50 | 25 | 1,40 | 44 |

Fuente: Adaptado de Keith E. Saxton. USDA - Agricultural Research Service.



4 Porosidad de aireación (Pa)

En el suelo, dentro del volumen total de poros, los más pequeños (microporos) retienen el agua con la suficiente energía como para poder almacenarla. Por el contrario, los de mayor tamaño (macroporos) la retienen con menor energía posibilitando su vaciado parcial o total y el correspondiente reemplazo por aire. Si bien no existe un límite claramente definido, se puede pensar que la capacidad de almacenaje de un suelo o capacidad de campo está relacionada mayormente con la microporosidad condicionada fuertemente por la textura del suelo. Por el contrario, la capacidad de aireación de un suelo estaría mayormente relacionada con la macroporosidad, condicionada en gran medida por el tipo de estructura (propiedad muy susceptible al tipo de manejo).

En base a este supuesto, una manera sencilla de estimar la porosidad de aireación será restando a la porosidad total, la humedad de capacidad de campo, expresada como humedad volumétrica (HV):

$$Pa (\%) = PT (\%) - HV (cm^3/cm^3)$$

Valores de Pa inferiores al 10% pueden estar ligados a problemas de infiltración reducida, escasa aireación para la actividad biológica del suelo (incluido las raíces) y problemas de desnitrificación, entre otros.

En la **Tabla 4** se presenta la interpretación de diagnóstico de niveles de Pa según diferentes texturas y niveles de Dap.



TABLA 4

| Textura | Distribución de partículas | | | Diagnóstico | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------|------|-------------------|----|----------------------------------|----|
| | Arena | Arcilla | Limo | Dap | PT | HV | Pa |
| | _____ % _____ | | | g/cm ³ | % | cm ³ /cm ³ | % |
| Arenoso | 90 | 5 | 5 | 1,50 | 43 | 10 | 33 |
| Arenoso - Franco | 80 | 7 | 13 | 1,40 | 47 | 13 | 34 |
| Franco - Arenoso | 65 | 10 | 25 | 1,40 | 47 | 18 | 30 |
| Franco arcillo - arenoso | 60 | 30 | 10 | 1,40 | 47 | 29 | 19 |
| Arcillo - arenoso | 50 | 40 | 10 | 1,39 | 48 | 35 | 13 |
| Franco | 40 | 20 | 40 | 1,33 | 50 | 27 | 23 |
| Franco Arcilloso | 33 | 33 | 34 | 1,30 | 51 | 34 | 17 |
| Franco Limoso | 20 | 15 | 65 | 1,30 | 51 | 30 | 21 |
| Limoso | 8 | 7 | 85 | 1,30 | 51 | 31 | 20 |
| Franco arcillo limoso | 10 | 33 | 57 | 1,30 | 51 | 37 | 14 |
| Arcillo Limoso | 7 | 47 | 46 | 1,35 | 49 | 40 | 9 |
| Arcilloso | 25 | 50 | 25 | 1,40 | 47 | 40 | 7 |

Fuente: Adaptado de Keith E. Saxton. USDA - Agricultural Research Service

5 Infiltración

Se refiere a la entrada del agua al perfil del suelo a través de la superficie del mismo. Este proceso es controlado por muchos factores, de los cuales uno de los más importantes es la estructura de la superficie y su macroporosidad, además del contenido inicial de agua del suelo.

Cuando el suelo está seco, la tasa de infiltración inicial es alta debido a la capacidad del suelo de absorber agua (dependiendo de la textura), pero a medida que transcurre el tiempo, la velocidad de infiltración alcanza una tasa mínima, constante o "estacionaria", a menudo llamada Infiltración básica. Esta se relaciona con los poros de mayor tamaño, que permiten el libre movimiento del agua, y por lo tanto, constituye un indicador interesante para relacionarlo con la macroporosidad, que es afectada de manera significativa por el manejo.

El procedimiento para la determinación de infiltración se describe en el Anexo 1 B, y los niveles críticos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Niveles de infiltración esperables en suelos de distinta textura, para condiciones contrastantes de materia orgánica.

TABLA 5

| Textura | Distribución de partículas | | | Diagnóstico | |
|--------------------------|----------------------------|---------|------|---------------------|--------|
| | Arena | Arcilla | Limo | Infiltración Básica | |
| | _____ % _____ | | | mm/hora | |
| | | | | 1,5% MO* | 3% MO* |
| Arenoso | 90 | 5 | 5 | 133,0 | 137,0 |
| Arenoso - Franco | 80 | 7 | 13 | 97 | 105,0 |
| Franco - Arenoso | 65 | 10 | 25 | 60,0 | 70,0 |
| Franco arcillo - arenoso | 60 | 30 | 10 | 9,0 | 11,0 |
| Arcillo - arenoso | 50 | 40 | 10 | 2,8 | 3,2 |
| Franco | 40 | 20 | 40 | 18,0 | 25,0 |
| Franco Arcilloso | 33 | 33 | 34 | 6,8 | 9,5 |
| Franco Limoso | 20 | 15 | 65 | 16,0 | 27,0 |
| Limoso | 8 | 7 | 85 | 17,0 | 30,0 |
| Franco arcillo limoso | 10 | 33 | 57 | 7,0 | 12,0 |
| Arcillo Limoso | 7 | 47 | 46 | 4,5 | 7,0 |
| Arcilloso | 25 | 50 | 25 | 2,0 | 2,5 |

*MO: Materia Orgánica.

Fuente: Adaptado de Keith E. Saxton. USDA - Agricultural Research Service.

El método del anillo puede ser reemplazado por otros tales como el del Permeámetro de Disco, siguiendo las instrucciones que provee el equipo.



6 Cobertura de la superficie del suelo

La cobertura de la superficie del suelo por las plantas y por determinado volumen de residuos de cosecha (rastros) proporcionan beneficios significativos para controlar la erosión hídrica y eólica, mejorar el aprovechamiento del agua de lluvia y/o riego por mayor infiltración y menor evaporación y escurrimiento; además de incidir positivamente el reciclado de nutrientes, en la actividad biológica y rizósfera del sistema suelo-cultivo.

El procedimiento para la determinación de la cobertura del suelo y volumen de los rastros se describe en el Anexo 1 C, y los niveles críticos de cobertura se presentan en la Tabla 6.

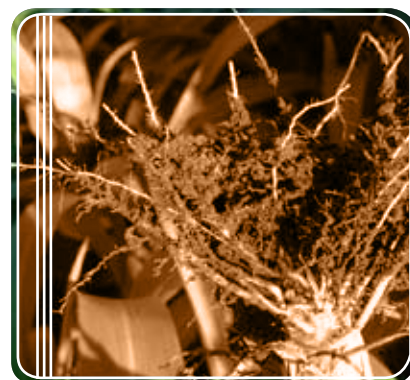


Tabla 6. Diagnóstico de los niveles de cobertura de suelo a la siembra del cultivo.

TABLA 6

| Nivel de Cobertura % | Descripción | Diagnóstico |
|----------------------|---|---------------|
| 10 | Superficie sin cobertura de residuos | Suelo Desnudo |
| 30 | Superficie Cubierta pobremente por los residuos | Pobre |
| 50 | Superficie Cubierta parcialmente por los residuos | Moderada |
| 80 | Superficie cubierta casi completamente por los residuos | Buena |

Fuente: INAFOR-INTA-FAO. Evaluación visual del suelo (EVS). Guía de Campo. Proyecto TCP/NIC/3001.

Los rastros protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia. Hay que considerar que la energía almacenada en cada gota se descarga sobre los residuos, en lugar de hacerlo directamente sobre la superficie del suelo. Si ocurre este último fenómeno, los agregados superficiales estallan, diseminándose sus partículas constitutivas.

Esas partículas se depositarán dentro de los poros del suelo, formándose una pequeña lámina prácticamente impermeable, lo cual disminuye notoriamente la infiltración, generando un fenómeno denominado "planchado" o "sellado" del suelo. Así por ejemplo, en sistemas que mantienen los residuos de cosecha en superficie como la siembra directa al aumentar significativamente la protección de la superficie, la infiltración se ve favorecida comparado con suelos manejados en labranza convencional.

Por otro lado, la presencia de rastros en superficie disminuye el escurrimiento del agua, es decir que los riesgos de erosión hídrica son menores. A su vez, ello hace posible que más agua infiltre y menos se pierda hacia zonas bajas del relieve, homogeneizando el humedecimiento del perfil en distintas posiciones del relieve. Finalmente, la cobertura minimiza las pérdidas de agua por evaporación directa, por lo que el agua que se encuentra almacenada será aprovechada mayoritariamente por el cultivo que en ese momento se esté desarrollando.



Comentarios Finales

La presencia de laboreos altera el ordenamiento natural de la estructura, rompiendo a su vez la continuidad del espacio poroso. En siembra directa (SD), al no realizarse remociones superficiales, se mantiene la red de poros semejante a lo que sería una situación natural. Un suelo en SD continua y con rotaciones que incluyan diferentes sistemas radiculares permitirán tener una estructura más esponjosa, con una red de poros estables, continuos e interrelacionados. En consecuencia, el suelo podrá captar más agua para almacenarla, cedérsela al cultivo, y ser más eficiente en la utilización de este recurso generalmente limitante en la producción agropecuaria de secano. Además, permitirá la circulación de aire, agua y nutrientes, y favorecerá el desarrollo de las raíces de los cultivos. Todo ello genera un ambiente edáfico que permite un óptimo desarrollo de comunidades de microorganismos responsables de las transformaciones bioquímicas del suelo que permiten que muchos nutrientes queden disponibles para las plantas.

Bibliografía

INAFOR-INTA-FAO. Evaluación visual del suelo (EVS). Guía de Campo. Proyecto TCP/NIC/3001

Merrington, G. 2006. The development and use of soil quality indicators for assessing the role of soil in environmental interactions. Science Report SC030265. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD

Saxton, K.E. y P.H. Willey. 2004. Agricultural Wetland and Pond Hydrologic Analyses Using the SPAW model. Proc. Self-Sustaining Solutions for Streams, watersheds and Wetlands Conf., Amer. Soc. Agric. Engr., Sept. 12-15, 2004, St. Paul, MN.

Saxton, K.E. y W.J. Rawls. 2004. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. International Conference, Seattle, WA Nov. 1-3, 2004.

USDA. 1999. Soil Quality Test Kit Guide. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura. Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos. Agosto, 1999. Traducción al Español Realizada por los investigadores: Alberto Lutens, Juan Carlos Salazar Lea Plaza del "Área de Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras" Instituto de Suelos. CRN – CNIA – INTA. ARGENTINA. 2000. 82 p.





Anexo 1:

Procedimientos para las determinaciones físicas

A. Textura.

La determinación de la textura de un suelo puede realizarse en laboratorio, sin embargo, existen métodos alternativos para realizar dicha determinación a campo.

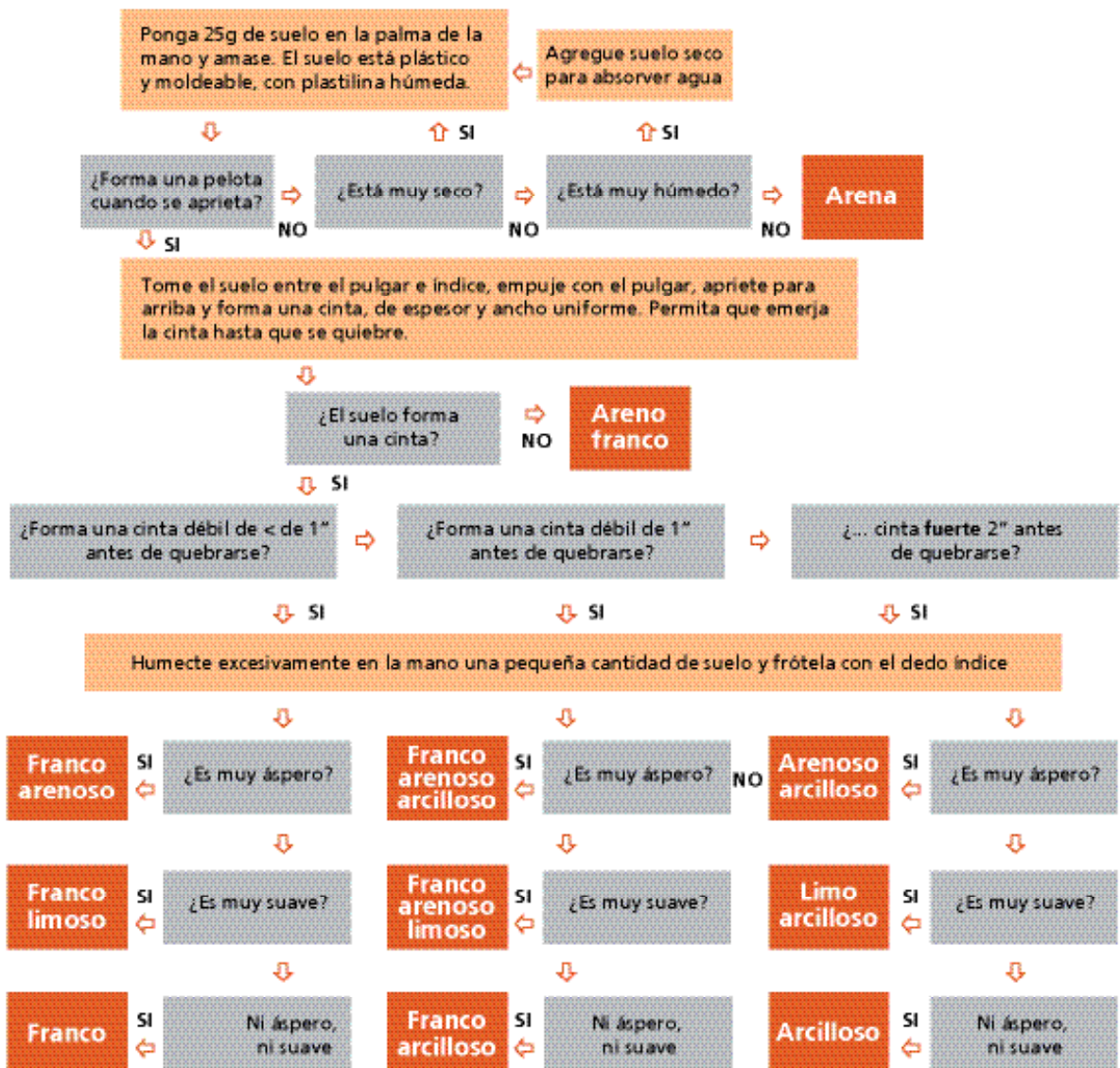
Elementos necesarios:

- Piceta
- Muestras de suelo

Procedimiento:

1. Tome una porción de suelo molido de aproximadamente 25 g.
2. Humedézcalo hasta formar una masa coherente.
3. Amásela en la palma de la mano hasta tener la sensación de que dicha muestra de suelo ya no le humedece la mano.
4. Presione fuertemente la masa de suelo sobre el pulgar con el índice de la misma mano, de modo que se forme una cinta sobre la yema del pulgar, la cual queda horizontalmente hacia arriba.

Evalúela de acuerdo a las siguientes directrices:



B. Infiltración

Elementos necesarios:

- Anillo de 15 a 20 cm de diámetro por 8 cm de altura con borde inferior afilado
- Envoltura plástica
- Botella plástica o cilindro graduado de 500 ml.
- Agua potable
- Cronómetro o programador de horario

Procedimiento:

Introducir el anillo unos 2-3 cm en el suelo, colocar un film de polietileno cubriendo su interior y agregar una lámina de agua de 30 mm de altura. Retirar el film al instante que se comienza a medir el tiempo que tarda en infiltrar la lámina de agua completa (la superficie del suelo queda con brillo). Repetir esta operación hasta que los valores se hagan constantes; registrando el último. Es conveniente repetir la medición en al menos 10 sitios diferentes, promediando a un valor final que será registrado.

C. Cobertura de la superficie del suelo

La determinación del % COBERTURA se hará con el método intersección de una soga con 100 cuentas, haciendo al menos 4 repeticiones por UM y promediando.

Para medir el porcentaje de suelo cubierto por residuos se usa una cuerda de diez metros dividida en cien partes, haciendo una marca o nudo cada 10 cm.

Extienda la cuerda en diagonal a la línea de los surcos, cuente el número de marcas o nudos que tienen residuo mayor a 3 mm debajo del mismo, cuando se lo mira verticalmente desde arriba. Camine todo, el largo de la cuerda, el total de marcas con residuos debajo de los mismos es el porcentaje de cobertura del lote.

Esta determinación debe realizarse al momento de la siembra, y repetir el procedimiento al menos 5 veces en diferentes partes del lote para obtener un promedio de las evaluaciones.





c. La dinámica de acumulación de Carbono como un indicador de gestión

La Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS), es el producto de las transformaciones parciales o totales de los restos orgánicos aportados por distintas vías: residuos vegetales (raíces, partes aérea de la plantas, secreciones de las raíces, compuestos solubles que se lavan de los residuos en superficie), residuos animales (cadáveres y deyecciones), y de la biomasa microbiana; hasta llegar a la síntesis de sustancias orgánicas complejas (en las cuales ya no quedan vestigios visibles de los tejidos o células originales), conocidas éstas como humus. Mientras que los restos orgánicos cambian en cantidad y se transforman rápidamente en períodos cortos (meses), el humus lo hace en períodos de años, décadas y hasta siglos; de ahí que para caracterizar e interpretar la MOS, estos componentes se analizan en forma separada.

La MOS entendida como humus, se compone aproximadamente de un 55 a 58 % de carbono (C), 40 % de oxígeno (O), 3 a 5 % de hidrógeno (H) y 3 a 5 % de nitrógeno y demás elementos (N, P, S, Mg, etc.), que constituyen los compuestos orgánicos. La MOS contiene casi la totalidad del nitrógeno del suelo, entre el 95 y 98%, (valor indicado en los análisis de suelo como Nitrógeno Total).

Efecto de la MOS sobre las propiedades del suelo

- Participa en la formación de la estructura, tanto uniendo la partículas elementales del suelo (arcillas, limos y arenas) para formar agregados, como en la unión entre los propios agregados.
- Aumenta su estabilidad estructural ante la acción de agentes externos como el agua y el viento disminuyendo la erosión.
- Aumenta la retención hídrica.
- Disminuye la formación de costras superficiales.
- Disminuye la susceptibilidad a la compactación.
- Equilibra el sistema poroso, con una mejor distribución de tamaños de poros.
- Aumenta la velocidad de infiltración.
- Atenúa las fluctuaciones de temperatura.
- Aumenta la capacidad de retener cationes.
- Aumenta la capacidad para regular el pH del suelo.
- Es fuente de nutrientes para los vegetales; interviene en el ciclo de la mayoría de los macro y micronutrientes.
- Es la fuente de Carbono y nutrientes para los procesos microbianos.
- Otra acción de importancia que se está estudiando bastante en la actualidad es la posibilidad de "neutralizar" compuestos potencialmente peligrosos mediante formación de complejos.

Efectos de los rastrojos sobre el suelo

- Son la materia prima necesaria para la formación del humus del suelo.
- Son el sustrato que sostiene la actividad de los microorganismos.
- Disminuyen la tasa de mineralización del humus.
- Evitan el impacto directo de la lluvia sobre el suelo, aumentando su infiltración.
- Reducen el escurrimiento superficial.
- Disminuyen el efecto del viento sobre la superficie del suelo.
- Regulan la temperatura del suelo, evitando los cambios bruscos.
- Reducen la evaporación.
- Disminuyen la compactación por el tránsito de máquinas y pisoteo animal, redistribuyendo las cargas.

Factores que regulan los niveles de la MOS

En un sistema natural sin disturbio, la cantidad de MOS es prácticamente constante en el tiempo debido a que se genera un equilibrio entre los ingresos de materia orgánica fresca que se humifica y las salidas por la mineralización lenta del humus. Una alteración del estado de equilibrio lleva a una modificación en los procesos de humificación y mineralización. Así, por ejemplo, si se incrementa la tasa de mineralización lenta a causa del laboreo, se induce a una caída en los niveles de humus estable del suelo. Si lo que se altera es la cantidad de los aportes de material orgánico fresco (extracción o quema de material orgánico, bajos rendimientos, bajo aporte de rastrojos, etc.), también conducirá a una disminución de la MOS.



El proceso de síntesis y descomposición de la MOS es regulado por aquellos factores que controlan la actividad de los microorganismos: la temperatura, la humedad y la aireación; también la textura del suelo, el pH, la fertilidad, la ubicación de los residuos, la cantidad y calidad de los mismos y el sistema de manejo.

Tabla 1. Rangos potenciales de materia orgánica del suelo (MOS %) en función de variaciones de arcilla y precipitaciones (Verheijen et al., 2005). Según características texturales de los suelos.

| Contenido de arcilla | Precipitación media anual | | | MOS |
|----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| (%) mm/año | <650 mm/año | 650 a 800 mm/año | 800 a 1100 mm/año | Pastura Permanente |
| 0 a 10 | 1,9 | 2,1 | 3,6 | 4,5 |
| 10 a 20 | 2,6 | 3,3 | 4,1 | 5,7 |
| 20 a 30 | 3,3 | 4,3 | 4,7 | 6,6 |
| 30 a 40 | 4,1 | 4,3 | 5,9 | 6,6 |
| 40 a 50 | 4,8 | 5,9 | 6,9 | 8,3 |

En Argentina, Álvarez y Lavado (1998) verificaron en la Región Pampeana y Chaqueña, aumentos en los niveles de carbono del suelo (o de MOS) a mayor índice climático (IC= precipitación / temperatura). Las variaciones en los niveles de MOS estuvieron explicados por los aportes de carbono provenientes de la mayor productividad primaria neta en los ambientes con mayor IC (índice de cosecha).

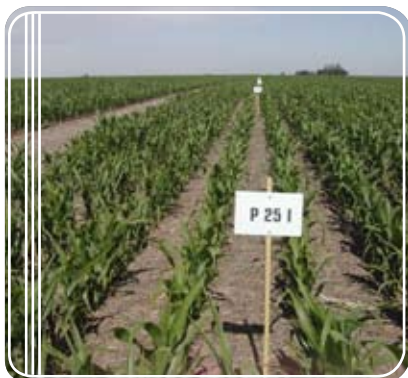
Varios autores en la región semiárida pampeana, pampa arenosa y pampa ondulada atribuyeron el aumento de la MOS en texturas más finas (limo + arcilla) a un efecto protector sobre la degradación microbiana, y a la mayor disponibilidad de agua para más producción de biomasa.

La mayoría de los suelos agrícolas de Argentina actualmente no superan el 4%, con excepciones de valores cercanos al 9 % en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Efecto de las prácticas agrícolas sobre la MOS.

Existen tres formas básicas para modificar los niveles de la MOS:

a) Alterando los ingresos de residuos orgánicos. La introducción de la agricultura convencional y el monocultivo llevó inevitablemente a la pérdida del carbono del suelo por disminución de los ingresos respecto de los



egresos. La intensificación de cultivos, rotaciones de cultivos con gran masa de residuos, la incorporación de leguminosas y de pasturas al sistema de producción, la fertilización, entre otras, constituyen herramientas vitales para mantener un balance equilibrado de la MOS.

b) Alterando la velocidad de mineralización. La labranza es uno de los factores más significativos que contribuye al aumento de la tasa de mineralización. El manejo de los rastrojos en superficie, y la siembra directa favorecen significativamente la disminución de la tasa de descomposición de la MOS.

c) Evitando la erosión. El movimiento de las capas superficiales del suelo desnudo por erosión, se traduce en pérdida de Materia Orgánica (MO). Los niveles de pérdida por esta vía pueden ser significativamente más elevados que por la simple descomposición, y de manera acelerada dependiendo del grado de erosión. El mantenimiento de restos orgánicos en superficie evitará el desplazamiento de agua arrastrando suelo con MO. En suelos del SO Bonaerense, se ha observado que la pérdida de MO debida a la erosión fue mayor que la pérdida por aumento de la velocidad de mineralización.

La magnitud de los incrementos en la MOS asociados a la aplicación de siembra directa depende de los niveles de carbono iniciales. Álvarez y Steinbach (2006), en suelos de la región pampeana, encontraron que con bajos niveles de MOS, son esperables aumentos de hasta un 15 %, mientras que suelos ricos en MOS alcanzarían aumentos de sólo 5%. La mayor tasa de cambio se verificó entre los 4 y 9 años de iniciada la siembra directa.

Procedimiento de uso del Carbono como indicador

Normalmente, los laboratorios entregan los valores de carbono orgánico fácilmente oxidable obtenido por la metodología de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982), que debe ser transformado en carbono total afectándolo por un factor de conversión. Sin embargo, algunos laboratorios pueden brindar el valor de carbono orgánico total obtenido directamente por combustión seca (siendo éste de mayor costo). Luego, la cantidad de materia orgánica puede estimarse con algún nivel de aproximación para los suelos pampeanos multiplicando el valor de carbono orgánico total por 1,72.

En la pampa arenosa y en la región semiárida se verificó esta relación para el trigo, donde contenidos de MO inferiores a 70 Mg/ha en los primeros 20 cm limitarían su rendimiento en sitios no fertilizados (Díaz Zorita et al., 1999 y 2002), lo cual fue asociado a los bajos niveles de MO de estos suelos que provocaría una limitante en la disponibilidad de N. Sin embargo, este comportamiento no se sostiene para la región pampeana más húmeda ni sobre otros cultivos.

Luego de un análisis, Álvarez y Steinbach (2006) concluyen que no son esperables relaciones directas entre el contenido de MO del suelo y los rendimientos de los cultivos debido al efecto combinado de factores que lo controlan.

Es importante destacar, que para períodos de tiempo reducidos, la medición de carbono orgánico total o fácilmente oxidable no es lo suficientemente sensible para detectar cambios que probablemente ya se estén produciendo en el suelo; no así para revelar variaciones en el mediano y largo plazo.

En el corto plazo, si bien se encuentra en proceso de validación, la dinámica del carbono en el perfil del suelo aparece como una alternativa interesante para relacionar la condición de la MOS con las prácticas de manejo que se aplican.

La dinámica de acumulación de la materia orgánica con la profundidad, que es común en muchos ecosistemas naturales, pasturas y bosques, lo es también en suelos degradados que son recuperados (en distinta escala) por medio de formas conservacionistas de labranza o siembra directa. Franzluebbers (2002) concluye que la dinámica de acumulación puede ser usada como un indicador de calidad de suelos o, de funcionamiento del ecosistema suelo, y propone como objetivo desarrollar este indicador para detectar cambios inducidos por el manejo en la calidad del suelo.

Moraes Sá et al., (2007) por su parte, también sugieren la utilización de un indicador de calidad de suelos basado en la relación de dinámica de acumulación del carbono a 0 a 5 cm y a 0 a 20 cm (Índice de Moraes Sá). Utilizando como base estas referencias (Franzluebbers, 2002; y Moraes Sá et al., 2007), se utilizará como indicador la dinámica de acumulación de C.



Procedimiento de cálculo del DAC (Dinámica de Acumulación de Carbono)

Para el cálculo de este DAC se propone una metodología basada en la extracción de dos muestras apareadas, a 0 a 5 cm y 0 a 20 cm de profundidad, con una separación entre ellas de 10 cm. En cada situación de análisis (tipo de suelo) se deberá verificar que no se mezclen horizontes genéticos. Se deben retirar un mínimo de 20 sub-muestras apareadas en un lote para hacer una muestra compuesta 0-5 cm y 0-20 cm. (Figura 1 y 2). El barreno debe ser retirado cuidadosamente sin perturbar la estructura que se reorganizó en la superficie del suelo. El intervalo de muestreo debe ser de 1 año. El tiempo cero (T0) será la referencia y el tiempo 1 (T1), 2, 3, etc. los años posteriores a la referencia.

Por ejemplo, si en el T0, la relación es de 1,46, y en el T1, la relación es de 1,63, indica que hubo un incremento en el C superficial respecto del subsuperficial de 0,169 o de 11.57 %.

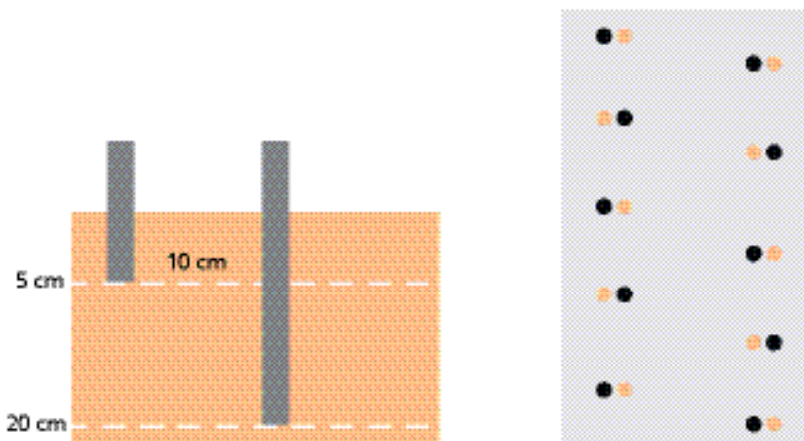


Figura 1 y 2: muestreo. Puntos en rojo 0-5 cm y puntos negros 0-20 cm.

Los muestreos (monitoreo) deberán realizarse en parcelas georreferenciadas con una superficie entre 100 y 200 m² a efectos de controlar la variabilidad.

Los muestreos de CO deberán estar acompañados de determinaciones de densidad aparente del suelo para verificar que las comparaciones del Stock de CO se realiza sobre masas de suelo constantes. A efectos comparativos adicionales se deben establecer áreas de referencia o línea base sobre las cuales se realizarán determinaciones de concentración y stock de CO en los espesores 0-5 cm y 0-20 cm. Las correcciones por masa de suelo, si fuera necesario realizarlas, deben tener como referencia la masa determinada en la línea base.

Interpretación de los resultados del DAC

Los resultados permiten conocer la evolución en el tiempo del C en el sistema de producción.

- El aumento en el C en el espesor 0 a 20 cm indica que el sistema está acumulando carbono oriundo de la parte aérea y de las raíces.
- Si el aumento en el contenido de C en la profundidad 0 a 5 cm en el T1 es superior al contenido de C en la profundidad 0 a 20 cm, esto sugiere una mayor participación de la parte aérea. Esto significa que el porcentaje de acumulación en la capa 0 a 5 cm fue mayor que en capas profundas ("estratificación").
- Si el aumento en el contenido de C en la profundidad 0 a 20 en T1 fue superior al contenido de C en la profundidad 0 a 5 cm, esto indica una mayor participación de raíces.
- Si el aumento fue proporcional en ambas capas, esto indica que tanto la parte aérea como las raíces están contribuyendo para la acumulación de C.



Bibliografía

Andriulo A., y G. Cordone. 1997. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. Panigatti y col. Siembra Directa I. Hemisferio Sur. 65-96.

Angers D.A., R.P. Voroney, y D. Côté. 1995. Dynamics of soil organic matter and corn residues affected by tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1311-1315.

Alvarez R., y H. Steinbach. 2006. Valor agronómico de la materia orgánica. Capítulo 2 Materia Orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Editor: A.J. Pascale. ISBN 950-29-0911-9. 13-27.

Alvarez R., y H. Steinbach. 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. Capítulo 3 Materia Orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Editor: A.J. Pascale. ISBN 950-29-0911-9. 31-54.

Alvarez R., y R.S. Lavado. 1998. Climatic Control of the organic matter of the Pampas and Chaco soil. *Geoderma* 83: 127-141.

Cambardella C.A., y E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.

Chaney K., y R.S. Swift. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soil. *Journal of Soil Science* 35: 23-230.

Dalal R.C., y B.J. Bridge. 1996. Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi arid soil. Carter MR, Stewart BA (Eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils.* Lewis publishers. Boca Raton Florida. 260-307

Díaz-Zorita, M., D.E. Buschiazzo y N. Peinemann. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid argentinean pampas. *Agron. J.* 91: 276-279.

Díaz-Zorita, M., G.A. Duarte y J.H. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.

Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66: 95-106. Gil. R. 2001. Características físico-funcionales del sistema suelo-planta. Curso de capacitación profesional. Instituto de suelos Castelar. INTA.

Galantini, J.A., N. Senesi, G. Brunetti, y R. Rosell. 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid pampean grassland soil of Argentina. *Geoderma* 123 : 143-152

Gil R., y A. Garay. 1999. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón Chile.

Gil R. 1998. Effect of no-tillage on chemical and physical characteristics on soil Argentina. 1st. JIRCAS Seminal on Soybean Research. No tillage cultivation and future research needs.



Gregorich E.G., y H.H. Janzen. 1996. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. Carter MR, Stewart BA (Eds.). Structure and organic matter storage in agricultural soils. Lewis publishers. Boca Raton Florida. 167-192.

Hayes M.H.B. 1991. Advances in our understanding of the composition and structures of soil organic matter. Wilson WS, Gray TRG, Greenslade DJ, Harrison RM, Hayes MHB (Eds.). Advances in soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment. Sección I. Publicación Especial N° 90. Cambridge. 400 p.

Miglierina, A.M., J.O. Iglesias, M.R. Lanadrisini, J.A. Galantini, y R. Rossel. 2000. The effects of crops rotation and fertilization on Wheat productivity in the Pampean Semiarid Region of Argentina I. Soil physical and chemical properties. Soil Till. Res. 53: 129-135.

Nelson, D.W. y L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Page A L (Ed). Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, USA, Agronomy 9, pp. 539-579.

Miglierina AM, Rosell RA. 1995. Humus quantity and quality of an entic Haplustoll under different soil-crop management systems. Commun. Soil Sci. Plant Anan. 26: 3343-335.

Moraes Sá, J.C., R.S. Carli, E.A.P. Antunes, C. Briedis, L. Simon, M.L. Romko, F. Siebert, y L.S. Elias . 2007. Índice de extratificación do C como indicador de qualidade do plantio direto. En: Actas del XV Congreso Nacional de Aapresid.

Quiroga A., O. Ormeño, y N. Peinemann. 2001. Materia orgánica. Un indicador de calidad de suelos relacionado con la calidad de los cultivos. Boletín de divulgación tica N 70 EEA INTA Anguil. La Pampa, Argentina.

Quiroga A.R., D.E. Buschiazzo, y N. Peineman. 1996. Soil Organic matter particle size fractions in soil of the Semiarid Argentinian Pampas. Soil Sci. 161: 104-108.

Rasmussen P.E., y W.J. Parton. 1994. Long-term effects of residue management in wheat-fallow: I. Inputs, yield, and soil organic matter. Soil. Sci. Soc. Am. J. 58: 523-530

Rimolo, M. 2001. Procesos microbiológicos del suelo. Panigati y col (Eds) En: Siembra Directa II. Hemisferio Sur 2001. 117-126.

Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Capítulo 1. The carbon cycle. ISBN 0-471-82218-3. 280p.

Studdert, G.A. y H.E. Echeverría. 2000. Crops rotation and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci Soc. Am. Journal 64:1496-1503.

Tisdall J.M. 1996. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. Carter MR, Stewart BA. (Eds.). Structure and organic matter storage in agricultural soils. Lewis publishers Boca Raton, Florida. 57-96.

Verheijen, F.G.A., P. H. Bellamy, M.G. Kibblewhite, y J.L. Gaunt. 2005. Organic carbon ranges in arable soils of England and Wales. Soil Use and Management, 21, 2-9.

