



West Analítica y Servicios S.A. de C.V.
Esmeralda No. 2847 Colonia Verde Valle
44550 Guadalajara, México
Teléfonos: (33)31231823, 31217925
Portal Web: www.westanalitica.com.mx
Correos: eaquilar@allabs.com maldana@allabs.com
bzuniga@allabs.com mgarcia@allabs.com

Agricultura Razonada®

Serie: Fertilidad del Suelo

LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

-Controles analíticos-

Contenido

1. ANTECEDENTES
2. FUNCIONES ESENCIALES DEL SUELO
3. COMPOSICIÓN DEL SUELO
4. LA AGRICULTURA RAZONADA
5. EL ANÁLISIS QUÍMICO DE FERTILIDAD
6. EL ANÁLISIS FÍSICO DE FERTILIDAD
7. EL ANÁLISIS BIOLÓGICO DEL SUELO

1. ANTECEDENTES

El suelo resulta de la alteración, de la recomposición y de la organización de las capas superiores de la costra terrestre, bajo la acción del agua y de los organismos que ahí se desarrollan. Considerado antaño como el cuarto elemento junto con el fuego, el aire y el agua, el suelo es un componente mayor, insuficientemente conocido, de la biósfera continental. Soporte de las actividades humanas, fuente de explotación y de vida desde hace miles de años, tiene un papel de interface muy importante en todos los fenómenos de intercambio. Es un medio complejo que evoluciona constantemente, más o menos rápidamente, bajo la acción combinada de la atmósfera, de la biósfera y de la hidrósfera. Contiene, en forma durable o transitoria, lo siguiente:

- Productos que resultan de la alteración de la capa mineral superficial de la tierra.
- Materias orgánicas vivas o muertas.
- Sustancias provenientes de la atmósfera.

Según la duración de su evolución (contada en miles de años) bajo la acción de éstos factores el suelo alcanza un grado variable de desarrollo. En consecuencia, constituye un recurso que es renovable muy lentamente a escala humana. La historia de la humanidad está así indisolublemente ligada a los suelos. El actual desafío para la humanidad será el de conservar ésta riqueza, frágil, pero indispensable a la vida.

2. FUNCIONES ESENCIALES DEL SUELO

Ya sea que se considere su papel global en la biósfera, o más precisamente, su relación con las necesidades de los hombres, el suelo asume cuatro funciones esenciales:

Una función biológica. El suelo es el hábitat de una gran variedad de especies animales y vegetales. Además, la mayor parte de los ciclos bio-geoquímicos pasan por el suelo el cual es un elemento que forma parte de numerosos ecosistemas. La diversidad biológica de las especies terrestres está estrechamente ligada a la cobertura edafológica. (La *edafología*, es la ciencia que trata de la naturaleza y condiciones de los suelos, en su relación con los seres vivos).

Una función nutricional. El suelo produce, o contiene, todos los elementos necesarios para la vida. Es un almacén que está a disposición de las plantas y los animales.

Una función de intercambio y filtración. El suelo es un medio poroso. Está atravesado permanentemente por flujos hídricos y gaseosos que intercambian sus componentes minerales y orgánicos con los del suelo. Es igualmente un filtro, un sistema de depuración: las cualidades químicas y biológicas de las aguas se modifican cuando lo atraviesan. El suelo, sistema poroso, es también el lugar de intercambios constantes con la atmósfera.

Una función mecánica. Por último, el suelo es a la vez soporte y material para la construcción y soporte para la vegetación.

A consecuencia de sus actividades, las sociedades humanas influyen muy fuertemente en las dinámicas del suelo y, en consecuencia, en la evolución de los suelos. A corto término, el suelo es un recurso no renovable, por lo que un uso intensivo o no apropiado puede causar graves desequilibrios irreversibles; es decir, la pérdida de un componente esencial de la biósfera.

3. COMPOSICIÓN DEL SUELO

En el suelo se encuentran las tres fases de la materia: La fase sólida, que es la tierra o material terroso, compuesto de materias minerales (45%) y orgánicas (5%). La fase líquida, la solución del suelo (25%); y la fase gaseosa, la atmósfera del suelo (25%). La materia mineral es de tres tipos: limo, arena y arcilla. La proporción en que se encuentran estos tres tipos de partículas determina la textura del suelo. Estos tres tipos de partículas difieren en su tamaño y en su capacidad de retención de nutrientes. La arena forma las partículas más grandes y la arcilla las más finas. La retención de nutrientes se refiere a la capacidad de las partículas del suelo para suministrar nutrientes a las plantas: la arcilla puede retener más nutrientes que la arena y por lo tanto es capaz de liberar más nutrientes para las plantas.

Las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan a la vez en unidades de diferentes tamaños; estos son conocidos como agregados. La forma en la cual las partículas están agrupadas es llamada la estructura del suelo. La Agricultura "de Conservación", que son técnicas para preservar la calidad y productividad de los suelos, (Ver nuestro artículo "*FAO: Agricultura de Conservación*"), no afecta la textura del suelo, pero puede tener influencia sobre la estructura del mismo, la cual es el resultado del agrupamiento de las partículas del suelo, siendo la materia orgánica la que proporciona el material necesario para formar los agregados.

La materia orgánica consiste de partes muertas de animales y plantas. Al descomponerse se forma el humus, el cual une las partículas del suelo en agregados, formándose así la estructura del suelo. La materia orgánica es además una fuente de nutrientes para las plantas. El contenido de materia orgánica de los suelos puede variar considerablemente, dependiendo del material madre y las condiciones climáticas. Los suelos volcánicos, pueden tener más del 20 % de humus. En cambio los suelos no volcánicos usualmente tienen menos del 6-8 % de materia orgánica. Los suelos que han sido arados por un largo tiempo y los suelos tropicales contienen entre 0,5 -1,5 por ciento de materia orgánica.

Los suelos que tienen una adecuada agregación permiten la fácil circulación del aire y el agua, la penetración de las raíces y evitan la formación de costras en su superficie. Además

facilitan un buen contacto entre las semillas y el suelo permitiendo una buena absorción de agua y, por ende, una rápida germinación.

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

La compactación del subsuelo.

La costra superficial.

Estas dos formas de compactación del suelo son inducidas por:

- La excesiva labranza.
- La labranza del suelo durante los periodos húmedos.
- El tráfico excesivo de máquinas.
- Los vehículos con gran peso en los ejes.
- El pisoteo del ganado.

El *encostramiento* superficial es un problema de aquellos suelos con alta cantidad de limo o arcilla que han sido intensamente labrados y tienen muchas partículas finas en la superficie. Como se verá en otro artículo, con la Agricultura de Conservación esto no es un problema importante debido a que:

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

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

Las lombrices de tierra, entre otros organismos del suelo, cumplen una función muy importante en el proceso de descomposición. Se alimentan principalmente de las bacterias y los hongos que descomponen la materia orgánica; de esta forma se reciclan los nutrientes. Debido a la labranza, hay menos alimentos y humedad para las lombrices

de tierra y otros organismos, Además su hábitat está constantemente alterado. Las prácticas de manejo pueden afectar el suministro de alimento (lugar, calidad, cantidad), la capa de cobertura o mantillo de protección afecta al agua del suelo y la temperatura, así como a los entornos químicos (fertilizantes y plaguicidas). Las prácticas agronómicas, como por ejemplo la labranza profunda, son generalmente perjudiciales para los organismos del suelo. Pueden matarlos totalmente, romper sus túneles o canales y reducir la disponibilidad de residuos en la superficie.

Como resultado, se requiere energía para restaurar el ecosistema del suelo a fin de que pueda suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. Indirectamente, el sustrato orgánico del cual se alimentan los organismos del suelo, se oxida rápidamente y se pierde como alimento.

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

- El suelo se seca rápidamente.
- Destruye sus túneles o canales.
- Se incorporan los residuos.
- Puede matarlas.

4. LA AGRICULTURA RAZONADA

La agricultura razonada hace referencia a una orientación global de la administración agrícola que busca reforzar los impactos positivos de las prácticas de cultivo, reduciendo al mismo tiempo los efectos negativos sin que por ello se afecte la rentabilidad económica. Esta forma de visualizar la producción se desarrolla sobre una base de prácticas objetivamente respetuosas del medio ambiente, validadas por la experiencia científica a fin de asegurar un desarrollo duradero. El “desarrollo durable” requiere saber conciliar tres elementos de naturaleza muy diferente: el esfuerzo económico ampliamente basado en decisiones privadas; la equidad social que hace eco a elecciones éticas y políticas; y el control de la salud y del ambiente, que constituyen los bienes de la humanidad. Entre las exigencias relacionadas con el suelo, el medio ambiente y la fertilización, podemos mencionar entre las más importantes;

- El conocimiento del cultivo y su ambiente.
- La trazabilidad de las prácticas culturales.
- El correcto manejo de los suelos.
- La fertilización mineral y orgánica.
- La protección de los cultivos y de la biodiversidad.
- La gestión de los desechos agrícolas.

Un cultivo razonado, desde ésta perspectiva, es aquel en el cual se logra obtener el máximo rendimiento genético de la semilla. Las cuatro variables o parámetros que se

consideran no-controlables en el manejo de un cultivo, son: la luz solar, la temperatura ambiente, el agua de lluvia, el dióxido de carbono y el oxígeno. Sin embargo, hasta cierto punto, estas variables no-controlables pueden ser "*manejadas*" por el agricultor. La luz puede graduarse mediante la distancia entre plantas o entre surcos, la fecha de siembra, la orientación del surcado, etc. La temperatura del suelo, por medio de la profundidad en la siembra y del manejo de residuos sobre la cama de siembra. El agua de lluvia puede manejarse construyendo estructura en el suelo y reduciendo lo más posible la compactación, entre varios otros ejemplos.

Pero existen muchas otras variables agrícolas que pueden perfectamente medirse, controlarse y preverse. Escogiendo un cultivo, se puede determinar con precisión como afecta cada uno de los elementos controlables al desarrollo de ésta planta. Aplicando ciencia y tecnología se puede obtener información rigurosa que nos permita tomar decisiones adecuadas para controlar aquellos elementos que tienen mayor influencia tanto en la productividad, como en la rentabilidad y "*sustentabilidad*" de cada cultivo. El potencial genético de un cultivo está determinado por la semilla que el agricultor pone en el suelo. El mayor o menor "stress" en una planta es determinante para poder mantener el potencial óptimo de rendimiento genético de dicha semilla. La forma científica en que se busca minimizar este estrés es parte del sistema de trabajo que denominamos *agricultura razonada*.

La producción agrícola en México depende fuertemente de la aplicación de enmiendas y fertilizantes tanto orgánicos como minerales. Los suelos ácidos mexicanos se caracterizan por presentar valores de pH que varían entre 3.5 y 6.0; texturas franco arenosas pobres en materia orgánica y azufre, niveles por lo general bajos en fósforo y de regulares a bajos en bases como potasio, calcio y magnesio. La creencia que los suelos mexicanos son muy ricos en potasio no ha sido demostrada. Con frecuencia los suelos muestran presencia de aluminio en niveles tóxicos. Los usualmente bajos niveles de elementos nutrientes en el suelo obligan al agricultor mexicano a recurrir, año con año, a la aplicación de abonos o fertilizantes.

Las correctas prácticas de fertilización son componentes esenciales en la agricultura razonada. A través de seis prácticas generales de operación agrícola, orientadas a establecer metas, se aborda la importancia de (a) seleccionar la cantidad, el tiempo y la colocación correcta de los fertilizantes; (b) la cantidad y el tiempo correcto del agua de riego; (c) las prácticas de labranza apropiadas que maximicen la absorción de agua y fertilizantes sin restringir demasiado la operación comercial. Los cultivos razonados se inician con el muestreo y análisis del suelo y del agua y, posteriormente, de los tejidos vegetales. Se logra así formular un plan bien razonado de fertilización balanceada.

5. EL ANÁLISIS QUÍMICO DE FERTILIDAD DEL SUELO

Ante todo se debe realizar primero un análisis de suelo, donde la toma de muestras y el número de muestras por predio se lleve a cabo de acuerdo a las instrucciones que dé el

laboratorio para cada caso en particular. Sin éstos análisis se corre el peligro de llegar a suministrar dosis demasiado pequeñas que no satisfagan la nutrición necesaria para lograr altos rendimientos. O bien, aplicar a ciegas cantidades excesivas que perjudiquen a la planta, al medio ambiente y al bolsillo. La recomendación de dosis precisas de fertilizaciones balanceadas, debe basarse primeramente en el consumo o extracción de nutrientes para lograr una meta de rendimiento deseada, así como la cantidad de nutrientes que suministra el suelo y la eficiencia del cultivo para recuperar los nutrientes provenientes de los fertilizantes aplicados. En cultivos con una elevada exigencia de nutrientes, se produce un rápido agotamiento de las reservas del suelo, especialmente cuando se manejan monocultivos.

El diagnóstico de la fertilidad del suelo y su interpretación

En la página siguiente se muestra el formato del reporte que reciben aquellos agricultores que entregan una muestra de suelo al laboratorio solicitando su diagnóstico de fertilidad. Para facilitar la mejor comprensión de éste reporte, se expone a continuación la interpretación de los datos obtenidos en el laboratorio.

1.- Si su pH del suelo resulta ácido (pH inferior a 6.0 y %H superior a 20), aplique la dosis de Cal recomendada por el Laboratorio, por lo menos 2 a 3 meses antes de la siembra. Si no realiza la aplicación de esta enmienda no obtendrá la meta de rendimiento esperada y la inversión en fertilizante no dará los resultados esperados.

2.- En suelos de reacción ácida (pH inferior a 6.0), se dará preferencia a la aplicación de fuentes de fertilizantes que tengan reacción básica o neutra. En la mayoría de los cultivos, el pH que se considera óptimo va de 6.0 a 6.5. Así mismo, en suelos que presenten bajos niveles de calcio, magnesio y/o azufre, se preferirá emplear fertilizantes que contengan éstos elementos.

3.- Si el nivel de Sodio resulta alto (arriba de 9% de saturación) y/o el nivel de Boro también alto (arriba de 3.0 ppm), aplique la dosis de Yeso Agrícola recomendada por el Laboratorio. Si no realiza la aplicación de esta enmienda no obtendrá la meta de rendimiento esperada y, también en éste caso, se desperdiciará la inversión en fertilizante.

4.- En suelos de reacción alcalina (pH arriba de 7.5), se dará preferencia a la aplicación de fuentes de fertilizantes que tengan reacción ácida. En caso de que el suelo tenga problemas de alto nivel de sodio y/o sales, no se debe aplicar cloruro de potasio.

5. El nitrógeno no existe en el suelo en forma mineral natural como los otros nutrientes vegetales. Este elemento debe provenir del aire el cual contiene aproximadamente 78 % de nitrógeno. Sin embargo, para que los cultivos puedan utilizar éste nitrógeno, debe estar combinado con hidrógeno u oxígeno, lo cual resulta en la formación de amoníaco o nitrato (NO₃-). Este proceso se denomina la "*fijación del nitrógeno*".

CUADRO 1

Ejemplo del Reporte Químico de Fertilidad del Suelo

ANÁLISIS DE SUELO

Compañía / Empresa 	Agricultor Granja ID: Recepción: 30/06/2015	Reporte Cuenta Fecha: 03/07/2015 Pagina: 1 of 1 A-L Agronomo Oscar Ruiz
----------------------------	---	--

Alt Campo ID:

Campo ID:

Firma



Numero Lab.

Muestra Muestra 1

Determinaciones	Método	Resultados	CALIFICACION					Capacidad Int.catiónica												
			Muy Bajo	Bajo	Medio	Óptimo	Muy Alto													
pH Suelo	pH1:1	5.4						11.8 meq/100g												
pH Tampón	BPH	6.50																		
Materia orgánica	Comb.	4.1 % ENL 135						Saturación Catiónica <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>%sat</td> <td>meq</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>4.3 0.5</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>53.2 6.3</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>13.7 1.6</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>28.6 3.4</td> </tr> <tr> <td>Na</td> <td>0.4 0</td> </tr> </table>	%sat	meq	K	4.3 0.5	Ca	53.2 6.3	Mg	13.7 1.6	H	28.6 3.4	Na	0.4 0
%sat	meq																			
K	4.3 0.5																			
Ca	53.2 6.3																			
Mg	13.7 1.6																			
H	28.6 3.4																			
Na	0.4 0																			
Fósforo (P)	M3	38 ppm																		
Potasio (K)	M3	200 ppm																		
Calcio (Ca)	M3	1255 ppm																		
Magnesio (Mg)	M3	194 ppm																		
Azufre (S-SO4)	M3	18 ppm																		
Boro (B)	M3	0.5 ppm																		
Cobre (Cu)	M3	2.6 ppm																		
Hierro (Fe)	M3	151 ppm																		
Manganeso (Mn)	M3	94 ppm																		
Zinc (Zn)	M3	2.1 ppm																		
Sodio (Na)	M3	11 ppm																		
Conductividad																				
Nitrógeno-Nitrato																				

RECOMENDACIÓN

Cultivo: Fresa

Meta de Rendimiento: 24 Optimo

Rec Unidad:

KG/Ha

Cal	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
4500	150	50	30	0	10	1.1	2.0	2	2.0	0
Cultivo:										
Yeso	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe

El nitrógeno también es devuelto al suelo en forma de materiales orgánicos, los cuales se derivan de plantas y animales muertos y desechos de éstos últimos. Estos materiales son generalmente insolubles en agua y son reducidos por descomposición biológica, oxidación, reducción y siendo finalmente mineralizados a nitratos para uso de las plantas. Este reciclaje del nitrógeno de materia orgánica al suelo, y de éste a las plantas, es parte del ciclo del nitrógeno.

Los análisis de suelo reportan el contenido de materia orgánica como un porcentaje de peso del suelo. La materia orgánica por lo general contiene de 5 a 6% de nitrógeno; sin embargo, solo del 2 al 4% del nitrógeno total de ésta fracción estará disponible para las plantas durante la temporada de crecimiento. La cantidad neta proporcionada depende en gran medida del clima (temperatura y lluvia), aireación del suelo, pH, tipo de material que está en procesos de descomposición (diferentes niveles de la Relación C/N), estado de descomposición y otros factores. Debido a esto, es difícil calcular con anticipación cual será la liberación del nitrógeno. Por ello se utilizan valores estimados. (Ver Cuadro 1). Cuando el nitrógeno del suelo está presente en su forma disponible de nitrato, la cantidad puede medirse y ser considerada en los cálculos de nitrógeno disponible total en la programación del Plan de fertilización. En sistemas de riego, la capacidad de retención de humedad y la velocidad de infiltración son dos propiedades del suelo muy importantes. El suelo no debe saturarse, debido a que esto produce pérdidas de nitrógeno por lixiviado, desnitrificación o volatilidad. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, es necesario aplicar un exceso de agua para evitar la acumulación de sales.

6. Todos los suelos tienen fósforo de reserva en compuestos de diferentes formas químicas, tales como fosfatos de hierro, aluminio o calcio. Si bien estas reservas pueden encontrarse en cantidades importantes en los suelos, las plantas pueden sufrir de deficiencia de fósforo. La entrega natural del fósforo de éstos compuestos puede estar severamente limitada debido a la formación de compuestos insolubles y no disponibles de fósforo. Los suelos ácidos contienen exceso de hierro y de aluminio, y los suelos básicos contienen exceso de calcio, lo que provoca una recombinación de formas ácidas disponibles o fosfatos solubles al agua a formas menos solubles.

7.- En los reportes de resultados se presenta el resultado de potasio (K₂O) "disponible" en partes por millón (ppm) con una barrita a color que expresa el nivel que le corresponde. Si es muy bajo, bajo, medio, óptimo o muy alto. También se expresa como Porcentaje de Saturación este mismo contenido de K con respecto a la CIC del suelo. Su valor en suelo provisto de este nutriente debe normalmente variar entre 5% y 7%. En el reporte se presenta además la relación K:Mg; que se obtiene dividiendo el % de saturación de K entre el % de saturación de Mg. Un valor próximo a 0.5 es ideal. Cuando en la interpretación final resulta muy bajo o bajo el nivel del K, existirá alta probabilidad de respuesta a la fertilización potásica; si el nivel resulta óptimo el criterio será aplicar K suficiente para satisfacer al menos la extracción del cultivo; si el nivel resulta alto o muy alto, existirá poca probabilidad de respuesta a la aplicación de K y la dosis a recomendar

será "0" kg de K. Algunas veces cuando los niveles de K resultan altos pero el porcentaje de saturación de K es bajo; el criterio será aplicar algo extra de K para compensar dicha reserva y además mejorar el balance.

8.- En los reportes de resultados se presenta el resultado de Mg "disponible" en ppm con una barrita a color que expresa el nivel que le corresponde. Si es muy bajo, bajo, medio, óptimo, etc. También se expresa como Porcentaje de Saturación este mismo contenido de Mg con respecto a la CIC del suelo: El valor en suelo provisto por este nutriente debe estar normalmente entre 10% y 20%. En el reporte se presenta además la relación K:Mg que se obtiene dividiendo el % de saturación de K entre el % de saturación de Mg. Un valor próximo a 0.5 es ideal.

Cuando en la interpretación final resulta muy bajo o bajo el nivel del Mg, existirá alta probabilidad de respuesta a la fertilización magnésica; si el nivel resulta óptimo el criterio será aplicar Mg suficiente para satisfacer al menos la extracción del cultivo; si el nivel resulta alto o muy alto, existirá poca probabilidad de respuesta a la aplicación de Mg y la dosis a recomendar será "0" Kg de Mg. Algunas veces cuando los niveles de Mg resultan altos pero el porcentaje de saturación de Mg está por debajo de 10%, o si el contenido de potasio es tan alto que bloquea su absorción; el criterio será aplicar algo extra de Mg para compensar dicha reserva y además ir mejorando el balance.

9.- En el reporte de análisis de suelo, se presentan los porcentajes de saturación de cationes (%K, %Ca, %Mg, %Na y %H).

10.- Si se recomienda aplicar micro-nutrientes estos pueden ser incluidos dentro de la mezcla física con los elementos mayores y secundarios aplicados directamente al suelo. Los micro-nutrientes también se pueden aplicar en aspersión líquida foliar en una o varias aplicaciones.

11.- Con el conocimiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC en meq/100g), el agricultor puede estimar en términos generales la textura que tiene su suelo. Recuerde que en suelos de textura gruesa y aún media, obtendrá mejores resultados si aplica la dosis de nitrógeno (N) y potasio (K₂O) fraccionada en dos o más partes. Por ejemplo, mitad a la siembra y la otra mitad antes de cierre de campo.

12.-La acción del fertilizante es más eficiente cuando se aplica en banda, enterrado, que cuando se aplica al voleo en la superficie. Enterrado en banda se evitan pérdidas considerables de nitrógeno por volatilización.

Controlando todos éstos parámetros controlables que hemos aquí brevemente reseñado no necesariamente añadimos capacidad de producción, sino que manejamos elementos que impactan a la raíz o al desarrollo del cultivo y con ello evitamos las pérdidas ocasionadas por el estrés que provoca en las plantas un medio ambiente no propicio. El controlar éstos parámetros siempre va a tener un costo económico. Lo importante en la

Agricultura razonada es que el beneficio final que vamos a obtener en cuanto cantidad de producción, calidad de la misma y control ambiental, sea significativamente mayor que el costo total.

En el Cuadro 2 se muestran los 23 parámetros químicos que nuestro laboratorio maneja como el "*paquete básico*" de análisis de fertilidad de un suelo. Por supuesto, a solicitud de los productores se pueden añadir todas (o cualquiera) de las siguientes pruebas que tenemos clasificadas como "químicas": Acidez pasiva o potencial, nitrógeno total y Nitrógeno - Nitrato, Nitrógeno amoniacal, Carbono total, Carbono Orgánico, Cloro, Relación C/N, Aluminio total y/o Aluminio intercambiable, Carbonatos, Molibdeno, Silicio, Metales pesados: Arsénico, Bario, Cadmio, Cobalto, Estaño, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, entre otros. También residuos de plaguicidas en suelo: más de 170 ingredientes activos. Consultar también nuestra "*Guía para la Interpretación de los Análisis de Suelo*". Publicación gratuita.

En la misma muestra de suelo se pueden también efectuar los análisis físicos y biológicos enumerados en los puntos que se presentan a continuación.

6. EL ANÁLISIS FÍSICO DE FERTILIDAD DEL SUELO

Las 7 pruebas que consideramos como "físicas", son las siguientes: Densidad aparente, la Textura (*% de Arcilla, % de Limo, % de Arena*), Clasificación Textural, Humedad de la muestra, Conductividad Eléctrica ("*Sales Solubles*"), Punto de Marchitez Permanente y Capacidad de Campo. La noción agronómica de "Textura" corresponde al comportamiento del suelo tal y como se manifiesta en los predios o potreros. Este comportamiento depende fuertemente del tamaño de los constituyentes del suelo. Así, las proporciones respectivas de arena, limo y arcilla nos permiten expresar la textura del suelo, noción cualitativa, gracias a un término medible. Se llega así a una clasificación convencional de los suelos con la ayuda del conocido "*Triangulo de Texturas*".

No hay que confundir, sin embargo, los dos significados que tiene la designación de la arcilla:

- Arcilla granulométrica. Designa las partículas cuyo tamaño es inferior a 2 μm , sin importar cuál sea su composición química.
- Arcilla mineral. Designa los minerales constituidos por capas de silicatos de aluminio, pudiendo encontrarse fracciones superiores a los 2 μm .

No existe pues una correspondencia rigurosa entre el tamaño de las partículas y su naturaleza mineral. Así, los suelos formados en contextos geo-edafológicos muy diferentes pueden tener granulometrías idénticas y sin embargo comportamientos notoriamente distintos. Las arcillas minerales, a menudo de color café o rojizo debido a la presencia de óxidos de hierro tienen un papel esencial como reservas de elementos nutrientes (cationes) presentes en el suelo, participan en forma muy importante,

asociadas principalmente con la materia orgánica, en la formación de la Capacidad de Intercambio Catiónico ("CIC") del suelo, que es una de las características esenciales de la fertilidad de los suelos.

Aunque hemos insistido en el hecho de que los suelos son un medio en evolución continua, los componentes minerales que ahí se encuentran evolucionan lentamente. Los análisis de textura no requieren por ello una frecuencia tan grande como la que es necesaria para los elementos ligados directamente con la fertilidad mineral del suelo.

CUADRO 2

FERTILIDAD DE SUELO. EL PAQUETE DE ANÁLISIS QUÍMICO

23 Parámetros

1. pH del Suelo (1:2 agua)
2. pH Tampón (Buffer)
3. Materia Orgánica
4. Nitrógeno Libre por Ciclo .ENL
5. Contenido de Fósforo
6. Contenido de Potasio
7. Contenido de Calcio
8. Contenido de Magnesio
9. Contenido de Azufre
10. Contenido de Boro
11. Contenido de Cobre
12. Contenido de Hierro
13. Contenido de Manganeso
14. Contenido de Zinc
15. Contenido de sodio
16. Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) Meq/100g
17. Potasio %
18. Calcio %
19. Magnesio %
20. Sodio %
21. Hidrógeno %
22. Relación K/Mg
23. Relación Ca/Mg

Se incluyen recomendaciones de fertilización y enmienda expresadas en Kilogramos de elemento por Hectárea.

7. EL ANÁLISIS BIOLÓGICO DEL SUELO

Las pruebas microbiológicas que usualmente aplica nuestra empresa al suelo, son las siguientes: (A) Pruebas microbiológicas: *Coliformes totales*, *Coliformes fecales*, *Mesofílicos aeróbios*, *E. Coli* y *Salmonela spp*, (B) Análisis de Virosis; (C) Análisis de Biomasa; (D) Índice de Estabilidad Biológica; (E) Viabilidad de Microorganismos; (F) *E. Coli* hemorrágico; (G) Bacterias Fijadoras de Nitrógeno.

El suelo es el medio de vida de muy numerosos organismos. Esta característica lo diferencia de una roca donde los organismos no están presentes más que en la superficie. Los organismos que viven en el suelo constituyen la biomasa, la cual está compuesta de bacterias, hongos, algas, partes subterráneas de las plantas, así como de animales muy variados (De protozoarios a mamíferos).

La abundancia de seres vivos en el suelo sorprende mucho a los no iniciados en éste tema. Las bacterias representan más de 10 millones de individuos por gramo de suelo, los hongos y los actinomicetos (microorganismos muy cercanos a las bacterias) no menos de un millón. Las algas son mucho menos abundantes. Para completar el panorama de lo que se denomina la microflora de los suelos, hay que agregar los líquenes (sobre todo en la superficie) y las micorrizas que viven en simbiosis con las raíces, así como los virus que no son aún muy bien conocidos.

Pongamos el caso de un predio que tiene un contenido de materia orgánica de 4 %. O sea, alrededor de 16.8 toneladas por hectárea en los 30 primeros centímetros. (Densidad aparente = 1.4). En éste predio la materia orgánica viva puede representar alrededor del 20% de ésta masa total, es decir 3.36 toneladas:

$$0.04 \times 0.3 \times 1.4 \times 1000 = 16.8 \text{ Tons /Ha} \times 0.2 = 3.36 \text{ Tons /ha.}$$

Quitando las raíces y los animalitos que viven en madrigueras, los organismos macroscópicos está esencialmente formados por diferentes grupos de animales que van desde los nematodos (que miden de algunas décimas de milímetros a algunos milímetros de largo) hasta los gusanos de tierra que pueden alcanzar algunos decímetros. La fauna del suelo está formada igualmente de un gran número de insectos ácaros, miriápodos, colémbolos,.....En lo que se refiere a los micro-organismos, son tan numerosos que habitualmente se expresan por gramo de suelo.

Microflora. - Las bacterias forman, en cantidad y en actividad, el grupo más importante de micro-organismos del suelo. En particular comprenden;

- Las bacterias heterótrofas. A las cuales se asocian los actinomicetos y los hongos. Son bacterias que consumen la materia orgánica y, por ello, responsables de su degradación.
- Las bacterias autótrofas. Que son las que obtienen la energía necesaria en las síntesis orgánicas mediante reacciones de oxidoreducción, a partir de sustratos minerales oxidables; tales como los compuestos nitrogenados y azufres reducidos, el hierro ferroso, el hidrógeno gaseoso. Utilizan el dióxido de carbono o los carbonatos como fuente de carbono y son, por consiguiente, generadoras de sustancias orgánicas.

En los suelos cultivados la biomasa microbiana transforma anualmente en dióxido de carbono de 400 a 1000 kilogramos de carbono orgánico por hectárea.

Microfauna. - La fauna del suelo presenta una acción global muy inferior a la acción de los micro-organismos. Sin embargo sus efectos están lejos de ser despreciables, actuando tanto sobre el suelo como sobre los tejidos vegetales. Algunos grupos pueden tener una acción nefasta.

Sobre los rendimientos de los cultivos (nematodos, insectos en forma adulta o larvaria). Otros en cambio, por ejemplo los anélidos, y entre ellos particularmente las lombrices de tierra, tienen una acción agronómica favorable: aceleración de la descomposición de las materias orgánicas ingeridas por las lombrices, mejoramiento del drenaje y de la aireación de los suelos como resultante de la creación de múltiples galerías.