



Por:

Laboratorios A-L de México S.A. de C.V.

La Salud del Suelo Agrícola

CONTENIDO

1. Generalidades

2. La Salud Física / Evaluaciones

3. La Salud Química / La Fertilidad

4. La Salud Biológica / La Biomasa Microbiana

5. Caracterización de un Suelo Sano / Condiciones

6. Referencias

1. Generalidades

El suelo está formado de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos, y gases que existen en la superficie de la tierra; ocupa espacio, y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes parámetros: horizontes, o capas, que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía o por la capacidad de sustentar raigambres de plantas en un medio ambiente natural.

Toda la vida vegetal y animal tiene el mejor potencial de desarrollo siempre y cuando su entorno ambiental sea el más adecuado para sus necesidades específicas. En forma similar, cualquier condición restrictiva reduce este potencial. El suelo es un medio ambiente vivo, que proporciona las necesidades esenciales de la planta en lo referente a agua, aire y nutrientes. Es una interacción dinámica de procesos físicos, químicos y biológicos en un constante estado de cambio. Saber evaluar la fertilidad del suelo es de vital importancia para obtener buenos resultados en cualquier cultivo.

Aunque, cada vez con más frecuencia se suele verificar que la tierra tenga nutrientes para las plantas, la fertilidad está estrechamente relacionada con la actividad biológica del mismo suelo. Esta cualidad se la imparten al suelo los microorganismos vivos. La acción de los microbios que contiene el terreno es crucial para una fertilidad duradera, e influyen en factores tan importantes como son: cultivo, liberación de nutrientes y resistencia natural del cultivo a las enfermedades portadas por el suelo.

El carbono forma el esqueleto de todas las moléculas orgánicas: representa la unidad básica para construir la vida vegetal. Las plantas toman el carbono de la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO_2). A través del proceso de fotosíntesis, donde interviene la energía solar, el carbono se combina con el hidrógeno y el oxígeno para formar carbohidratos.

Otras combinaciones químicas posteriores, con el resto de los elementos esenciales, producen numerosas sustancias indispensables para el desarrollo de la planta. Los suelos son el medio en el que crecen los cultivos para alimentar y vestir al mundo. Entender el concepto de Salud del Suelo Agrícola es comprender una necesidad básica en la producción de cultivos.

Figura 1

ESTRATOS QUE RODEAN LA SUPERFICIE



EN ECOLOGÍA, POR LO GENERAL SE RESTRINGE EL CAMPO DE ESTUDIO A TAN SOLO LA BIÓSFERA, QUE ABARCA LAS CAPAS BAJAS DE LA ATMÓSFERA, LOS OCÉANOS, LAS AGUAS SUPERFICIALES CONTINENTALES Y LAS CORRIENTES SUBTERRÁNEAS (LA HIDRÓSFERA) , ASÍ COMO LA DELGADA PELÍCULA SUPERFICIAL DE SUELO DE LOS CONTINENTES EMERGIDOS, QUE LLAMAMOS PEDÓSFERA. EN AGRICULTURA NOS LIMITAMOS AL ESTUDIO DE LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DE LOS ELEMENTOS, Y DE SU CIRCULACIÓN EN LA BIÓSFERA TERRESTRE.

La Salud del Suelo Agrícola es vital para un suelo fértil y productivo. Aclaremos que un suelo fértil no es necesariamente un suelo productivo. El mal drenaje, insectos, sequía y otros factores pueden limitar la producción, aun cuando la fertilidad sea adecuada. Para comprender completamente la fertilidad del suelo, debemos estudiar otros factores que apoyan o limitan la productividad; ante todo hay que saber reconocer la existencia de relaciones suelo-planta. Diversos factores externos controlan el crecimiento de la planta: aire, calor (temperatura), la luz, el soporte mecánico, los nutrientes y el agua. La planta depende del suelo (por lo menos en parte) para todos estos factores, excepto la luz. Cada uno afecta directamente el crecimiento de las plantas; cada uno está enlazado a los otros.

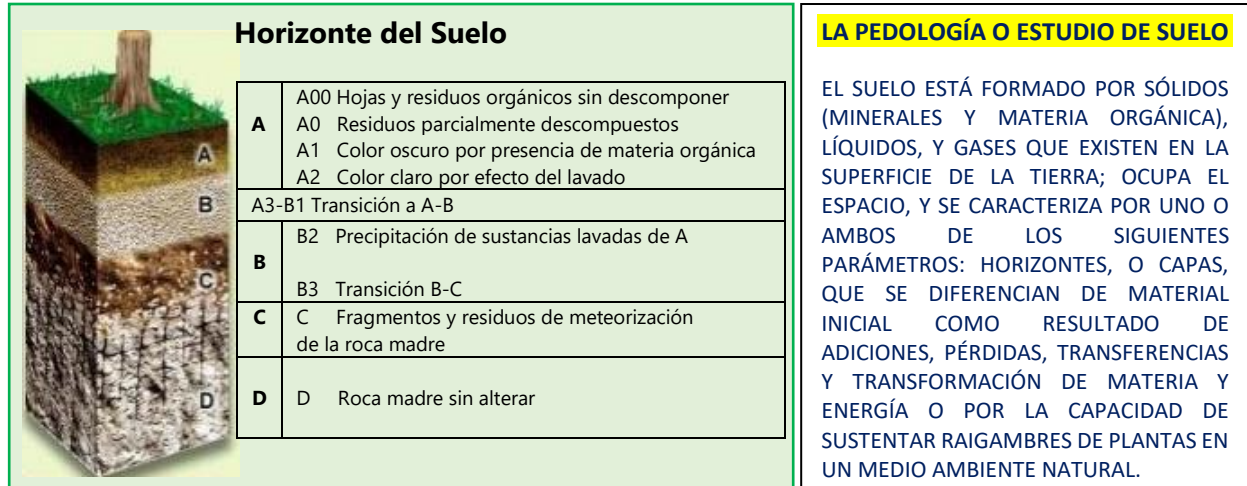
Dado que el agua y el aire ocupan los espacios de los poros en el suelo, los factores que afectan las relaciones de agua influyen necesariamente en el aire del suelo. A su vez, los cambios de humedad afectan la temperatura del suelo. La disponibilidad de nutrientes se ve influenciada por el suelo y el balance de agua, así como por la temperatura del suelo. El crecimiento de las raíces también se ve influido por la temperatura del suelo, así como por el agua presente en el suelo y en el aire.

La Salud del Suelo en la agricultura de hoy en día es pues parte de un sistema muy dinámico. Los nutrientes son constantemente 'exportados' en forma de productos vegetales y animales. Desafortunadamente, otros nutrientes pueden perderse por lixiviación o erosión y otros más, como el fósforo (P) y el potasio (K), pueden quedar inmovilizados, "atados", por ciertas arcillas del suelo.

La materia orgánica y los organismos del suelo primero inmovilizan y luego liberan a los nutrientes con el paso del tiempo. Si la producción agrícola fuese un sistema cerrado, el balance de nutrientes podría ser un sistema relativamente estable. Sin

embargo, no es un sistema cerrado y es por eso que comprender los principios de Salud del Suelo es esencial para la eficiente producción de cultivos y la protección del medio ambiente.

Figura 2



Además de servir como medio para producir los alimentos, el suelo es un importante baluarte contra el cambio climático. Los microorganismos del Suelo absorben el carbono de las plantas y descomponen los cuerpos de animales. El suelo es una de las fuentes más ricas de vida.

- El suelo determina el tipo de plantas que pueden crecer en un ambiente específico, define el paisaje y los estilos de vida.
- El suelo actúa como una esponja infiltrando el agua de lluvia que pudiera causar inundaciones.
- El suelo mantiene la humedad suficiente para sostener el crecimiento de las plantas.
- El suelo es la protección contra bacterias perjudiciales.
- El suelo es un buen aislante. Las temperaturas extremas en la superficie cuando se baja 2-3 metros de profundidad, la temperatura no fluctúa y se mantiene constante.

El suelo podría ser la clave para la supervivencia de nuestro planeta, ya que es una parte muy importante del ciclo hidrológico, (ver figura 2), almacena agua y es capaz de proveerla para el crecimiento de las plantas. Pero, más aún, juega un importante papel en el esquema de los gases de invernadero en el almacenaje de carbono.

En resumen, podemos concluir este primer punto de introducción, señalando que *“La Salud de un Suelo Agrícola”*, es la capacidad específica que tiene para funcionar en un ecosistema, natural o *antrópico* (generado por el hombre), para sostener o mejorar la productividad de las plantas y animales, controlar la polución del agua y del aire, favorecer la salud y el hábitat humano.

2.Salud física. Evaluaciones.

Existen tres categorías principales de indicadores del suelo: (1) físicas, (2) químicas y (3) biológicas. El carbono en el suelo trasciende las tres categorías de indicadores y tiene la influencia más ampliamente reconocida en la calidad del suelo ya que está vinculado a todas sus funciones.

El estado de la salud del suelo se puede determinar de dos maneras distintas. Una de ellas es la determinación de una calificación absoluta para la salud del suelo en función de la desviación de un suelo con propiedades ideales (profundidad, fertilidad, buen manejo y con un suministro adecuado de agua, etc.). La otra opción, más alineada con la definición de la degradación del suelo, considera una clasificación relativa que depende de la idoneidad del suelo para su uso real. Como, por ejemplo, un suelo ácido puede ser perfecto para un bosque de pinos, pero podría tener una salud muy baja para su utilización en determinados cultivos agrícolas.

Algunos de los aspectos fundamentales que designan un buen estado físico del suelo, según la FAO, pueden ser los siguientes:

- Porosidad / retención de agua
- Ausencia de sellado y encostramiento
- Drenaje y temperatura
- Ausencia de erosión hídrica y eólica
- Ausencia de compactación

En diversas otras publicaciones nuestras, hemos ya descrito con más detalle, los procesos de degradación del suelo. Mencionaremos de nuevo cuales son: la erosión del suelo, la remoción de nutrientes, la desertificación final, la acidificación de suelos, la compactación, la pérdida gradual y continua de materia. Estas propiedades y circunstancias son con frecuencia subestimadas por los sistemas convencionales de producción. Su efecto ha traído, por consecuencia, suelos pobres y enfermos que no son capaces de dar un buen rendimiento.

Figura 3

ANÁLISIS FÍSICOS MÁS USUALES EN SUELO

TEXTURA
Arena, %
Arcilla, %
Limo, %
Clasificación Textural
Densidad Aparente, g/cm³
Capacidad de Campo 1/3 BAR, %
Punto de Marchitez Permanente 15 BAR, %
Agua Disponible: g Agua/ 100 g Suelo
Conductividad Eléctrica, mmhos/cm
Porosidad

Método de Referencia: NOM-021-2000.

Un suelo bien alimentado, con buena cantidad de materia orgánica, puede retener el agua como una esponja. Esta habilidad de retención permite que las plantas continúen creciendo, resistiendo la sequía y las enfermedades, y produciendo cultivos saludables y abundantes.

El suelo agrícola está constituido por una fracción mineral [45%], una fracción orgánica [5 %], aire [25%] y agua. [25%]. La estructura física del suelo depende en una gran parte de su "textura", es decir, de la repartición cuantitativa, por tamaños, de los elementos sólidos que lo constituyen. La fracción mineral del suelo se clasifica como arcillas, arenas y limo. La textura y estructura del suelo influyen en la cantidad de aire y agua que puede proveerse a las plantas en crecimiento.

Las arenas retienen poca agua porque sus grandes espacios porosos permiten que el agua drene libremente en el suelo. En cambio, las arcillas adsorben una cantidad relativamente grande de agua y sus pequeños espacios porosos la retienen contra las fuerzas gravitacionales. Aunque los suelos de arcilla tienen una mayor capacidad de retención de agua que los suelos arenosos, no toda esta humedad está disponible para el crecimiento de las plantas. Los suelos arcillosos (y aquellos que son ricos en materia orgánica) retienen el agua con más fuerza que los suelos arenosos. Esto significa más agua no-disponible. Así, los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos, pero un porcentaje mayor no está disponible.

El término *Capacidad de Campo* define la cantidad de agua que permanece en un suelo después de que se ha detenido el flujo gravitacional. Se puede expresar como un porcentaje en peso o volumen de suelo. La cantidad de agua que contiene un suelo después de que las plantas están permanentemente marchitas, se denomina el "*Punto de Marchitez Permanente*", expresado también en porcentaje.

La densidad aparente es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo. (Gramos por centímetro cúbico: g/cm³). La densidad de un suelo da una idea del volumen de poros que contiene.

Figura 4

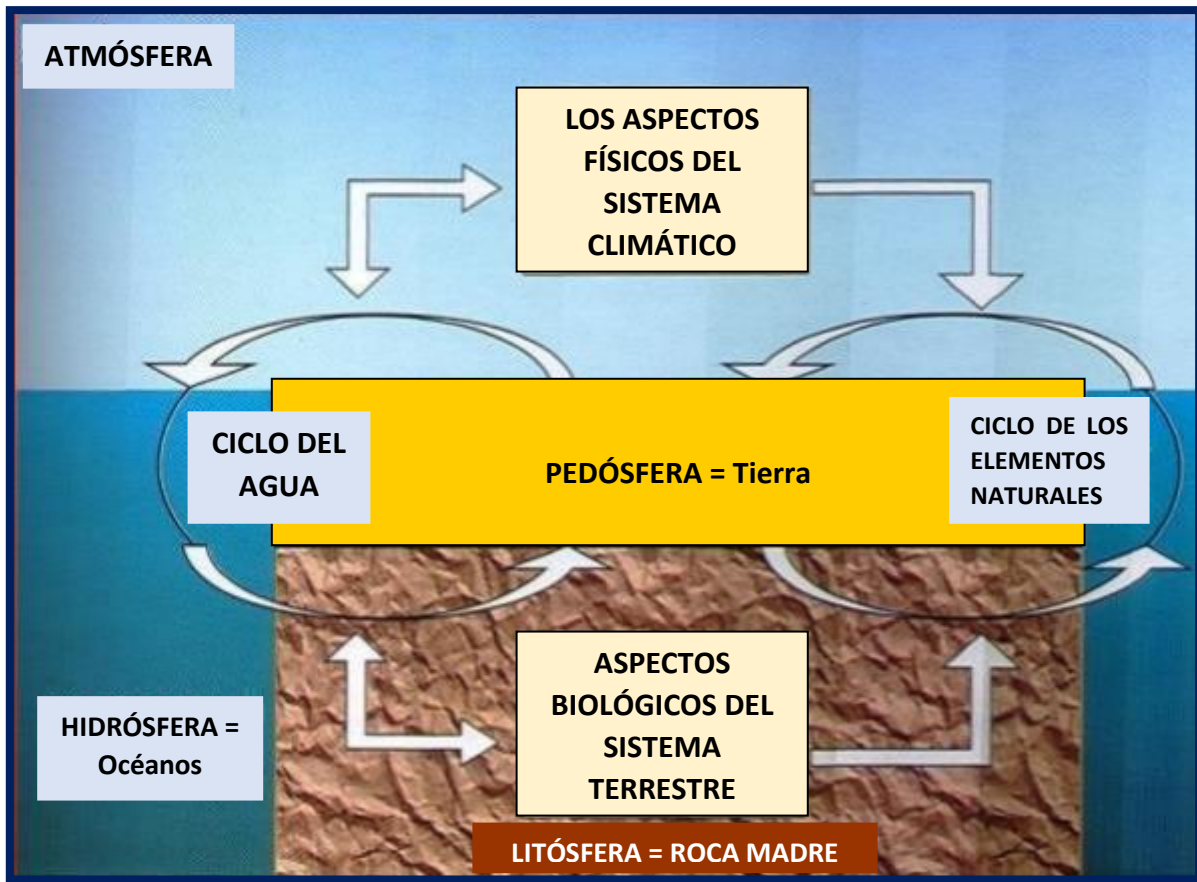
Relaciones entre la densidad aparente, el porcentaje de sólidos y el porcentaje de volumen de poros en los suelos con densidad real igual a 2,65 g/cm ³	Densidad Aparente		% de sólidos	% de Volumen de poros
	g/cm ³	Kg/m ³		
	1,0	1.000	38	62
	1,1	1.100	42	58
	1,2	1.200	45	55
	1,3	1.300	49	51
	1,4	1.400	53	47
	1,5	1.500	47	43
	1,6	1.600	60	40

El sellado y encostramiento del suelo. El sellado del suelo proviene de suelos cubiertos por la infraestructura. Estas zonas se identifican de una manera eficaz mediante la aplicación de sensores remotos. El encostramiento del suelo es causado por un fenómeno local de la formación de una delgada capa impermeable que inhibe la emergencia de las plántulas reduce la infiltración y favorece a la escorrentía y la erosión, dependiendo de la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la topografía y las características de precipitaciones pluviales.

El agua del suelo es indispensable para las plantas no sólo como alimento fundamental y necesario. También es necesaria para reponer las pérdidas que por evapotranspiración se producen durante el ciclo vegetativo. Cumple, además, con otro papel muy necesario en el suelo: disuelve los elementos nutrientes que van a absorber las plantas a través de la solución del suelo. Con un buen manejo del riego se puede conseguir un importante ahorro de agua y de nutrientes, (principalmente de nitrógeno), disminuyendo las posibles pérdidas por lixiviación.

Erosión del Suelo. La *erosión hídrica* del suelo puede producir un deterioro grave del paisaje resultando en formaciones de hondonadas y barrancos o la colmatación de embalses al pie de laderas. En el caso de *erosión eólica*, puede resultar en tormentas enormes de polvo que depositan las partículas más finas a miles de kilómetros de su lugar originario. No obstante, no todos los efectos de erosión del suelo son negativos ya que existen casos en donde se ha mejorado su fertilidad al pie de la ladera o en pendientes. El riesgo de la erosión hídrica se puede estimar basándose en la cantidad y la intensidad de la precipitación pluvial, la vulnerabilidad inherente del suelo ante la erosión, la cobertura del suelo y las características de la pendiente.

Figura 5

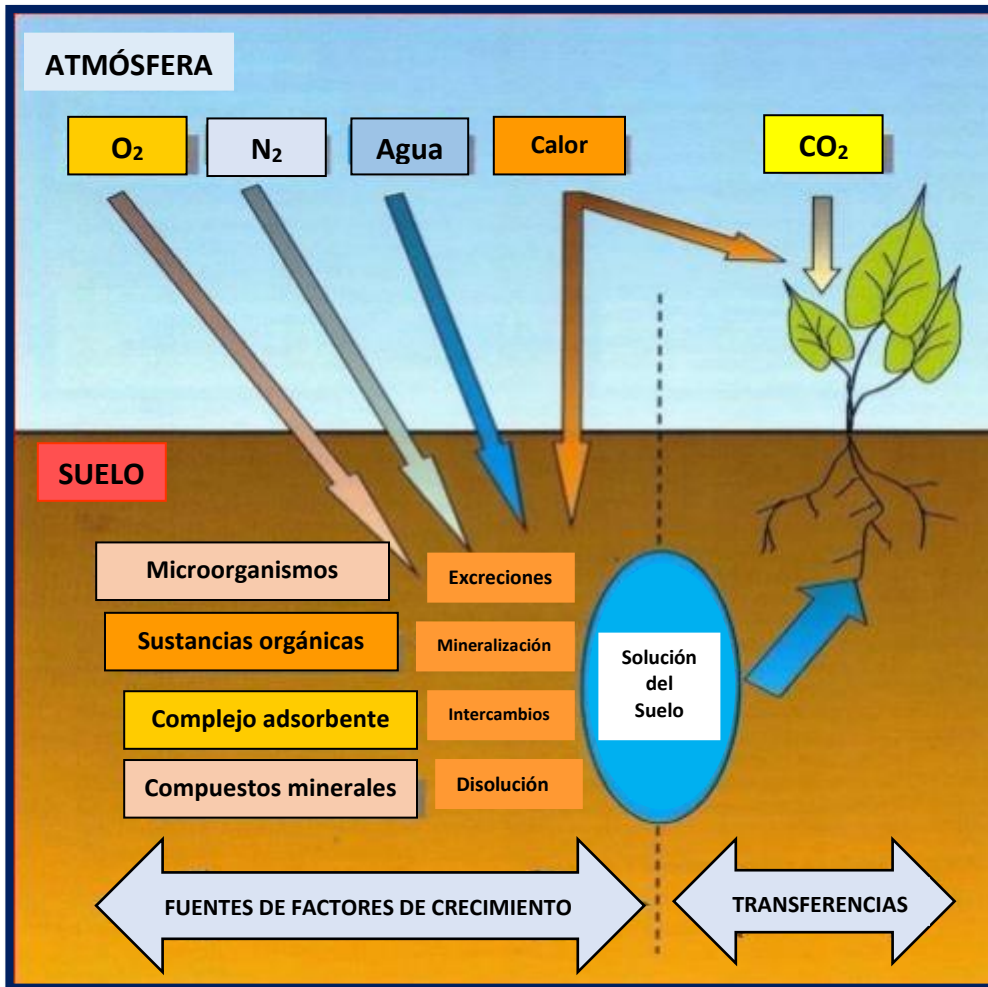


CICLO BIOGEOQUÍMICO

PARA PODER SER UTILIZADA POR LOS VEGETALES, LAS MOLÉCULAS INCORPORADAS AL SUELO DEBEN PASAR POR UNA FASE DE MINERALIZACIÓN. EL ESQUEMA AQUÍ MOSTRADO NOS SEÑALA QUE: 1. LOS PROCESOS FUNDAMENTALES QUE SE DESARROLLAN EN EL SUELO SON LOS MISMOS, AUNQUE LAS PRÁCTICAS DE CULTIVO MODIFICAN SU IMPORTANCIA RELATIVA. 2. LAS PLANTAS CULTIVADAS SON CAPACES DE CONSTRUIR LAS MOLÉCULAS COMPLEJAS QUE REQUIERE CADA CULTIVO, A PARTIR DE LAS MOLÉCULAS O IONES MINERALES (AGUA, NITRATOS, FOSFATOS, SULFATOS) QUE SE EXTRAEN DEL SUELO O DE LA ATMÓSFERA (CO₂, O₂, N₂). NOS INDICA TAMBIÉN LA NECESIDAD DEMINERALIZACIÓN.

La compactación del suelo. Los efectos de la compactación en la salud del suelo son variables, aunque a menudo se lleva a cabo la formación de capas impermeables de suelo cerca de la superficie y encharcamiento local. La compactación del subsuelo ocurre bajo presiones externas y puede formar capas impermeables dentro del suelo que inhiben los ciclos de nutrientes y de agua. Las causas más comunes se designan a una concentración elevada de ganado particularmente en climas más secos alrededor de puntos de agua, y el uso de maquinaria pesada tal como prácticas de laboreo inadecuadas que se implementan con frecuencia en la agricultura industrial.

Figura 6



EL SUELO COMO REACTOR BIOLÓGICO

EL ESQUEMA MUESTRA EL COMPORTAMIENTO DE LA "BIOMASA DE MICROBIOS" DE SUELO. GRACIAS A LA CANTIDAD Y A LA DIVERSIDAD DE LOS SERES VIVOS QUE SE ENCUENTRAN EN ÉL, ESTE TRATO CONSTITUYE UN VERDADERO REACTOR BIOLÓGICO. UNO DE SUS PROCESOS PRINCIPALES CONSTITUYE LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN DIÓXIDO DE CARBONO CO_2 , Y EN HUMUS (SE DENOMINA "HUMUS" AL CONJUNTO DE COMPONENTES ORGÁNICOS DEL SUELO QUE YA NO TIENEN UNA ORGANIZACIÓN BIOLÓGICA IDENTIFICABLE: VEGETAL, ANIMAL O BACTERIANA.

3.La Salud Química. La Fertilidad.

Además de la salud física, el suelo también se puede afectar y degradar en función de su salud química y su salud biológica. Los tres aspectos fundamentales que presentaremos aquí, que provocan la *degradación química* del suelo, hacen referencia a (1) el agotamiento de nutrientes (2) el fenómeno de salinización y, (3) la contaminación del suelo.

Estos tres aspectos, entre tantos otros, tienen su importancia en el desarrollo del concepto de "*Fertilización Razonada*", el cual puede definirse como un modelo de agricultura que toma en cuenta las exigencias y restricciones respecto a la calidad del medio ambiente y de la producción agrícola en sí misma.

El agotamiento de los nutrientes del suelo. Las malas prácticas agrícolas en el manejo de las tierras, que no reponen los nutrientes removidos por los cultivos, son la causa principal (junto con la erosión) del agotamiento de los nutrientes esenciales para las plantas. Existen 17 principales elementos que se consideran esenciales para el crecimiento de los cultivos.

Tres de ellos, los nutrientes no minerales, carbono, hidrógeno y oxígeno, son obtenidos por las plantas principalmente a través del aire y del agua. Los otros catorce elementos normalmente los absorbe la planta a través de las raíces.

Los elementos esenciales se clasifican en tres grupos: macronutrientes, o elementos primarios; elementos secundarios; y oligoelementos o micronutrientes. Esta agrupación en tres tipos de elementos se basa en las cantidades requeridas por la planta para su crecimiento.

Sin embargo, todos los elementos son igualmente esenciales, sin importar las cantidades que utiliza la planta. No es posible sustituir o eliminar totalmente ninguno de ellos.

La espectroscopía de emisión de plasma (ICP - *Inductively Coupled Plasma Emission*) desde hace más de dos décadas, se ha convertido en el procedimiento más preciso y más usual para analizar la mayoría de los nutrientes esenciales, que anteriormente se determinaban por colorimetría, emisión de flama o por espectrofotometría de absorción atómica. Todos ellos son procedimientos ya prácticamente obsoletos.

Figura 7

Estos diez y siete elementos químicos se dividen en dos grandes grupos: no minerales y minerales. Los 14 nutrientes minerales, aquellos que provienen del suelo, se clasifican como primarios o macronutrientes, secundarios y oligoelementos o micronutrientes, según la siguiente distribución:

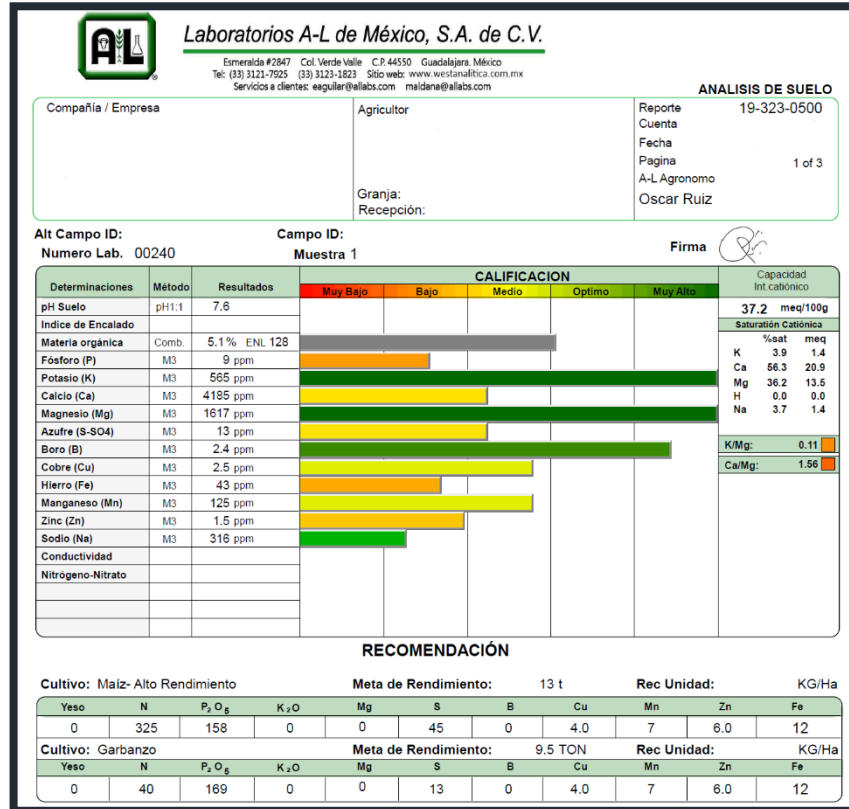
- **Nutrientes Primarios:** Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).
- **Nutrientes secundarios:** Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S)
- **Micronutrientes:** Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), y Níquel (Ni).

A este último elemento, el níquel, no se le conoce que tenga algún papel en la fotosíntesis. Sin embargo, su deficiencia afecta la fijación del nitrógeno o la conversión de nitrógeno a proteína cuando la urea es la fuente de nitrógeno.

Existen otros cuatro elementos adicionales: Sodio (Na), Cobalto (Co), Vanadio (V) y Silicio (Si) que- tan solo en algunas plantas - también se han considerado como micronutrientes importantes. Estos cuatro elementos casi nunca están deficientes en los suelos y por ello su presencia no se analiza en forma rutinaria. Igual sucede con la determinación del níquel. Son análisis muy específicos que se realizan en tejidos vegetales o en suelo tan solo a solicitud expresa.

En la gráfica siguiente se muestra el formato estándar para un análisis de Salud Química del Suelo, o "Análisis de Fertilidad", que incluye recomendaciones de fertilización química en base al rendimiento esperado del cultivo.

Figura 8



Los análisis químicos adicionales que, a solicitud del usuario, se pueden agregar al formato arriba mostrado son muy amplios: contenidos de cloro, molibdeno, nitratos, carbonatos, cobalto, silicio, vanadio, carbono orgánico, metales pesados, residuos de plaguicidas o de hidrocarburos, etc.

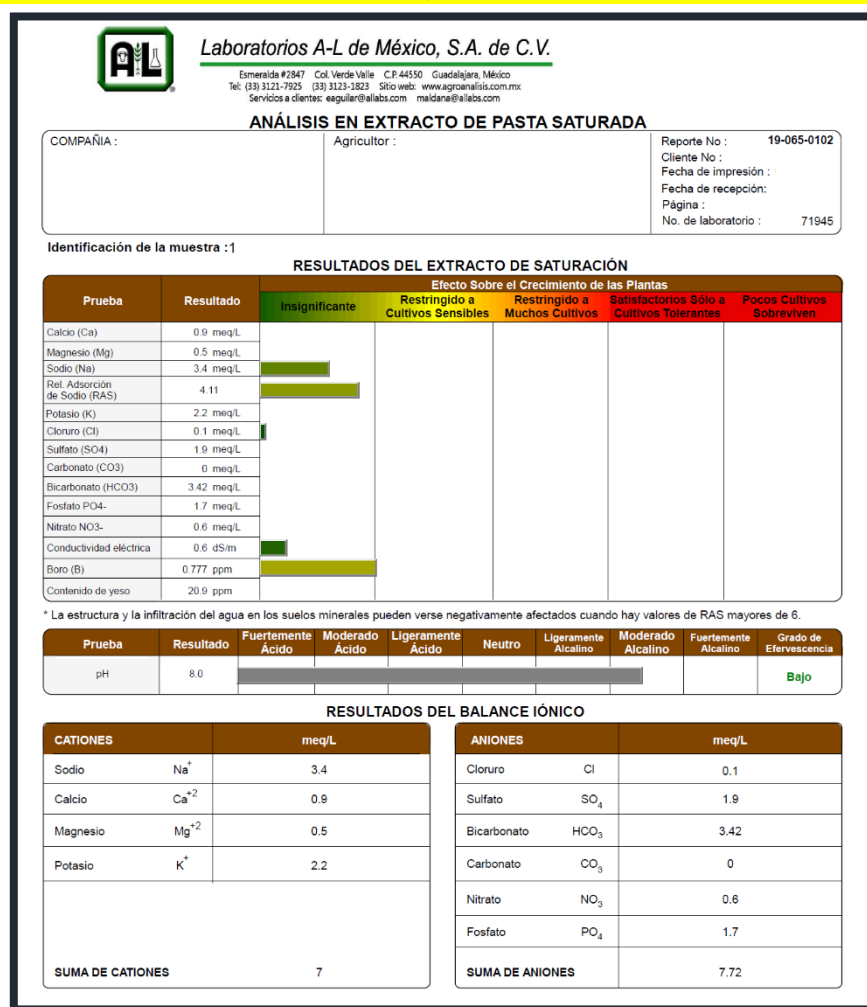
La contaminación del suelo. La contaminación o Polución del suelo se refiere a otro aspecto importante de la salud química del suelo, refiriéndose a la presencia o ausencia de sustancias tóxicas en el suelo. Estas se asocian con la excesiva aplicación de insumos tales como fertilizantes, herbicidas, fungicidas, etc. etc. Por ejemplo, la toxicidad del cadmio relacionada a aplicaciones elevadas de fósforo; o bien los fenómenos de eutrofización causados por la contaminación de suelos y aguas subterráneas, fenómenos debidos al uso excesivo de fertilizantes de nitrógeno. La "Polución" se define como la introducción por causas antrópicas de sustancias o

formas de energía que producen efectos biológicos adversos para los seres vivos, las actividades económicas o los ecosistemas. El término Polución se define pues "como una contaminación intensa y muy dañina".

La salinización del suelo. En general este fenómeno de alta salinidad ocurre debido a la instalación de sistemas de riego inadecuados; o bien a la mala operación de sistemas de riego preexistentes. Los suelos salinos contienen sales en cantidades suficientemente altas como para limitar el crecimiento de los cultivos ya que las plantas no pueden absorber suficiente agua para funcionar correctamente. Las plantas que crecen en suelos salinos a menudo presentan marchitamiento, incluso cuando el contenido de agua del suelo es adecuado. El grado de salinidad se mide indirectamente como la conductividad eléctrica (CE).

Figura 9

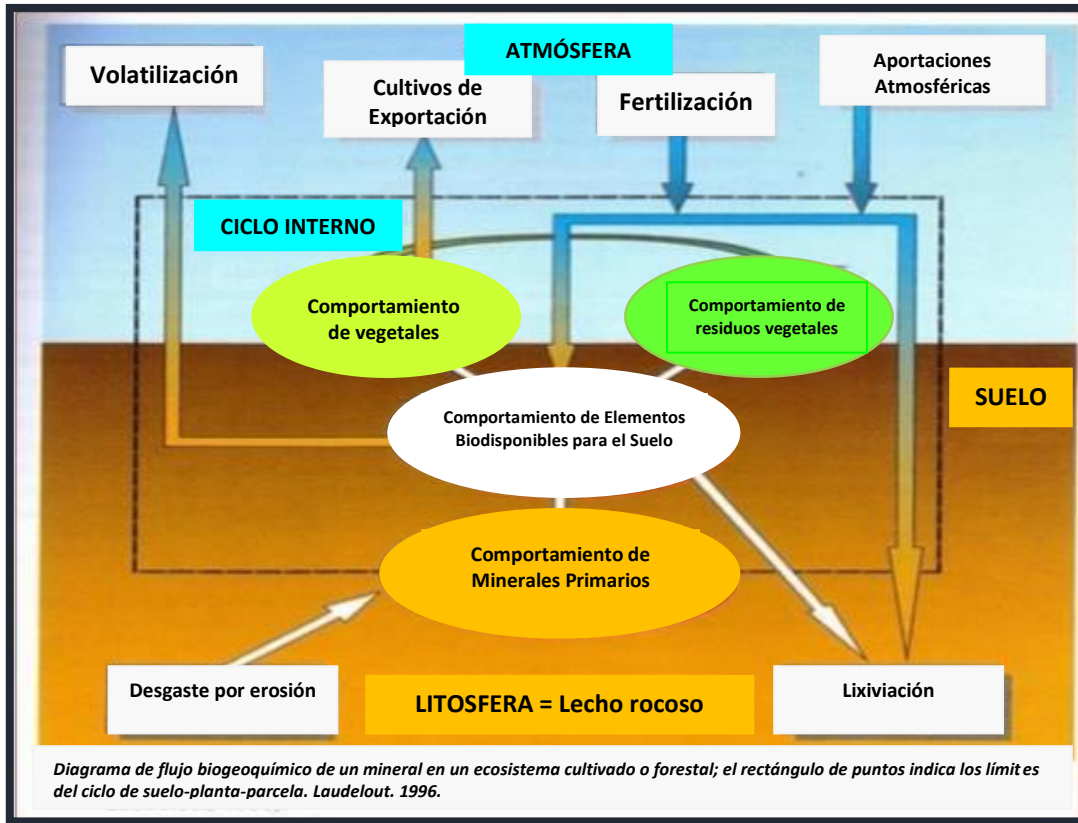
ANÁLISIS DE SALINIDAD DEL SUELO, EN EXTRACTO DE PASTA SATURADA



En el análisis de salinidad en extracto de pasta saturada, se reportan los siguientes cationes: calcio magnesio, potasio y sodio; así como los aniones sulfato, cloruro, bicarbonato, carbonato, nitrato, fosfato, Relación de adsorción de sodio (RAS), boro, conductividad eléctrica y contenido de yeso. Se presenta también la tabla de balance iónico: cationes -aniones.

Es importante mencionar aquí, aunque sea muy someramente, el concepto de “las sucesiones ecológicas”, es decir los cambios que sufre un ecosistema en el tiempo, antes de llegar a un equilibrio dinámico. Este tema esta muy relacionado con la biología del suelo y los ciclos biogeoquímicos, que en conjunto impulsan a los ecosistemas. “Los procesos de sucesión no podrían ser posibles (FAO) sin la macro y microbiología del suelo, ya que son componentes que ayudan en la formación de los suelos fértiles en los ecosistemas”.

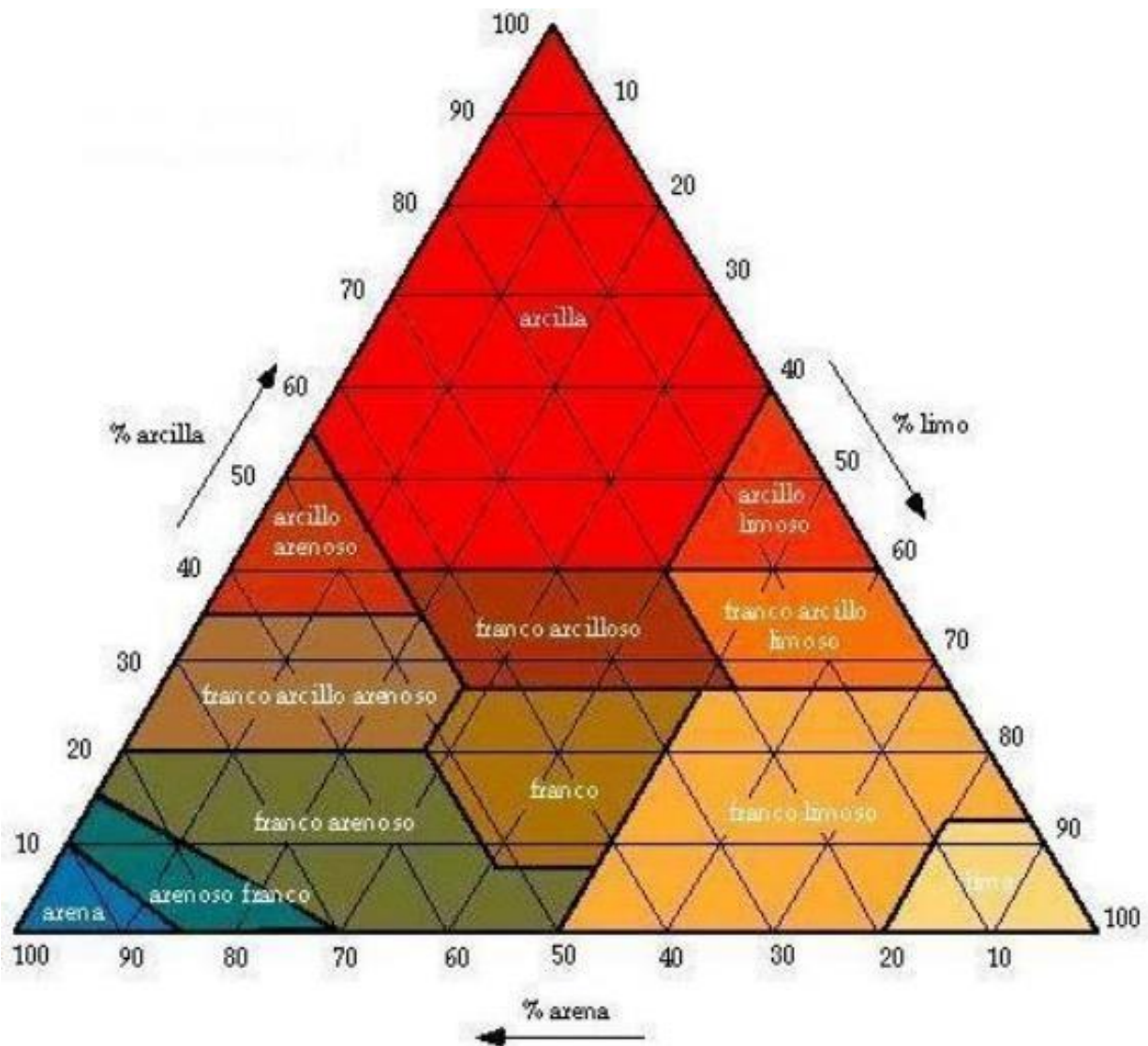
Figura 10
CICLO BIOGEOQUÍMICO 2



SE HABLA DE CICLOS PORQUE LOS ELEMENTOS O COMPUESTOS PASAN POR DIFERENTES FORMAS ANTES DE REGRESAR A SU ESTADO INICIAL. LA ALIMENTACIÓN HÍDRICA Y LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS CONSTITUYEN LOS DOS COMPONENTES FUNDAMENTALES O PRINCIPALES DE LA PRODUCTIVIDAD VEGETAL, E INDIRECTAMENTE ANIMAL. AQUÍ TENEMOS QUE DISTINGUIR: EL CICLO DEL AGUA, FUNDAMENTO DE LA HIDROLOGÍA, Y, POR OTRA PARTE, LOS CICLOS DE LOS ELEMENTOS MINERALES.

La tierra como un sistema. Los ciclos biogeoquímicos son muy importantes para el mantenimiento de la vida en el planeta ya que son los reguladores de la hidrosfera y la biosfera, además de que controlan las transformaciones que se sufren en ambientes terrestres, acuáticos y atmosféricos. Estos ciclos describen las interacciones de elementos químicos que tienen lugar en la geosfera por procesos biológicos, químicos y físicos. Los ciclos más importantes, que hemos ya descrito en otras publicaciones, son los del carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo, azufre, e hidrológico. Al interactuar entre sí, permiten estudiar al planeta como un sistema.

Figura 11
DIAGRAMA DE TEXTURAS



4.La Salud Biológica. La Biomasa Microbiana.

Las características biológicas están asociadas a la presencia de materia orgánica y de formas de vida animal, tales como microorganismos, lombrices e insectos, los cuales mejoran las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica, además que entre ellos ocurren procesos de antagonismo o sinergia que permite un balance entre poblaciones dañinas y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas. La microbiología del suelo estudia a los microorganismos que se encuentran ahí presentes; su actividad metabólica, y sus funciones en los flujos de energía y en el ciclo nutricional.

Los microorganismos del suelo, aparte de suministrarle una buena cantidad de biomasa y de causar, en algunos casos, problemas de fitopatógenos en los cultivos, intervienen activa y directamente en ciclos geoquímicos como el del C, el del N, el del P y el del S, que son los más conocidos. También toman parte en una buena cantidad de procesos y reacciones que tienen que ver con la nutrición vegetal.

- Los microorganismos son menos visibles y palpables que los demás organismos vivos que habitan el suelo y son ellos, en última instancia, los responsables de mantener el caldo vivo del suelo, con sus infinitas y estrechas relaciones entre ellos. Este mundo vivo lo constituyen principalmente amebas, bacterias, hongos, actinomicetos y algas, sin los cuales el origen y la perpetuación de la vida en la Tierra serían imposibles.
- Los microorganismos también pueden transformar en quelato la sustancia, es decir, unirla a la molécula orgánica compleja, cuyo papel sería el de una pinza que agarra al elemento. Esta sustancia orgánica es asimilable por las plantas en forma de quelatos, como es el caso del hierro, del manganeso, del molibdeno, del zinc, del cobre, del magnesio, etc. Esta forma de quelato es la más utilizada por la gran mayoría de oligoelementos.

Su interacción en el suelo está dada por las relaciones *simbióticas* como las que aquí enseguida se enumeran:

- El *neutralismo*, esta ocurre cuando dos especies ocupan el mismo ambiente y no se afectan la una a la otra. El *mutualismo*, es cuando los organismos están en una asociación donde todos se benefician, esta es una relación positiva.
- El *comensalismo*, representa aquellas relaciones donde un organismo se beneficia de otro sin que se afecte, es una relación positiva. Por ejemplo, los hongos que

degradan celulosa a glucosa y otros compuestos, las bacterias no pueden degradar celulosa, pero sí glucosa beneficiándose de esta forma.

- El *antagonismo* se presenta cuando un organismo afecta de forma adversa el ambiente otro, produciendo sustancias inhibidoras o antibióticas, esta es una relación negativa. Algunos ejemplos de las sustancias que se pueden producir son los Antibióticos. Es usual que un organismo produzca 5 - 6 diferentes agentes antimicrobianos. Esto es para poder inhibir o matar una gran variedad de microorganismos; por ejemplo, cianuro (producido por algunos hongos); metanos; sulfuros y enzimas líticas (que rompen la pared celular de las bacterias)

- La competencia ya es una relación negativa que se da por la competencia entre los organismos por nutrientes que son esenciales.

Finalmente, el parasitismo es cuando un organismo vive dentro, o encima de otro, se le acostumbra a llamar huésped, éste se alimenta de las células, el tejido o el fluido del organismo donde "vive".

La microfauna. El término hace referencia a las formas de vida animal de ancho menor a 0.1 mm. El principal papel de la microfauna en el suelo es la disgregación de la materia orgánica y la diseminación de la microflora. Un ejemplo particular de la función de la microfauna se puede ver en el suelo, donde son importantes en el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas. Son capaces de digerir casi cualquier sustancia orgánica, y algunas sustancias inorgánicas (tales como el caucho sintético). Estos organismos suelen ser eslabones esenciales de la cadena alimentaria entre productores primarios y las especies más grandes. Por ejemplo, el zooplancton, que son animales microscópicos y protistas que se alimentan de algas y detritus en el océano. Incluyen foraminífera (protistas ameboides, principalmente marinos) y krill, que son la fuente primaria de alimento para varios animales, incluyendo las ballenas. La microfauna ayuda en la digestión y en otros procesos de organismos más grandes.

La microfauna incluye principalmente protozoarios, nemátodos y rotíferos, aunque algunos autores consideran a los nematodos como parte de la meso fauna, debido a su abundancia en el suelo.

La microflora del suelo. Tiene una tarea importante en la construcción del suelo, Por medio de la desintegración de rocas, así como en el desarrollo ulterior de éste, especialmente en la construcción de suelos fértiles.

Figura 12



MICROFLORA: SU IMPACTO EN PREDIOS AGRÍCOLAS

LA DOTACIÓN ENZIMÁTICA DEL SUELO CONDICIONA, (AL IGUAL QUE LOS MICROORGANISMOS) LAS TRANSFORMACIONES DE LAS SUSTANCIAS ORGÁNICAS. EL PAPEL PRINCIPAL DE LA MICROFLORA TERRESTRE ES SERVIR DE CATALIZADORES ORGÁNICOS. (POR EJEMPLO, LAS AMILASAS, UREASAS, FOSFATASAS, ETC.) ESTE PAPEL ES NOTORIAMENTE VARIADO, PERO HAY QUE RECORDAR QUE SU PRESENCIA EN EL TERRENO DEPENDE, ADEMÁS DE LA LIBERACIÓN DE PARTES DE RESIDUOS ORGÁNICOS (POR EJEMPLO, RAÍCES EN DESCOMPOSICIÓN), TAMBIÉN DE LAS SÍNTESIS MICROBIANAS.

EN EL CICLO DEL CARBONO LA MICROFLORA TERRESTRE INTERVIENE DIRECTAMENTE MIENTRAS QUE LA PARTE REMANENTE A TRAVÉS DE UNA PRIMERA DECOMPOSICIÓN EN COMPUESTOS RELATIVAMENTE SIMPLES, SE ORIENTA LUEGO A LA SÍNTESIS DEL HUMUS. TAMBIÉN EL HUMUS LUEGO SERÁ MINERALIZADO MEDIANTE LA INTERVENCIÓN DE LA MICROFLORA.

La *Macro biología* es el estudio de la fauna del suelo. Las lombrices, insectos, hormigas, termitas etc., son una fuente importante de materia orgánica para el suelo que, además, llevan a cabo varias acciones las cuales, a largo plazo, mejoran las condiciones del terreno gracias a que aumentan la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas, con lo cual se mejora el aporte de biomasa.

- Las termitas aumentan la disponibilidad de Ca, Mg, K, Na, C y P.
- Las hormigas mejoran la disponibilidad de Ca y Mg.
- Las lombrices incrementan la disponibilidad de P, K y C.
- Organismos como ciempiés, arañas, escorpiones, coleópteros y colémbolos son predadores y mantienen en equilibrio las poblaciones de otros organismos.

Figura 12

FORMATO DE REPORTE MICROBIOLÓGICO DEL SUELO (“BIOMASA”)

Micro organismo	Biomasa: Peso Seco, %	Bacterias Activas (µg/g)	Bacterias Totales (µg/g)	Hongos Activos (µg/g)	Hongos Totales (µg/g)	Hongos: Diámetro de Hifa (µm)
Resultados	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Comentarios	Normal	Bajo	Normal	Alto	Muy Alto	
<i>Rango Bajo</i>	15	15	100	15	100	
<i>Rango Alto</i>	45	25	3000	25	300	
	Protozoarios			Nematodos Totales	% Micorrizas	
	Flagelados	Amibas	Ciliados		Endo	Ecto
Resultados	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Comentarios	Bajo	Norma	Alto	Muy Alto		
<i>Rango Bajo</i>	10000+	10000+	50			
<i>Rango Alto</i>			100			
Relaciones de Biomasa	Hongos Totales a Bacterias Totales	Hongos Activos a Hongos Totales	Bacterias Activas a Bacterias Totales	Hongos activos a Bacterias Activas	Análisis Foliar % N Total Usualmente 1.0 - 5.0	
Resultados	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Comentario	Normal	Bajo	Normal	Bajo	Se recomienda	
<i>Rango Bajo</i>	0.75	0.01	0.01	0.75		
<i>Rango Alto</i>	1.5	0.1	0.1	1.5		

Desde el siglo XIX el suelo había sido visto, en gran medida, como un simple sustrato físico en el cual crecían las plantas en forma proporcional a los nutrientes que se extraían. Esta idea, que en su tiempo fue innovadora, está siendo sustituida o mejor dicho complementada, por una visión más acertada donde la biología aparece como un componente necesario e indispensable en el ciclo de fertilidad. A partir de la segunda mitad del siglo XX, se empieza a medir y actuar sobre la salud biológica del suelo, determinando la abundancia (la biomasa biológica), la biodiversidad y la actividad de los organismos vivos que participan en su funcionamiento. Tempranamente se descubrió que el clima interviene esencialmente a través de la temperatura media anual. Se encontró que la actividad microbiana aumenta de forma exponencial con la temperatura. De ahí se desprende que hay un aumento de la tasa de renovación de la biomasa, en detrimento del tamaño., es decir una relación inversa entre biomasa microbiana y temperatura, produciendo una disminución de la Relación Carbono de biomas/Carbono total.

Para la apreciación global de la calidad biológica de un suelo, es necesario tener la capacidad de identificar los indicadores más pertinentes, de poder efectuar mediciones confiables y de saber interpretar los resultados de dichas mediciones. Se ha encontrado, por ejemplo, que, además de la medición de la biomasa microbiana, la relación de "*Carbono de Biomasa a Carbono Total*" (Carbono orgánico/Carbono total) es un dato interesante para poder comparar sistemas de cultivo. Se han encontrado valores promedio que se sitúan alrededor de 2.32% en los monocultivos y 3.02 cuando hay rotación entre varios cultivos.

5. Características de un Suelo Sano. Condicionantes.

La utilización de terrenos para aplicaciones agrícolas debe tener un triple objetivo:

- Obtener productos de calidad, con el menor costo posible.
- Minimizar los impactos ambientales del cultivo.
- Conservar el patrimonio suelo con todas sus potencialidades.

En esta época, queda ya claro que la calidad de un suelo agrícola es siempre la resultante de un conjunto de factores medio ambientales (tipo de suelo, clima) y antrópicos (sistemas de cultivo, manejo del terreno). En este sentido, los diagnósticos globales del estado de salud de un predio son particularmente útiles para evaluar los efectos antrópicos sobre la calidad de los terrenos, y para ayudar a escoger, entre diferentes sistemas de manejo, aquel que mejor conserve el mencionado "*patrimonio suelo*".

En este quinto y último capítulo se describen brevemente algunas de las principales circunstancias que pueden afectar la calidad de un suelo agrícola y, por ende, la obtención de buenas cosechas. Como conclusión, nos detendremos, en forma un poco más extensa, en subrayar la importancia que tiene la biodiversidad.

La labranza del suelo. Que se refiere al carácter físico del suelo en el contexto de su idoneidad para la producción de cultivos. Un suelo con la labranza adecuada es desmenuzable, bien estructurado, sin terrones grandes y duros y de color bastante oscuro por su buen contenido de materia orgánica.

Una profundidad suficiente. El estrato o capa superficial de suelo a través del cual se extienden las raíces debe tener una profundidad tal que permita crecer libremente al enraizado para que pueda encontrar con facilidad el agua y los nutrientes. Un suelo con poca profundidad es más susceptible a posibles daños por fluctuaciones climáticas, predisponiendo el cultivo a las inundaciones, al estrés por sequía y al ataque de fitopatógenos.

Buen drenaje y disponibilidad de agua. Durante una fuerte lluvia fuerte, un suelo saludable debe tener poros grandes y estables para almacenar agua. Estos poros grandes conducen el agua a los poros de tamaño pequeño y mediano, donde se almacenará para uso posterior. La gama de tamaños de poro en un suelo saludable permite un aumento de agua almacenada para períodos de sequía. Durante periodos de lluvia muy prolongados, los poros grandes se vacían por gravedad, permitiendo así el ingreso de aire fresco.

Baja incidencia de malezas. La presión de las malas hierbas es una limitante de importancia en la producción de cultivos. La maleza compite con los cultivos por el agua y los nutrientes que son esenciales para el crecimiento de la planta, pudiendo además bloquear la luz solar, interferir con el desarrollo del cultivo, con las operaciones de cosecha y propiciar enfermedades por plagas y patógenos.

Terreno libre de productos tóxicos. Los suelos sanos no presentan contenidos altos de toxinas o de productos químicos tóxicos, Un suelo rico en materia orgánica en comunidades microbianas es la mejor defensa ante los compuestos dañinos que pudiesen estar presentes.

Suficiente fertilización, pero sin exceso de nutrientes. Es indispensable que la planta tenga un suministro equilibrado y accesible de nutrientes. Su exceso puede conducir a lixiviación y contaminación de los mantos freáticos, alta escorrentía de

nutrientes y pérdidas de gases de efecto invernadero, así como toxicidad en plantas y comunidades microbianas.

Presencia de organismos benéficos. Hemos discutido ya, en éste mismo artículo, la trascendencia que tienen los microorganismos en el buen funcionamiento del suelo. Los organismos benéficos ayudan al reciclado de nutrientes, a la descomposición de la materia orgánica, al mantenimiento de la estructura del suelo, a la eliminación biológica de plaguicidas y contaminantes tóxicos, etc. Un suelo sano debe tener tendrá una población de organismos benéficos, grande y bien diversificada, para que el suelo pueda cumplir con sus funciones manteniéndose siempre saludable.

Limitada presencia de plagas y de fitopatógenos. En los sistemas de producción agrícola, las plagas y los patógenos de plantas además de causar enfermedades y daños al cultivo, parasitismo, y una competencia directa con los microorganismos benéficos del suelo por nutrientes y hábitat.

Resiliencia y resistencia a la degradación. Un suelo saludable debe poder recuperarse rápidamente después de haber tenido un evento negativo. En igual forma, un suelo con buena estructura y un alto contenido de biomasa microbiana, está mucho mejor preparado para resistir eventos negativos, tal como la erosión por viento y lluvia, inundaciones, sequía extrema, compactación por tránsito de vehículos, enfermedades y otros tipos de amenazas.

La Biodiversidad. La diversidad biológica se define como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. Según la investigadora colombiana Leidy Carolina Hernández, la biodiversidad se puede definir como “la variación de las formas de vida y se manifiesta en la diversidad genética, de poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes”. La biodiversidad reviste de gran importancia tanto por los servicios ambientales que se derivan de ella, como por sus múltiples usos.

La biodiversidad del suelo refleja la variedad de organismos vivos. Se comprende innumerables organismos no visibles a simple vista tal como los microorganismos (Bacterias, hongos, protozoarios y nematodos), la *mesofauna* (por ejemplo, ácaros, colémbolos) y la más reconocida macrofauna (lombrices y termitas). Las raíces de las plantas también se pueden considerar como organismos del suelo por su relación simbiótica y su interacción con otros componentes del suelo. Estos diversos

organismos interactúan entre sí y con las diversas plantas y biota del ecosistema, formando un complejo sistema de actividad biológica. Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Estos servicios no sólo son decisivos para la función de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un recurso fundamental para el manejo sostenible de los sistemas agrícolas. Actúan como agentes primarios para la conducción del ciclo de los nutrientes, la regulación de la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro del carbono en el suelo y las emisiones gases invernadero, modificando la estructura física del suelo y el almacenamiento de agua, aumentando la cantidad y disponibilidad de nutrientes para la vegetación y aumentando la salud de la planta.

La biodiversidad es indispensable para mantener las funciones fundamentales del ecosistema, su estructura y sus procesos. La diversidad genética de los cultivos desempeña una función crucial en el aumento y el mantenimiento de los niveles de producción y la diversidad nutricional en todas las diferentes condiciones agroecológicas. Diversos organismos que contribuyen a la biodiversidad del suelo desempeñan funciones vitales que regulan el ecosistema del suelo, como: la descomposición de residuos y el ciclo de los nutrientes; la conversión del nitrógeno atmosférico en una forma orgánica; la reconversión de éste en nitrógeno gaseoso; la alteración de la estructura del suelo. Según la FAO, los servicios ecosistémicos se definen como "los beneficios que proporcionan los ecosistemas a los seres humanos".

Los principales servicios ecosistémicos que proporciona la biodiversidad, como el ciclo de los nutrientes, la retención del carbono, la regulación de plagas y la polinización, sostienen la productividad agrícola. La promoción del funcionamiento saludable de los ecosistemas asegura la resistencia de la agricultura, a medida que ésta se intensifica para satisfacer la demanda creciente de alimentos.

El cambio climático y otras crisis pueden tener repercusiones importantes en las funciones fundamentales, como los servicios de polinización y regulación de plagas. Sigue suponiendo un desafío aprender a reforzar las relaciones ecosistémicas que favorecen la resistencia y a reducir las fuerzas que impiden que los agroecosistemas proporcionen bienes y servicios.

Referencias:

Le Sol. Propriétés et Fonctions. Raoul Calvet. Ed. Dunod.

FAO. www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration

A&L Analytical Labs. *Agronomy Handbook.*

Agricultura Regenerativa. Darren Doherty. Video

La Fertilización Razonada. Laboratorios A&L de Mexico SA de CV

Biodiversidad y Sustentabilidad, Leidy Carolina Hernandez. CORPOICA.

Comprehensive Assessment of Soil Health. The Cornell Framework Manual.

Wikipedia. Diversas entradas.



LABORATORIOS A-L DE MÉXICO S.A. DE C.V.

Calle Esmeralda # 2847. Colonia Verde Valle.

www.laboratoriosaldemexico.com.mx

44550 Guadalajara, Jalisco.

Tel. 33 3123 1823 y 33 3121 7925.

Información adicional: kcalderon@allabs.com. WhatsApp 33 28 03 79 60.

Laboratorios de Agroecología con una visión social y solidaria

VALORAMOS LA LIBERTAD DE INFORMACIÓN.

ESTE ARTÍCULO ES GRATUITO Y PUEDE SER REPRODUCIDO SIN NINGUNA LIMITANTE.