



Por:

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

Diagnóstico de la Salud del Suelo Agrícola

**LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO
ECONÓMICO DE LOS CULTIVOS**

COLECCIÓN AGRICULTURA RAZONADA

Por Karen Styger

Guadalajara

INDICE DE LA PRESENTACIÓN

PRIMERA PÁGINA

1. ¿POR QUÉ HACER ANÁLISIS DE SUELO?	4
2. SALUD FÍSICA DEL SUELO	4
2.1 Textura	4
2.2. Densidad Aparente	5
2.3. Sales Solubles	5
2.4. Conductividad Eléctrica	6
3. SALUD QUÍMICA DEL SUELO	6
3.1. pH de la Rizósfera	6
3.2. Encalado de suelos ácidos	7
3.3. Materia orgánica	7
3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico	8
3.5. Porcentaje de Saturación de Bases	9
4. NUTRIENTES MINERALES	9
4.1 Tipos de elementos minerales	10
4.2. Funciones de los elementos minerales	10
4.2.1 Macroelementos N, P, K	10
4.2.2 Elementos secundarios Mg, Ca, S	12
4.2.3. Microelementos B, Cu, Fe, Mn, Zn	12
5. LA RELACIÓN C/N DEL SUELO	15
6. SALINIDAD Y SODICIDAD	15
6.1. Sodicidad o Alcalinización	15
7. DEGRADACIÓN DEL SUELO	17

INDICE DE LA PRESENTACIÓN

SEGUNDA PÁGINA

8. SALUD BIOLÓGICA DEL SUELO	17
8.1. Rizosfera y fatiga del suelo	18
8.2. Biodiversidad biológica	18
8.3. 1. Microflora del suelo: las bacterias	19
8.3. 2. Microflora del suelo: las Algas	20
8.3.2. 1. Los extractos de algas	20
8.4. Los Actinomicetos	21
8.5. Los hongos del suelo	21
8.6. Micorrizas Arbusculares	22
8.7. Ecto y endomicorrizas	24
8.8. Microfauna del suelo. 1, los protozoarios	24
8.9. Microfauna del suelo. 2, los nemátodos	25
8.10. Antibióticos microbianos	25
8.11. Las sustancias húmicas	26
8.12. Los bioestimulantes	26
8.13. Los fosfitos en la agricultura	27
9. ADENDA	28
9.1. Resumen de los indicadores	28
9.2. Agua de Riego: el exceso de sales	30
10. BIBLIOGRAFÍA	32

1. ¿POR QUÉ HACER ANÁLISIS DE SUELO?

Es muy conveniente que los productores agrícolas programen diagnósticos periódicos, anuales o bianuales, de la “*Salud del Suelo*” para asegurar que el capital que tienen invertido en sus terrenos les proporcione los rendimientos económicos esperados. Un típico ecosistema terrestre está constituido por un ambiente físico y por una masa biológica que se influyen mutuamente. El ambiente físico está formado por el clima, la atmósfera, la litosfera y el agua. La masa biológica está sustancialmente integrada por (a) las plantas cultivadas, (b) la fauna del suelo, como insectos, lombrices, nemátodos, y (c) La microflora del suelo, como las bacterias, hongos, algas y líquenes.

Las bacterias representan el grupo más importante en los terrenos agrícolas, ya que destruyen la materia orgánica liberando energía y sustancias minerales. La intervención de una suficiente presencia de varios microorganismos fito-benéficos en los agroecosistemas, es importante en el control de parámetros tales como la estructura del terreno (génesis y degradación del suelo); en los ciclos del nitrógeno y del azufre (mineralización de azufre orgánico, inmovilización de azufre mineral, oxidación y reducción de los compuestos del azufre); en las transformaciones del fósforo (solubilización microbiana de los fosfatos, inmovilización microbiana del fósforo mineral, mineralización microbiana del fósforo orgánico); en las transformaciones del hierro, del potasio y del manganeso.

La producción agrícola altera siempre el equilibrio preexistente. Al establecer un nuevo cultivo se origina un agroecosistema que, aunque se cultive la misma planta del ciclo anterior, podrá tener un comportamiento diferente. En cada nuevo ciclo, el agroecosistema puede diferir respecto a los anteriores en función del clima, de la fertilización y de las enmiendas, sean químicas o biológicas, así como de posibles plagas, de la actividad y decisiones de los productores, etc. La salud del suelo en un ecosistema agrícola tiene tres componentes fundamentales: la salud física, la salud química y la salud biológica.

2. LA SALUD FÍSICA DEL SUELO.

2.1 Textura

Utilizando el método de Bouyoucos se establece la cantidad de arena, limo y arcilla que componen un predio determinado. Con ello se define el parámetro denominado la “*Textura del suelo*”. La textura y estructura del suelo influyen en la cantidad de aire y agua que puede proveerse a las plantas en crecimiento. El tamaño de partícula es importante porque las partículas de arcilla más pequeñas están más apretadas que las partículas grandes de arena. Esto significa menos poros para el aire y el agua. Sin embargo, las partículas pequeñas (como la arcilla fina) tienen áreas superficiales muy grandes. Una arcilla fina tiene cerca de 10 mil veces más superficie que el mismo peso de una arena de tamaño medio. A medida que aumenta el área superficial, aumenta la cantidad de agua adsorbida /o retenida. Las arenas retienen poca agua porque sus grandes espacios porosos permiten

Cuadro N.º 2.1

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Arcillas	Limos Finos	Limos Gruesos	Arena Fina	Arena Gruesa	Elementos Grandes
0.002 mm	0.02 mm	0.05 mm	0.2 mm	2.00 mm	Grava y piedrilla

que el agua drene libremente en el suelo. En cambio, las arcillas adsorben una cantidad relativamente grande de agua, y sus pequeños espacios de poros la retienen contra las fuerzas gravitacionales. En resumen, los suelos arcillosos (y aquellos que son ricos en materia orgánica) retienen el agua con más fuerza que los suelos arenosos. Es decir, el agua disponible varía con la textura del suelo, pero no existe una relación constante entre la textura del suelo y el agua disponible, pues los suelos de textura fina (arcillas) se compactan fácilmente, reduciendo el espacio de los poros y limitando el movimiento del aire y del agua.

NOTA: Los símbolos utilizados para establecer la textura, (Norma Oficial Mexicana 021) son los siguientes: R = Arcillosa; RI = Arcillo limosa; Ra = Arcillo arenosa; Cr= Franco arcillosa; Crl = Franco arcillo limosa; Cra = Franco arcillo arenosa; C = Francosas; Cl = Franco limosa; L = Limosa; Ca = Franco arenosa; Ac = Areno francosa, A = Arenosa. La Clasificación Textural se reporta utilizando estos símbolos.

Hay dos factores que son, entre ambos, parcialmente responsables de mantener la buena condición del tejido superficial del suelo: (a) la actividad biológica de los microorganismos en el estrato superficial y, (b) la consistencia de esta capa superficial. Este último factor depende de la resistencia al agua por parte de las sustancias aglutinantes del suelo. En el capítulo dedicado a la Salud Biológica del suelo, se presenta información detallada sobre la actividad biológica de los microorganismos.

2.2 Densidad Aparente.

La densidad es un indicador de la porosidad del suelo, (Peso por volumen del suelo). Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real varía con la proporción de elementos que constituyen el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica, sea un suelo compacto o bien un alto contenido de partículas como la arena. Un valor bajo no necesariamente indica un ambiente favorable para las plantas. El resto de las condicionantes para obtener un suelo saludable, son procesos agronómicos en campo.

Cuadro N.º 2.2
RELACIÓN ENTRE DENSIDAD APARENTE, % DE SÓLIDOS, Y % DE VOLUMEN DE POROS.

Densidad aparente en g/cm ³	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
El porcentaje de sólidos	38	42	45	49	53	57	60
Volumen de poros en %	62	58	55	51	47	43	40

Método: NOM – 021-2000

2.3. Sales solubles.

Las sales solubles que contiene el suelo se forman a consecuencia de mezclas entre elementos químicos, principalmente: Oxígeno (O), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Cloro (Cl), Azufre (S), Carbono (C) y Nitrógeno (N). Todos estos elementos están muy presentes en la corteza de la tierra, permitiendo un aumento del potencial osmótico del agua del suelo. La solubilidad de las sales varía según su composición química, y según el contacto que tiene con otros elementos de la tierra y el estado físico en el que se encuentra. Mientras más soluble sea una sal más presente estará en la solución del suelo. Generalmente las sales más solubles son los cloruros y nitratos, y, por otra parte, los menos solubles comúnmente son los carbonatos y los sulfatos. Lo más común es que los cloruros y los sulfatos de calcio y de magnesio predominen en los suelos salinos, mientras que en los suelos sódicos predominen los bicarbonatos y carbonatos de sodio. Su presencia define el *grado de salinidad* o de *sodicidad* del suelo.

2.4. Conductividad Eléctrica (CE).

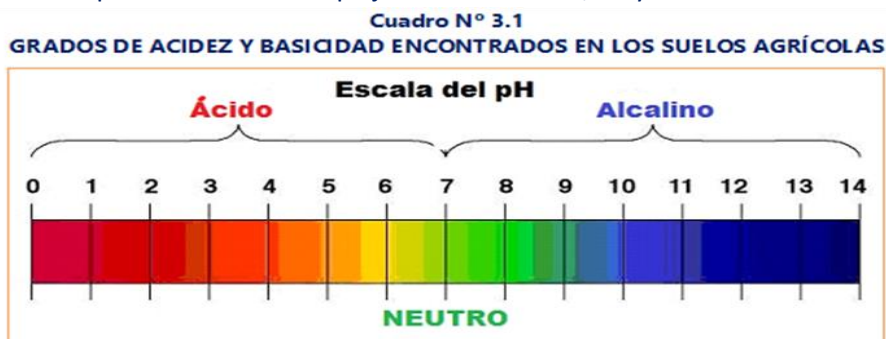
Las sales presentes en el suelo reducen el potencial osmótico de la solución del suelo, disminuyendo por consiguiente la disponibilidad de agua para las plantas, aun cuando el suelo muestre niveles razonables de humedad. El grado de salinidad se mide mediante la conductividad eléctrica, que es la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. La conductividad eléctrica es la inversa de la resistividad; su valor es más alto cuanto más fácil se mueva la dicha corriente eléctrica gracias a una concentración más elevada de sales. A mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. La unidad utilizada para establecer el nivel de Conductividad Eléctrica es el deciSiemens por metro (dS/m). Esta medida es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm.

3.LA SALUD QUÍMICA DEL SUELO.

3.1. pH de la Rizósfera.

Con el término “*rizósfera*” se hace referencia a una zona de interacción única entre las raíces y la microbiota (bacterias, hongos y algas) así como entre una micro y meso-fauna (protozoarios, nematodos, insectos y ácaros).

El término pH define la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia. La escala de pH cubre un rango de cero a 14. Un valor de pH de 7.0 es neutro. Valores por debajo de 7.0 son ácidos. Aquellos valores arriba de 7.0 se denominan básicos. Un ácido es una sustancia que libera iones de hidrógeno (H^+). Cuando un suelo está saturado con iones H^+ , este suelo se comporta como un ácido débil. Cuantos más iones H^+ están presentes en el complejo de intercambio, mayor es la acidez del suelo.



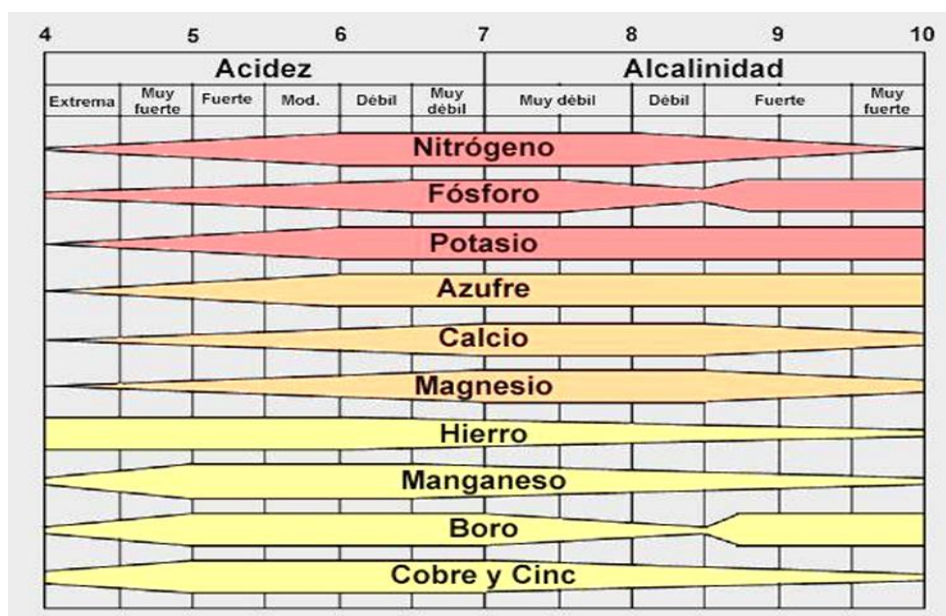
Cuadro N.º 3.1

INTERPRETACIÓN DE LOS VALORES DEL pH EN SUELO

pH	Clasificación	Comentario
Menor de 4.5	Muy fuertemente ácido	Muy ácido para la mayoría de los cultivos
4.5 - 5.2	Fuertemente ácido	Muy ácido para muchos cultivos
5.3 - 6.0	Medianamente ácido	Muy ácido para algunos cultivos
6.1 - 6.9	Ligeramente ácido	Óptimo para la mayoría de los cultivos
7.0	Neutral	Óptimo para la mayoría de los cultivos
7.1 - 7.5	Ligeramente alcalino	Óptimo para la mayoría de los cultivos
7.6 - 8.2	Medianamente alcalino	Muy alcalino para la mayoría de los cultivos
8.3 - 9.0	Fuertemente alcalino	Muy alcalino para la mayoría de los cultivos
9.1 y mayor	Excesivamente alcalino	Demasiado alcalino para la mayor parte

Nota: El Cuadro 3.1. reporta los valores del “pH Tampón”, que determina la acidez potencial del suelo, la cual depende de la cantidad y tipo de arcilla y del nivel de materia orgánica. Un pH con un valor tampón bajo representa una cantidad mayor de acidez potencial y, por lo tanto, se necesitará más cal para aumentar el pH del suelo a un nivel determinado.

Cuadro Nº 3.2.
DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL pH DEL SUELO



3.2. Encalado de suelos ácidos.

Un suelo ácido, es aquel que arroja un pH con un valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año. Los suelos tropicales viejos (oxisoles y ultisoles) son naturalmente ácidos y los suelos derivados de otros materiales parentales pueden volverse ácidos después de periodos largos de uso intenso. En cualquier caso, es necesario controlar la acidez, pues cuando los niveles de pH son ácidos, se presentan toxicidades por Al, y deficiencias por Mo, entre otras condiciones dañinas al cultivo. Los materiales más usuales para el encalado son la cal agrícola o calcita, la cal dolomita, el óxido de magnesio, e inclusive el óxido de calcio o las arcillas calcáreas. El laboratorio A-L recomienda el uso de cal agrícola de primera calidad, con un valor Total de Neutralización (VTN) o equivalente de CaCO_3 , de 90 % o más y una finura de 40 % malla 100. Un suelo con un pH de 6,0 tiene 10 veces más actividad de H^+ que uno con un pH de 7.0 , por ello, la cantidad de cal agrícola aumenta rápidamente conforme va descendiendo el valor del pH. En el reporte al productor se indican las toneladas de cal agrícola que se deben aplicar, según el pH que se haya encontrado.

3.3. Materia orgánica (MO).

La materia orgánica es un componente muy valioso para el suelo, ya que contribuye a sustentar el crecimiento y desarrollo de los cultivos ya que está formada por materia inerte y energía. La MO tiene su origen en la descomposición de los restos de animales, de plantas, de sus residuos y rastrojos que, a su vez, están hechos de compuestos tales como carbohidratos, ligninas y proteínas. La materia orgánica del suelo se define también como el conjunto de células animales y vegetales descompuestas -total o parcialmente - en dióxido de carbono y humus mediante la acción de

diversos microorganismos. Existe una relación estrecha entre el contenido de la materia orgánica y el rendimiento del cultivo. En los contenidos de MO del suelo inciden varios factores, entre ellos: la cantidad y tipo de microorganismos presentes, el tipo de suelo, la temperatura promedio, el relieve del terreno, el régimen de lluvias, etc, todos ellos influyen en el rendimiento del cultivo.

Cuadro 3.2
RANGOS DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELO

Muy Bajo = 0-1.7	Bajo= 1.8-3.6	Medio= 3.7-5.9	Alto= 6.0-8.5	Muy Alto=> 8.6
-------------------------	----------------------	-----------------------	----------------------	--------------------------

Método LOI. (Lost on Ignition). NOM 021

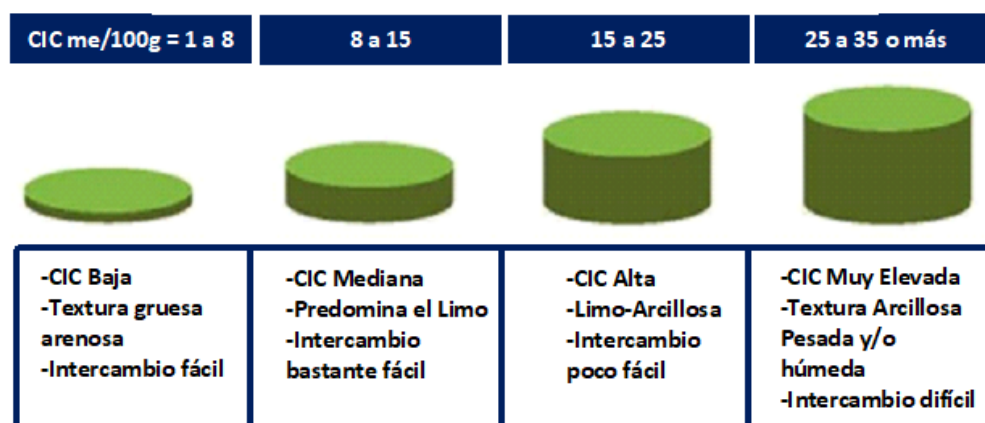
La presencia de suficiente materia orgánica en el suelo es indispensable porque mejora la estructura y el drenaje del suelo, calienta la tierra para mejorar el desarrollo de las raíces (actuando como abono), reduce los efectos de la erosión y mejora el aprovechamiento del agua, entre otros.

Nota: En forma simultánea a la evaluación del contenido de Materia Orgánica (MO), se reporta por cálculo la “Estimación del Nitrógeno Liberado”, (ENL), el cual está en función del mayor o menor valor del contenido de Materia Orgánica.

3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico.

Los cationes retenidos por los suelos pueden ser sustituidos por otros cationes, propiedad que los hace “*intercambiables*”. El Ca^{++} , por ejemplo, puede ser intercambiado, por H^{+} y/o K^{+} y viceversa. El número total de cationes intercambiables que puede retener un suelo (la cantidad de su carga negativa) se denomina su *Capacidad de intercambio Catiónico*, o *CIC*. Cuanto mayor es la CIC de un suelo, son más los cationes que puede retener. Los suelos difieren en su capacidad para retener K^{+} intercambiables y otros cationes. La CIC depende de las cantidades y tipos de arcilla y materia orgánica presentes. Un suelo alto en arcilla puede contener más cationes intercambiables que un suelo bajo en arcilla. La CIC aumenta a medida que aumenta la materia orgánica.

Gráfica 3.3.1
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO



La CIC de un suelo se expresa en términos de miligramos equivalentes por 100 gramos de suelo y se escribe como meq /100g. Los minerales de arcilla por lo general van de 10 a 150 meq /100g en valores de CIC. La materia orgánica varía desde 200 hasta 400 meq /100g. Así, el tipo y la cantidad de arcilla y de materia orgánica influyen en gran medida en la CIC de los suelos. Cuando los suelos están muy húmedos (lodos...) y los niveles de materia orgánica son bajos, los valores de CIC son usualmente bajos. Con suelos menos húmedos y niveles de materia orgánica más altos, los valores

de la CIC pueden también ser muy altos. Los suelos arcillosos con alta CIC pueden retener grandes cantidades de cationes contra posibles pérdidas por lixiviación. Los suelos arenosos, con baja CIC, retienen cantidades menores. Un considerable exceso de sales solubles puede significar enanismo del cultivo, marchitez o necrosis. Esto significa que la planificación de la época y del volumen de aplicación de fertilizantes, que aportan sales, sea una variable importante.

3.5. Porcentaje de Saturación de Bases.

El porcentaje de la CIC total que corresponde a los principales cationes intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) se ha utilizado en el pasado para desarrollar programas de fertilización. La idea es que se necesitan ciertas proporciones de nutrientes o "balances" para asegurar la absorción adecuada por el cultivo a fin de obtener rendimientos óptimos. La investigación ha demostrado, sin embargo, que los rangos y las proporciones de saturación de cationes tienen poca o ninguna utilidad en una gran mayoría de suelos agrícolas. En condiciones de campo, los rangos de nutrientes pueden variar ampliamente sin efectos perjudiciales, siempre y cuando los nutrientes individuales que están presentes en el suelo tengan los niveles suficientes para apoyar el crecimiento óptimo de las plantas. En resumen: los coloides, las partículas más finas del suelo, tienen una gran densidad de cargas negativas (-) que atraen y retienen iones de carga positiva (+) denominados "cationes".

Cuadro 3.4.1

Saturación de Bases

RANGOS INDICATIVOS PARA CADA CATIÓN DEL SUELO

% Potasio	% Calcio	% Magnesio	% Hidrógeno	% Sodio
5 - 7	50 - 70	10 - 20	< 20	< 9

Nota: algunas instituciones proponen para el % de Sodio un rango < 15

Nota: Los intentos de llevar los componentes de la CIC a estos valores indicativos no siempre se logran. Sin embargo, todo indica que deben evitarse las proporciones extremas. Los valores indicativos que aparecen en el siguiente Cuadro 3.4.2, aparecen también en nuestros reportes de suelo, y son utilizados para dar las recomendaciones de enmiendas o de fertilización.

Cuadro 3.4.2

PROPORCIONES RELATIVAS DE CATIONES

Relación K / Mg = 0.25 - 0.50	Relación Ca / Mg = 6.0 - 7.5
--------------------------------------	-------------------------------------

(Ver reportes fisicoquímicos de fertilidad de suelos)

4. NUTRIENTES MINERALES

Breve recordatorio sobre los procesos de nutrición en las plantas.

Tres elementos esenciales, carbono, hidrógeno y oxígeno, son obtenidos por la planta, en forma mayoritaria, a través del aire y del agua. Los otros elementos nutrientes minerales son absorbidos a través de las raíces. La agrupación de los minerales en 3 tipos de elementos (macro, secundarios y micro) se basa en las cantidades requeridas por la planta, pero todos son igualmente esenciales. Los procesos de absorción pueden ser los siguientes:

- La mineralización, que libera los elementos nutrientes. A continuación, los procesos de óxido-reducción hacen evolucionar los elementos metálicos, sea hacia formas reducidas más solubles, sea hacia formas oxidadas menos solubles de la CIC pueden también ser muy altos. Los suelos arcillosos con alta CIC pueden retener grandes cantidades de cationes contra posibles pérdidas por lixiviación. Los suelos arenosos, con baja CIC, retienen cantidades menores. Un considerable exceso de sales solubles puede significar enanismo del cultivo, marchitez o necrosis.

Esto significa que la planificación de la época y del volumen de aplicación de fertilizantes, que aportan sales, sea una variable importante. (Ver, más adelante, en el inciso 8.5, la función de los hongos en la mineralización de elementos minerales).

- La formación de complejos. Según las condiciones del medio y de la descomposición de las materias orgánicas, pueden generarse sea complejos insolubles, sea favorecer la posible descomposición de los microelementos.

4.1. Tipos de elementos minerales:

Los macronutrientes son el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y el Potasio (K). Los elementos secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S). Los microelementos: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), y Níquel (Ni).

Nota: estos dos últimos, Mo y Ni, son necesarios en ciertos cultivos.

4.2 Funciones de los nutrientes minerales.

4.2.1. Macroelementos N, P, K.

Nitrógeno (N)

Recordemos que ni los humanos ni los animales pueden absorber directamente el nitrógeno del mineral aire ni tampoco el nitrógeno del aire. Son las plantas, o ciertos microorganismos, los que les proporcionan en forma orgánica el nitrógeno que se necesitan para sintetizar las proteínas. El papel de las proteínas es fundamental en las fases de crecimiento y desarrollo de los organismos vivos, muy importante para obtener un alto rendimiento en el cultivo. El suelo requiere grandes cantidades de este elemento, el cuál es uno de los componentes principales de las proteínas, esencial en la fotosíntesis y en la producción de azúcares. Los cultivos aprovechan el N orgánico de los rastrojos que permanecen o que se añaden al suelo. La masa de nitrógeno (N) contenida en los suelos cultivados, casi exclusivamente orgánico, puede alcanzar de 3 a 5 toneladas por hectárea. Se encuentra principalmente en la capa arada (de aproximadamente 0 a 30 cm de profundidad). En el suelo, el nitrógeno mineral puede presentarse en tres formas: el ion amonio (NH_4^+) o nitrógeno amoniacal, el ion nitrito (NO_2^-) o nitrógeno nitroso y el ion nitrato (NO_3^-), o nitrógeno nítrico. Tanto el nitrato como el amonio son las formas de N que absorben las plantas. La *nitrificación* es el proceso de conversión microbiana de NH_4^+ a NO_3^- . A causa de los cambios continuos en las formas y en la disponibilidad del nitrógeno, las determinaciones de los niveles de N en el suelo tienen un valor limitado para predecir su disponibilidad a corto plazo para las plantas. En el suelo, los cultivos y los microorganismos compiten entre sí por el nitrógeno disponible en el suelo. Los microorganismos, gracias a su movilidad y a su amplia distribución en los predios, son más eficientes que las plantas para capturar el nitrógeno existente.

Fósforo (P).

El papel del elemento fósforo es importante en el establecimiento de las estructuras biológicas y en el funcionamiento de los procesos metabólicos esenciales para la vida. El contenido de fósforo (P) de los suelos, es la única fuente de fósforo que tienen disponible las plantas. Se encuentra ahí en

forma de compuestos orgánicos y minerales. Entre los procesos metabólicos en que participa, están: la fotosíntesis, la transferencia de energía, la síntesis y la degradación de los carbohidratos. Su presencia es indispensable para un buen crecimiento del área radicular de las plantas, para el desarrollo temprano de brotes y macollaje. Una reducida extensión de los entrenudos es síntoma de un insuficiente suministro de fósforo. El ciclo del fósforo difiere con respecto al del carbono, nitrógeno y azufre en un aspecto muy principal: el fósforo no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme.

Nota: La palabra micorriza, define la simbiosis entre un hongo (mycos) y las raíces (rhizos) de una planta. En una relación simbiótica ambos participantes obtienen beneficios. La planta recibe del hongo principalmente nutrientes minerales y agua, y el hongo obtiene de la planta hidratos de carbono y vitaminas que por sí mismo es incapaz de sintetizar. La asociación simbiótica se establece entre las raíces de plantas y las hifas de hongos. Los sistemas de micorrizas son particularmente efectivos en la transferencia de fósforo y microelementos a la planta huésped.

Gráfica 4.2.1
RAÍCES NO MICORRIZADAS -VS- RAÍCES MICORRIZADAS



Raíces no micorrizadas (izquierda); raíces micorrizadas (derecha).

Potasio (K).

El potasio ayuda a la fotosíntesis y por eso es importante para el crecimiento productivo y el desarrollo más fuerte de tallos con menos encamado. Así, igual que el nitrógeno, el Potasio también estimula el desarrollo de los cultivos. Es importante que nitrógeno y potasio estén equilibrados. Mientras respuestas a N pueden ser pequeñas, el uso de potasio al mismo tiempo que nitrógeno asegura mejores rendimientos del cultivo. El potasio (K) se absorbe como K^+ . Al tener una carga positiva, el K interactúa con los cationes importantes en lo que respecta a su absorción y acumulación dentro de los tejidos vegetales. Existe interacción entre nitrógeno amónico (NH_4^+), calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y sodio (Na^+) con el K^+ , que son los cationes predominantes en suelo.

Nota. La eutrofización. Con este término se designa el enriquecimiento excesivo en nutrientes de un ecosistema acuático. Específicamente al aporte masivo de nutrientes inorgánicos que contienen nitrógeno y fósforo en un ecosistema acuático con la entrada de agua restringida, como por ejemplo en un lago. Los ecosistemas eutrofizados se caracterizan por una abundancia anormalmente alta de nutrientes, de forma que se produce una proliferación descontrolada de algas y cianobacterias que forman una capa superficial que impide el paso de la luz solar y de la fotosíntesis por debajo de ellas. El potasio no causa riesgos al medio ambiente.

4.2.2. Elementos secundarios, Mg, Ca, S. Magnesio (Mg)

El magnesio ha sido reconocido como uno de los siete elementos minerales más esenciales para las plantas superiores. (N, P, K, S, Ca, Mg y Fe). Cuando se identificó su presencia en la molécula de clorofila, fundamental para la fotosíntesis, se percibió aún más su importancia. A diferencia de calcio, el magnesio es más móvil en las plantas y puede ser translocado desde hojas maduras a crecimiento nuevo y activo. Bajos niveles de magnesio durante periodos de fuerte crecimiento podrían dar por resultado un pobre rendimiento del cultivo. Los minerales de magnesio se encuentran ampliamente distribuidos en la tierra en forma de óxidos, carbonato, cloruro o sulfato. El magnesio se puede incorporar a la calcita para transformarla en cal dolomítica, una mezcla de dos carbonatos de calcio y magnesio, en proporciones variables.

Calcio (Ca)

Calcio es responsable para la estabilidad fisiológica del tejido vegetal. Ayuda en la formación de paredes celulares fuertes y es vital para la integridad de las membranas celulares. Un buen suministro de calcio mantiene una buena estructura de la planta y su sanidad, reduce la formación de grietas en tallo y hojas, y disminuye el ingreso de enfermedades. El elemento calcio asegura plantas resistentes, protege la producción de raíces, hojas y tallos, así manteniendo la arquitectura de la caña de azúcar y su crecimiento.

Azufre (S)

La mayor parte del azufre total del suelo se encuentra bajo forma de combinaciones orgánicas, no directamente utilizables por la planta. La mineralización del azufre orgánico puede efectuarse a partir de dos procesos (a) un proceso biológico, en el cual el nitrógeno y el azufre asociados al carbono, son mineralizados por los microorganismos oxidando el carbono para obtener la energía necesaria a su metabolismo; y (b) un proceso bioquímico, por hidrólisis enzimática. En los suelos cultivados los sulfatos químicamente estables son la forma dominante. El ion sulfato es muy débilmente retenido en el suelo; su movilidad en el suelo es alta, muy parecida a la de los nitratos. Las pérdidas por drenaje pueden ser importantes cuando la capacidad de intercambio catiónico es débil. Los requerimientos de azufre del suelo están íntimamente relacionados con la cantidad de N disponible para las plantas en el cultivo. Esta estrecha relación no debe sorprendernos, ya que ambos son constituyentes de las proteínas y están asociados con la formación de la clorofila. Una relación N / S adecuada para la mayoría de las plantas es, por lo general, de aproximadamente 15 a 1. El nitrógeno y el S están vinculados, además, por el papel del S en la activación de la reductasa del nitrato, una enzima necesaria para la transformación del nitrato en los aminoácidos de las plantas.

4.2.3 Los micronutrientes: Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc.

Los micronutrientes juegan un papel importante en incrementar el rendimiento. Para satisfacer los requerimientos de un cultivo se requieren niveles muchos más bajos de micronutrientes que en los demás elementos. Sin embargo, todos tienen una función importante en el desarrollo. El pH del suelo, como se ha señalado, es uno de los parámetros más trascendentes ya que influye directamente sobre la solubilidad y, con frecuencia, en la biodisponibilidad de los microelementos.

El contenido total de micronutrientes en el suelo no es útil para indicar la cantidad disponible de cada microelemento para el crecimiento de las plantas durante la temporada agrícola. Pero es, en cambio, un buen indicador que proporciona una valiosa orientación sobre la abundancia relativa y la posible necesidad de un suministro adicional.

Microelemento Boro (B)

El boro es un nutriente esencial para la germinación de los granos, para el desarrollo de las células de las paredes y de las semillas. Este elemento forma complejos de boratos/azúcares asociados con la translocación de azúcar, siendo también importante en la formación de proteínas. La deficiencia de boro generalmente inhibe el crecimiento de la planta.

Microelemento Cobre (Cu)

El cobre es necesario para la formación de clorofila en las plantas, sirviendo de catalizador para diversas otras reacciones. Aunque por lo general no es parte de los productos formados por dichas reacciones. Este elemento tiene una menor disponibilidad conforme aumenta el pH. En suelos altos en materia orgánica, la disponibilidad del Cu se encontrará asociada de forma más estrecha con el contenido de materia orgánica que con el pH. Los suelos muy ricos en M.O. retienen el Cu fuertemente, disminuyendo su disponibilidad.

Cuadro N° 4.2.3.1
RANGOS DE PH PARA LA MÁXIMA DISPONIBILIDAD DE LOS MICROELEMENTOS

Microelemento	Símbolo	pH. Rango Óptimo
Boro	B	5.0 - 7.0
Cobre	Cu	5.0 - 7.0
Hierro	Fe	4.0 - 6.5
Manganeso	Mn	5.0 - 6.5
Zinc	Zn	5.0 - 7.0

Los microelementos Hierro (Fe) y Manganeso (Mn).

Estos dos micronutrientes son influenciados en forma muy similar por los factores de cultivo que afectan la bio-disponibilidad. Ambos nutrientes incrementan su disponibilidad conforme el pH del medio se vuelve ácido y son menos disponibles cuando el pH del medio se hace alcalino. Usualmente ninguno de los dos es deficiente, a menos que el productor provoque un cambio significativo en el pH del suelo a través de la fertilización o del encalado. Los cultivos que contienen Manganeso y Hierro deben monitorearse frecuentemente mediante análisis foliares para asegurarse que ninguno de ellos se aproxime a los niveles tóxicos. Antes de programar la aplicación de estos micronutrientes conviene tener ya establecido un programa periódico de controles foliares.

El hierro, como el manganeso, es un catalizador en la formación de clorofila, actuando como transportador de oxígeno. Ayuda también en la formación de ciertas enzimas del sistema de respiración. Las deficiencias de hierro, denominadas “clorosis”, se muestran como hojas de color verde pálido. Con una clara distinción entre venas verdes y los tejidos amarillos entre venas. Al igual que en el manganeso, los síntomas de deficiencia de hierro aparecen primero en las hojas más nuevas en la parte superior de la planta. Una severa deficiencia provoca que la planta completa tenga un color amarillento.

El manganeso funciona principalmente como parte del sistema enzimático de las plantas. Este elemento activa varias importantes reacciones metabólicas teniendo un papel sobresaliente en la fotosíntesis ayudando a la formación de la clorofila. El manganeso acelera la germinación y la humedad, incrementando la disponibilidad de fósforo y de calcio. Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más jóvenes donde se producen amarillamientos entre las venas. Las deficiencias de Mn ocurren con más facilidad suelo con alta MO y con pH neutros o alcalinos.

Cuadro Nº 4.2.3.2

INTERACCIÓN ENTRE EXCESOS Y POSIBLES DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES

Nutrientes en Exceso (En promedio)	Nutrientes que podrían estar deficientes en la planta
Nitrógeno	Potasio, Calcio
Potasio	Nitrógeno, Calcio, Magnesio
Fósforo	Cobre, Zinc, Hierro
Calcio	Magnesio, Boro
Magnesio	Calcio, Potasio
Sodio	Potasio, Calcio, Magnesio
Manganeso	Hierro, Molibdeno
Hierro	Manganeso
Zinc	Manganeso, Hierro
Cobre	Manganeso, Hierro, Molibdeno

El microelemento Zinc. (Zn)

El zinc es un micronutriente que participa en varias funciones enzimáticas de las plantas. La disponibilidad de zinc en el suelo o en los sustratos se relaciona inversamente al pH de la zona de raíces, disminuyendo al aumentar el pH. La disponibilidad de zinc también se reduce cuando el fósforo (P) alcanza altos niveles de acumulación en la zona de raíces. Los niveles de zinc en el tejido vegetal necesitan monitorearse cuando se aplican altos volúmenes de fósforo en el suelo o en el sustrato de base. Cuando hay un uso intensivo de fungicidas como sería el “Mancozeb”. (Que es un

Cuadro Nº 4.2.3.2

SENSIBILIDAD DE ALGUNOS CULTIVOS A LA INSUFICIENCIA DE MICROELEMENTOS

	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Agave						
Aguacate						
Ajo						
Alfalfa						
Arroz						
Cafeto						
Caña Azúcar						

Poco sensible.
 Sensible.
 Muy sensible.

ditiocarbamato con muy alto contenido de zinc). Este plaguicida, al igual que otras formulaciones similares, puede inducir deficiencias de hierro y de manganeso en el tejido vegetal de las plantas.

5.LA RELACIÓN C/N DEL SUELO

Los organismos están compuestos principalmente por partículas de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, en menores cantidades, por fósforo y azufre. La mayor parte del nitrógeno del suelo es orgánico; solo una pequeña parte del nitrógeno del suelo es mineral, en forma de nitratos, nitritos y amoníaco libre. El porcentaje determinado en el laboratorio de carbono en suelos agrícolas pertenece al carbono orgánico. Los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica fresca (MOF) obteniendo energía con la oxidación del carbono orgánico desprendiendo dióxido de carbono y agua, según la ecuación siguiente: $\text{Materia orgánica Fresca} + \text{O}_2 = \text{Energía} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Al obtener energía, los microorganismos aceleran su reproducción, la cual generalmente es por división. Con la reproducción aumentan las necesidades de nitrógeno, ya que para la formación de nuevos organismos se necesitan proteínas. Este nitrógeno puede provenir de dos fuentes; directamente de los restos orgánicos, o bien extraído en forma directa de los minerales presentes en el suelo. Algunas bacterias *azotobacter* consiguen incluso fijar el nitrógeno (N) directamente de la atmósfera. Se puede entonces considerar al nitrógeno como un elemento limitante para la descomposición de la materia orgánica. Tomando en cuenta la acción conjunta de los microorganismos, del carbono orgánico y del nitrógeno que los microorganismos necesitan para su procreación, se ha establecido un cociente denominado “Relación de Carbono a Nitrógeno”, siendo su notación C/N. Esta relación entre los contenidos de carbono y de nitrógeno del material orgánico del suelo (o de los sustratos y las compostas), constituye un índice aproximado del grado de desarrollo alcanzado por el proceso de degradación de la materia orgánica.

6.SALINIDAD Y SODICIDAD

Las sales que se acumulan en el suelo tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, provienen de muy diferentes orígenes. Generalmente, pueden ser de origen natural o proceder de contaminaciones antrópicas. La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad: cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos), o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación. En un clima árido, los periodos húmedos provocan la disolución de las sales, y con ello su movilización, mientras que con intensas y largas sequías se originan fuertes evaporaciones, que concentran las sales de la solución del suelo. Bajo climas húmedos, las sales solubles en un principio presentes en los materiales del suelo son lavadas y transportadas hacia los acuíferos subterráneos y finalmente llevadas a los océanos. Existe una clasificación generalizada que agrupa las plantas en halófitas y no halófitas. Las primeras se refieren a aquellas plantas que poseen mecanismos de resistencia a la salinidad, aunque su grado de tolerancia es muy variable.

6.1. Sodicidad o alcalinización. Esta situación se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen muy

importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio. Un elevado contenido en Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , da lugar al incremento de este ion en el complejo de cambio, lo que provocaría, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Por lo general se admite que, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio adsorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $\text{Na} / \text{S} > 15\%$ (S = suma de otros cationes adsorbidos).

Cuadro Nº 4.3.

Análisis de Fertilidad Físicoquímica del Suelo.

RANGOS DE SUFICIENCIA PARA CALIFICAR CONTENIDOS POR ELEMENTO

Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V. (Mehlich III Extraction Ratings)					
Calcium					
%Ca	Very Low 0-30	Low 31-50	Medium 51-70	Optimum 71-80	Very High > 80
Potassium - ppm					
CEC	Very Low	Low	Medium	Optimum	Very High
<5	0-40	41-68	69-93	94-113	> 113
5.0-9.9	0-55	56-93	94-128	129-155	> 155
10.0-15	0-67	68-110	111-153	154-188	> 188
>15	0-78	79-128	129-175	176-215	> 215
Magnesium - ppm					
CEC	Very Low	Low	Medium	Optimum	Very High
<5.0	0-15	16-58	59-80	81-100	> 100
5.0-9.9	0-30	31-60	61-145	146-175	> 175
10.0-15	0-35	36-65	66-190	191-230	> 230
>15	0-40	41-70	71-215	216-265	> 265
All Others					
Test	Very Low	Low	Medium	Optimum	Very High
Organic Matter	0-1.7	1.8-3.6	3.7-5.9	6.0-8.5	> 8.6
pH (limed to 5.5)	0-4.5	4.6-4.9	5.0-5.1	5.2-5.7	> 5.7
pH (limed to 6.5)	0-5.3	5.4-5.7	5.8-6.0	6.1-6.8	> 6.8
pH (limed to 6.9)	0-5.7	5.8-6.1	6.2-6.6	6.7-7.3	> 7.3
Phosphorus - ppm	0-3	4-14	15-30	31-50	> 50
Sodium - % sat.	0-2	3-5	6-9	10-14*	> 14
Soluble Salts - mmho/cm	0-0.4	0.5-0.7	0.8-1.5	1.6-2.4*	> 2.4
Boron - ppm	0-0.1	0.2-0.3	0.4-0.5	0.6-1.5	> 1.5
Copper - ppm	0-0.3	0.4-0.8	0.9-2.9	3.0-6.0	> 6.0
Iron - ppm	0-24	25-50	51-100	101-200	> 200
Manganese - ppm	0-11	12-25	26-150	151-250	> 250
Sulfur - ppm	0-4	5-10	11-20	21-40	> 40
Zinc - ppm	0-0.5	0.6-1.5	1.6-3.0	3.1-9.0	> 9.0

Fuente: Agronomy Handbook. Waypoint Analytics Inc.

La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades físicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan, los agregados estructurales se destruyen.

Cuadro Nº 6.1.

CATEGORÍAS DE SUELOS

Suelos Normales: CEs	< 4 dSm-1 a 25°C	y PSI < 15%
Suelos Salinos: CEs	> 4 dSm-1 a 25°C	y PSI < 15%
Suelos Sódicos: CEs	< 4 dSm-1 a 25°C	y PSI > 15%
Suelos Salino-Sódicos: CEs	> 4 dSm-1 a 25°C	y PSI > 15%

CEs = Conductividad eléctrica del suelo PSI = % de Sodio Intercambiable

7. DEGRADACIÓN DEL SUELO

La degradación del suelo, por lo general es un proceso muy complejo. Son varias las principales características por las que se puede reconocer el deterioro de un suelo: pérdida de tierra; las limitaciones en las funciones normales del suelo; disminución de la fertilidad y, por ende, de su capacidad productiva. Los principales procesos que conducen a la degradación del suelo son:

(1) erosión del suelo por el agua y el viento; (2) Desarrollo de reacciones extremas del suelo (acidificación; salinización / alcalinización); (3) degradación física (destrucción estructural, es decir la compactación; un régimen de humedad extrema); (4) degradación biológica; (5) cambios desfavorables en el régimen de nutrientes; (6) disminución de la capacidad amortiguadora, lo cual conduce a tóxicas contaminaciones. Los suelos son el recipiente de numerosos compuestos orgánicos de muy diferentes estructuras químicas. Aunque las cantidades aplicadas son muy variables. La gran mayoría de estos contaminantes provienen del uso indiscriminado de fertilizantes químicos y plaguicidas, que pueden ser de varios tipos: halogenados, organofosforados, metil-carbamatos, fungicidas de tio-carbamatos, y herbicidas a base de triazinas, fenil-urea o ácido-clorados. (tipo el herbicida 2,4-D) .

Cuadro Nº 7.1
EFFECTOS ÚTILES O TÓXICOS DE DIVERSAS TRAZAS DE ELEMENTOS

Elemento	Utilidad		Toxicidad		Efectos
	Plantas	Animales	Plantas	Animales	
Cd	No	No	Sí	Sí	Cancerígeno, daño a riñones, cerebro
Co	Sí	Sí	Sí	Sí	Baja toxicidad con precauciones
Cr	No	Sí	Sí	-	Cr hexavalente. Muy tóxico, Cáncer
Cu	Sí	Sí	Sí	-	Alzheimer, efectos cardiovasculares
Hg	No	No	-	Sí	Enfermedad de Minamata, Cáncer
Ni	No	Sí	Sí	Sí	Tóxico cancerígeno
Pb	No	No	Sí	Sí	Trastornos cerebrales, toxicidad
Se	Sí	Sí	Sí	Sí	Selenosis. Problemas sistema nervioso
Zn	Sí	Sí	Sí	-	Diarrea, náuseas y vómitos

8. LA SALUD BIOLÓGICA DEL SUELO.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, es una organización internacional que tiene, como una de sus principales funciones, ayudar en la modernización y mejoramiento de la actividad agrícola. La FAO ha inventariado los indicadores de “Salud del Suelo” considerando sus aspectos físicos, químicos y biológicos. Entre estos indicadores fisicoquímicos se han descrito las características físicas del suelo, textura, densidad y porosidad, es decir, disponibilidad de aire (oxígeno) para las raíces, la disponibilidad de elementos nutrientes, la capacidad de retención de estos nutrientes, la Relación C/N del suelo, la toxicidad y niveles de salinidad, entre varios otros indicadores. En lo que se refiere al diagnóstico de la “Salud Biológica” del suelo, el primer objetivo que se busca al tratar de incrementar la productividad de un suelo es conocer la composición de la comunidad microbiológica benéfica (como los hongos, las bacterias

los nemátodos ...) que está presente en la “biocenosis” , es decir en la comunidad biológica (o “biótica”) que existe en los terrenos; así como su estructura; entendiendo esta como la relación de los microorganismos con el medio en el que viven (el biotopo) el cual ofrece o no condiciones ambientales indispensables para su supervivencia y desarrollo. El campo cultivado sería la “agrobiocenosis” que, junto con su entorno físico químico (el biotopo) forman lo que se denomina *un agroecosistema*.

8.1. Rizósfera y fatiga del suelo.

Como brevemente ya se mencionó, la coexistencia de plantas y organismos del suelo es más evidente en el área que rodea las raíces; la rizosfera. Esta área está densamente poblada por hongos y bacterias. Que envuelven las raíces en una capa de microorganismos lo que hace especialmente patente la necesidad de convivencia. Esta coexistencia depende de la reciprocidad, es decir la simbiosis; mientras que las raíces excretan continuamente material orgánico y desprenden células, entregando alimento a los microorganismos, los organismos también ayudan a las plantas al descomponer los micronutrientes en una forma utilizable. Este tipo de rizosfera simbiótica se puede encontrar en cualquier suelo no trabajado y en campos sanos. Es imposible que un solo miembro prolifere por sí solo, un estado descrito como un “equilibrio biológico”. Es cierto que la insuficiente absorción de nutrientes en las raíces se puede compensar, hasta cierto punto, agregando una mayor cantidad de fertilizante -dentro de ciertos límites- con lo cual aparentemente se supera la “*fatiga del suelo*”. Este último término hace referencia agotamiento de los nutrientes en el suelo o, eventualmente, a infecciones de plagas y reducción de los rendimientos. Diversos problemas tales como deterioro progresivo en la calidad y fertilidad de los suelos; fitosanitarios; nutricionales; son síntomas de fatiga del suelo.

8.2. Biodiversidad biológica del suelo

La diversidad biológica o ‘*biodiversidad*’ se define como “la variabilidad de organismos vivos de cualquier origen ya sea terrestre acuático o marino”. Comprende la diversidad dentro de cada especie (diversidad genética), entre las especies (diversidad de organismos) y de los ecosistemas (diversidad ecológica. La disminución del número de especies vegetales con diferentes sistemas radicales, de la cantidad y la calidad de los residuos de las plantas o del contenido de materia orgánica del suelo, limita la variedad de hábitats y de alimentos para los organismos del suelo. La enorme cantidad de microorganismos vivos presentes en el suelo está formada por bacterias, protozoarios, hongos, y nematodos.

Los organismos del suelo son muy importantes, porque llevan a cabo numerosas funciones vitales en el ecosistema del suelo, las cuales tienen interacciones directas con los sistemas biológico, atmosférico e hidrológico. Son responsables del ciclo de nutrientes, al regular la dinámica de la materia orgánica de los suelos, de la retención de carbono por el suelo y de las emisiones de gases de efecto invernadero; modifican la estructura física de los suelos y los regímenes hídricos, y refuerzan la salud de las plantas. La interacción los organismos del suelo entre sí y con las plantas y los animales forma una red compleja de actividad ecológica denominada red trófica- edáfica. Estas funciones e interacciones constituyen un recurso importante para la gestión sostenible del cultivo.

Cuadro Nº 8.2.
MICROORGANISMOS EN UNA PARCELA DE SUELO

Organismo	Número
Bacterias	200 mil millones
Protozoarios	20 millones
Hongos	100,000 metros
Nematodos	100,000

8.3. Microflora del suelo: las bacterias.

Las Bacterias influyen en la oxidación de diferentes elementos y compuestos: Hierro (Fe), Ácido Sulfhídrico (HS), Azufre elemental(S), Mineral Pirita (FeS₂) y Cobre (Cu). Las bacterias participan en los procesos de reducción de hierro, manganeso y sulfato. Todos los procesos mencionados producen cambios en las condiciones nutricionales y en la mineralogía del medio, condicionando así su evolución y el tipo de organismos mayores que pueden establecerse en él. Existen varias condiciones del suelo, que pueden favorecer o no la presencia de las bacterias:

- La Materia Orgánica, que asegura el suministro de carbono. La materia orgánica es el nutriente esencial para el sustento y la supervivencia de los seres vivos en general.
- Humedad: parámetro que debe coincidir con la capacidad de campo del suelo (50-75%).
- Temperatura: una condición estricta, debido a la sensibilidad de las bacterias respecto a los cambios. Las condiciones óptimas se encuentran entre un rango de 25°C a 35°C.
- pH: Al igual que la temperatura, es una condición muy estricta. El pH del suelo debe encontrarse muy cercano, o muy próximo a la neutralidad, entre 6.5 y 8.5.

Los cuatro grupos más importantes de bacterias del suelo son (A) las cianobacterias, (B) las proteobacterias, (C) las Eubacterias y (D) las Arqueobacterias. A. Las Cianobacterias: son un tipo de bacteria capaz de realizar *fotosíntesis oxigénica*, la cual es un tipo de fotosíntesis en donde el agua - el donante primario de electrones - libera oxígeno (O₂) como subproducto. La principal importancia de este tipo de bacterias es la capacidad de generar oxígeno en la actividad fotosintética. Mejoran además la calidad del suelo e incrementan el rendimiento agrícola de ciertos cultivos evitando la fertilización del suelo al incorporar nitrógeno atmosférico.

B. Las Proteobacterias: varias de ellas son importantes en el suelo debido a su capacidad de fijación del nitrógeno. Se les conoce como bacterias color púrpura debido a su pigmentación. Se presentan gran cantidad de estos microorganismos en el suelo, tales como Rhizobium, Nitrobacter, Pseudomonas, Nitrosomas, Thiobacillus, Azotobacter, Agrobacterium, entre otros.

C. Las Eubacterias: dentro de este grupo los más importantes en el suelo son los Actinomicetos, los cuales son muy activos en la descomposición de la celulosa y de otros compuestos resistentes. Son especialmente útiles en la humificación de la materia orgánica y en la fijación del nitrógeno. Otros microorganismos de este tipo son los Clostridium y Bacillus.

D. Las Arqueobacterias: representan cerca del 20% del total de la biomasa de la tierra ya que presentan la capacidad de existir en una gran variedad de hábitats. Son organismos que sobreviven en condiciones ambientales extremas, que se pueden representar en otros cuatro grupos diferentes: (a) las halófitas, (b) las metanógenas, (c) las termofílicas, y (d) las thermoplasma.

A. Halófitas: Arqueobacterias de ambientes extremadamente salinos. No son muy importantes.

B. Metanógenas: tienen un metabolismo que puede usar el H₂ como fuente de energía y el CO₂ como fuente de carbono. Son microorganismos productores de metano (CH₄), que no son considerablemente importantes

C. Termofílicas. Requieren temperaturas extremadamente altas para crecer (80°C-105°C). Son organismos capaces de oxidar el Sulfuro a ácido Sulfúrico.

D. Thermoplasma: bacterias que sobreviven en condiciones ambientales excepcionales (Temperaturas de 55°C, pH=2). Prosperan en ambientes ácidos y de alta temperatura. La bacteria Thermoplasma es un anaerobio que respira azufre y carbono orgánico.

8.3.2. Microflora del suelo: las algas.

Las algas son organismos que requieren solamente de luz, agua y dióxido de carbono para crecer. Se consideran organismos fotosintéticos muy importantes, pues capturan más energía solar y producen más oxígeno que todas las plantas combinadas. Pueden adaptarse a cambios de ambientes y sobreviven en medios alcalinos y desérticos. Las algas son así iniciadoras del ciclo biológico y del proceso de formación del suelo dado a su extraordinaria facilidad de fijarse y alterar las rocas, y son fuente importante de materia orgánica. Ayudan a solubilizar los minerales del suelo, acelerando el proceso de intemperización. Este proceso (la “intemperización”) incluye la fractura física y la descomposición química de las rocas y material suelto sobre la superficie terrestre.

El alga *Macrocystis pyrifera*, de gran importancia en México por sus excelentes características, es un alga parda gigante que habita en la costa del Pacífico de América del Norte, desde Baja California hasta Alaska. Prospera en aguas frías. Su nombre común es Sargazo gigante. Existe también el 'sargazo rojo' (*Gelidium robustum*) que son las 2 especies de algas comerciales más importantes.

Cuadro N° 8.3.1

APORTE NUTRICIONAL DE ALGAS MARINAS DEL OCÉANO PACÍFICO

Características Químicas	<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Gelidium robustum</i>
Proteína	13.20%	31.60%
Carbohidratos	46.27%	54.95%
Lípidos	0.70%	0.85%
Materia Orgánica	77.66%	87.40%
Nitrógeno	0.60-2.0%	3.61-4.0%
Fósforo	0.10-2.26%	0.68-0.77%
Potasio	2.0-5.56%	4.23-4.80%

8.3.3.Extractos de Algas. Las algas contienen esencialmente cuatro tipos de componentes: coloides, aminoácidos y nutrientes minerales, azúcares y fitohormonas. Sus extractos son productos que

incluyen polisacáridos como el *laminarano*, (un polisacárido formado por unidades de glicosa), alginatos, carragenanos (mezclas de varios polisacáridos) y sus productos de degradación. Los extractos de algas tienen además otros componentes que contribuyen a la promoción del crecimiento vegetal, como los micros y macronutrientes, fitoesteroles, (que reducen la absorción de colesterol), betainas (aminas cuaternarias que sintetizan las plantas como respuesta adaptativa a situaciones de déficit hídrico) y diferentes hormonas. Todos ellos tienen gran interés agrícola.

Los extractos de algas actúan sobre los suelos y sobre las plantas siendo muy utilizados en la elaboración industrial de las enmiendas biológicas conocidas como “*bioestimulantes*”. Son materiales naturales, no tóxicos, que promueven el crecimiento, rendimiento y mejora de la calidad de los cultivos. En los predios, sus polisacáridos contribuyen a la retención de agua y a la aeración del suelo. Sus efectos bio-estimulantes favorecen un mayor crecimiento y desarrollo de la planta debido a su acción hormonal. Un producto comercial de importancia agrícola que puede también obtenerse de la *Macrocystis pyrifera* es el *ácido algínico*, un polisacárido coloidal.

8.4. Los actinomicetos.

Los actinomicetos, son microorganismos del suelo caracterizados por ser organismos intermedios entre los hongos y las bacterias. Tienen aspecto filamentosos y, al igual que los hongos, la capacidad de segregar antibióticos (estreptomina, aureomicina, terramicina, cloromicetina y tetraciclina). Por otro lado, como las bacterias, los actinomicetos realizan numerosas reacciones bioquímicas y participan en el proceso de formación de humus y en la alimentación de las plantas al mineralizar la materia orgánica. Algunas especies pueden fijar nitrógeno atmosférico en asociación con algunas especies de árboles. Los actinomicetos son de gran importancia para la disolución de la materia orgánica del suelo y la liberación de nutrientes de ella. Reducen a formas más sencillas los compuestos más resistentes, como la lignina. La capacidad de los actinomicetos de simplificar el humus es importante, especialmente respecto al nitrógeno. Los actinomicetos tienen la habilidad de volver a poner estas sustancias en circulación, junto a los hongos y las bacterias, como agentes fertilizantes en el suelo cultivable. Como antagonistas microbianos los actinomicetos regulan la composición de la comunidad en el ecosistema del suelo, en parte porque excretan antibióticos y enzimas de lisis, lo que tiene una gran utilidad en el control biológico de insectos, nematodos y otros patógenos vegetales.

8.5. Los hongos del suelo

Los hongos en el suelo juegan un papel importante en los procesos de descomposición, mineralización y reciclaje de nutrientes en las plantas, formando asociaciones con sus raíces llamadas Micorrizas. Además, los hongos compiten con las plantas por nitratos y amonio e interactúan con algunos organismos del suelo tales como bacterias y pequeños invertebrados. Son muy eficientes en la descomposición de compuestos resistentes a otros microorganismos, tales como la celulosa, la lignina, las grasas y los almidones. Las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de los hongos son:

- Nutrientes: requieren sustratos carbonáceos oxidables.
- Temperatura: entre 25° y 35° C, no son resistentes a temperaturas extremas.
- pH: se adaptan fácilmente a suelos ácidos (pH < 7.0).
- Humedad: no resisten condiciones de sequía ni de saturación.

Algunos hongos de importancia en los suelos son los llamados *Botrytis* y *Fusarium*. Se presentan las principales características de ambos: *Botrytis* (*Botrytis Cinerea* o Moho Gris): El moho gris es un hongo patógeno, capaz de atacar hasta 200 variedades de plantas. Se presenta ante factores de humedad altos. La aparición de infecciones por hongos es directamente proporcional a este parámetro. La temperatura ideal para la aparición de la *botrytis* es de 17° a 25°C. Se presenta igualmente cuando las diferencias de temperatura entre el día y la noche son muy grandes, porque cuando las temperaturas bajan drásticamente al final del día se da un aumento de la humedad en el ambiente.

El hongo *fusarium* (*Fusarium oxysporum*): género de hongos filamentosos que se encuentra ampliamente distribuidos en el suelo. Por lo general se presentan como saprófitos en el suelo, o también como patógeno especializado, denominado forma especial, según la planta hospedante u hospedantes relacionados que afecte. Es el agente que causa la enfermedad conocida como amarillamiento por *Fusarium* o marchitamiento por *Fusarium*, en la cual invade y deteriora el sistema vascular de la planta, por ello se marchita, y finalmente, muere.

8.6. Micorrizas Arbusculares.

Se dice que las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas entre las raíces de las plantas terrestres y ciertos hongos del suelo. Hoy se cree que más del 97% de especies vegetales terrestres están micorizadas. Se dice que es una “asociación mutualista”, dados los beneficios que reporta la misma para ambos participantes. Comprende la penetración radical por parte del hongo y la carencia de respuesta perjudicial hacia éste por parte de la planta hospedera.

Una Micorriza Arbuscular (MA) es un tipo de endomicorriza en la que el hongo penetra en las células corticales de las raíces de una planta vascular. Las micorrizas arbusculares se caracterizan por la formación de estructuras únicas, arbuscúlos y vesículas de los hongos del phylum Glomeromycota. En esta asociación simbiótica, el hongo ayuda a la planta a capturar nutrientes como fósforo, azufre, nitrógeno y micronutrientes del suelo. Las micorrizas crean filamentos o hilos que aumentan el área de absorción de las raíces y actúan como una extensión del sistema de raíces. Esto hace que las raíces de la planta sean mucho más efectivas en la absorción de agua y nutrientes como el fósforo y el zinc. A cambio, el hongo recibe azúcares esenciales y varios compuestos de las raíces para poder alimentar su propio crecimiento. Algunas especies de micorrizas se pueden ver en las raíces, mientras que la mayoría son invisibles a simple vista. Las micorrizas mejoran la salud de las plantas. Mejoran la capacidad de la planta para tolerar el estrés ambiental (como la sequía y el clima invernal seco) y reducen el impacto del trasplante.

Las plantas con micorrizas pueden necesitar menos fertilizante y pueden tener menos enfermedades transmitidas por el suelo. Un subproducto de la actividad micorrizal es la producción de glomalina, un compuesto primario que mejora el labrado del suelo. En términos simples, la glomalina pega las pequeñas partículas de arcilla juntas en agregados más grandes, aumentando así la cantidad de espacio de poro grande, que a su vez crea un entorno ideal para las raíces. Se cree que el desarrollo de la simbiosis con micorrizas arbusculares jugó un papel crucial en la colonización inicial de la tierra por las plantas y en la evolución de las plantas vasculares.

Las micorrizas arbusculares se encuentran en el 80% de las familias de plantas vasculares que se conocen. Las ventajas proporcionadas a las plantas por la micorrización son numerosas. Gracias a ella, la planta es capaz de explorar más volumen de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumársele en esta labor las hifas del hongo; también capta con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, nitrógeno, calcio y potasio) y agua del suelo. La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a ciertos estreses ambientales que afectan al suelo como la salinidad, los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Por si todo esto fuera poco, algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada.

Las micorrizas crean filamentos o hilos que aumentan el área de absorción de las raíces y actúan como una extensión del sistema de raíces. Esto hace que las raíces de la planta sean mucho más efectivas en la absorción de agua y nutrientes como el fósforo y el zinc. A cambio, el hongo recibe azúcares y varios compuestos de las raíces para alimentar su propio crecimiento. Algunas especies

Cuadro Nº 8.3.2

FUNCIONES DE LOS PRINCIPALES ORGANISMOS QUE CONFORMAN LA BIOCENOSIS

FUNCIONES DEL SUELO	ORGANISMOS IMPLICADOS
Mantenimiento de la estructura	Bioturbación por invertebrados y sistemas radiculares de las plantas, micorrizas y algunos tipos de microorganismos
Regulación de la hidrología del suelo	Invertebrados con mayor potencial de bioturbación y sistemas radiculares
Invertebrados con mayor potencial de bioturbación y sistemas radiculares	La mayor parte de los microorganismos y sistemas radiculares y carbono retenido en agregados compactos de origen biogénico (como las pelotas fecales de lumbrícidos)
Eliminación de compuestos tóxicos	La mayor parte de los microorganismos del suelo
Ciclo de nutrientes	La mayoría de los microorganismos y nutrientes, así como algunos invertebrados que se alimentan del mantillo (horizontes orgánicos)
Descomposición de la materia orgánica	Varios invertebrados soprofiticos y/o que se alimentan del mantillo (detritívoros), hongos, bacterias, actinomicetos y otros microorganismos
Supresión de pestes, enfermedades y parásitos	Plantas, micorrizas y otros hongos, nemátodos, otros invertebrados y bacterias que parasitan o causan enfermedades a patógenos, colémbolos, invertebrados, protozoos y hongos depredadores
Fuente de alimentos y bebidas	Raíces de algunas plantas, algunos insectos (grillos, larvas de escarabajos, hormigas, termitas), lumbrícidos, vertebrados que habitan en el suelo, microorganismos y sus productos (p. ej. la penicilina)
Relaciones simbióticas y asimbióticas con las raíces de las plantas	Rizobios, micorrizas, actinomicetos, bacterias diazotróficas, varias especies de microorganismos rizosféricos y hormigas
Control de crecimiento de las plantas (que pueden tener positivos o negativos)	Efectos directos: Sistemas radiculares, rizobios, micorrizas, actinomicetos, patógenos, nemátodos fitoparásitos, insectos rizófagos, microorganismos de la rizosfera, agentes que ejercen biocontrol. Efectos Indirectos: la mayor parte de la biota.

Fuente: FAO. Portal de biodiversidad de los suelos

de micorrizas se pueden ver en las raíces, mientras que la mayoría son invisibles a simple vista. Las micorrizas mejoran la salud de las plantas. Mejoran la capacidad de la planta para tolerar el estrés ambiental (como la sequía y el clima invernal seco) y reducen el impacto del trasplante.

8.7. Ecto y endomicorrizas.

Según su morfología, las micorrizas se dividen en distintos grupos entre los que cabe destacar dos principales: las ectomicorrizas y las endomicorrizas. Las ectomicorrizas se caracterizan porque las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, sino que se ubican sobre y entre las separaciones de estas. Se pueden observar a simple vista y presentan la llamada Red de Hartig. Este tipo de micorrización es el que predomina entre los árboles de zonas templadas, siendo especialmente característico en robles, eucaliptus y pinos. Los hongos son tanto Basidiomycota como Ascomycota.

Las endomicorrizas son aparentemente las más comunes en la naturaleza, ya que ocurren en la mayoría de los suelos y en el 90% de las familias de plantas de la tierra. La importancia de las endomicorrizas es muy considerable debido a sus numerosos efectos benéficos sobre las plantas, que van desde incrementos en la absorción de nutrientes en el suelo, su influencia sobre las relaciones hídricas y la protección contra agentes patógenos, hasta el importante papel ecológico que estas asociaciones parecen jugar en la sucesión de especies en las comunidades vegetales naturales. (Ver inciso 3.5. El fósforo en el suelo)

Dentro de las endomicorrizas (o micorrizas endotróficas, se distinguen las variedades de (A) Micorrizas vesículo-arbusculares, (B) Micorrizas orquíoides, (C) Micorrizas ericoides.

A. *Micorrizas vesículo-arbusculares* (MVA). Que forman unas estructuras especializadas, los arbuscúlos, dentro de las células del córtex radical, que no llegan a romper la membrana plasmática (la cual se invagina en torno a ellos). Por medio de los arbuscúlos se realiza la transferencia de nutrientes entre los dos simbioses. También son frecuentes las vesículas, de localización variable y que funcionan como órganos de reserva. También, en el micelio exterior se pueden formar azigósporas o esporocarpos. Las MVA se dan en más del 80% de las especies de vegetales superiores (briófitos, pteridófitos, gimnospermas y angiospermas).

B. Micorrizas orquíoides, donde el hongo suele formar ovillos en las células de la raíz. Se dan entre orquídeas y basidiomicetos. Estas plantas carecen de clorofila en alguna fase de su vida, por lo que necesitan obligatoriamente al hongo para sobrevivir.

C. Micorrizas ericoides. En este caso, el hongo forma en las células de la raíz estructuras sin organización aparente, como masas compactas.

Debido a los efectos negativos que han causado los fertilizantes químicos en el deterioro del medio ambiente, se trabaja en la introducción de alternativas de fertilización en el manejo de los cultivos. La micorrización es una de las técnicas biológicas empleadas. Las relaciones micorrízicas pueden ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes (especialmente fosfatos) que debe aplicarse para obtener buenos rendimientos.

8.8. Microfauna del suelo: los protozoarios

Los protozoarios son animales pertenecientes al reino protistas, unicelulares. Transforman por medio de su digestión la materia orgánica insoluble en materia orgánica soluble. Tienen una gran

importancia en la actividad ecológica del suelo ya que contribuyen a la fertilidad del suelo descomponiendo la materia orgánica y controlan poblaciones de microorganismos en el suelo, pues bacterias y algas. Las condiciones óptimas para su desarrollo son:

- Temperatura: alrededor de 30° C
- Humedad: requieren suelos húmedos o saturados.
- pH: rango adecuado entre 6 y 8
- Materia orgánica: la adición de materia orgánica fresca incrementa sus poblaciones

8.9. La Microfauna del suelo: los nemátodos

Nematodos: corresponden a los animales pluricelulares más pequeños del suelo. Tienen un papel importante en la descomposición de la materia orgánica y en los ciclos de nutrientes del suelo.

Los nematodos pueden ser también parásitos, predadores y fitopatógenos. Estos organismos son unos gusanos con forma cilíndrica y de pequeño tamaño que habitan bajo el interior del suelo. Algunos nematodos son parásitos de las raíces de las plantas y esto provoca en ellas alteraciones celulares, daños mecánicos y un menor crecimiento. Por lo tanto, los nematodos son potencialmente destructivos para el rendimiento de algunos cultivos.

Desde el punto de vista de la clasificación biológica los nematodos se dividen en varios subgrupos: bacteriófagos, fungívoros, omnívoros, predadores y fitófagos. Los del subgrupo fitófago son los que específicamente atacan a las plantas. Los nematodos tienen un sofisticado sistema nervioso y unos órganos sensoriales que les permiten reproducirse y, por otra parte, detectar las plantas con facilidad. Su tamaño es microscópico, por lo que no son detectables a simple vista.

Los nematodos introducen su cuerpo en forma de aguja en la planta y así obtienen su alimento, pues el esófago de los nematodos absorbe el jugo celular de la planta. Sin embargo, para que puedan provocar un daño considerable en los cultivos es necesario que el número de nematodos sea muy elevado. Sus efectos sobre las plantas son principalmente dos: una insuficiencia en la clorofila de las plantas conocida como clorosis y una reducción del tamaño de las plantas que determina un menor rendimiento de los cultivos. El principal problema de los nematodos consiste en que los agricultores pueden desconocer su presencia en el suelo, ya que las plantas se ven afectadas por la raíz y en menor medida por su aspecto externo.

8.10. Antibióticos microbianos.

Un suelo sano, con sus diversos tipos de vida, es una "fábrica de antibióticos" natural, pero esta fábrica no funciona si un ciclo de cultivo poco diversificado provoca una disminución en la población y la diversidad de microbiana del suelo. En este caso, la planta será víctima fácil de un ataque infeccioso. En predios con bajos niveles de vida microbiana, el objetivo a lograr es proporcionar al suelo la mayor cantidad posible de material orgánico o de enmiendas orgánicas y microbiológicas aplicadas, de preferencia, en diferentes etapas fenológicas del cultivo, buscando así restaurar o mejorar la organización de la vida en el suelo. Se puede así impulsar la formación de comunidades bióticas en los terrenos deteriorados o fatigados. De nuevo, se hace énfasis en el hecho de que tan solo con este tipo de "comunidad biótica" se puede poner en marcha una estancada "fábrica de antibióticos" de origen microbiano y, al mismo tiempo, mejorar la absorción de nutrientes y remediar así la fatiga del suelo.

8.11 Las sustancias húmicas.

Los ácidos húmicos y fúlvicos, así como sus sales, son compuestos químicos que juegan un papel vital en la salud biológica del suelo y la nutrición de las plantas, pues son una excelente fuente de energía para los organismos benéficos del suelo: algas, bacterias, hongos, nematodos, micorrizas. Los cultivos en suelos que contienen la humedad adecuada, los agregados húmicos y fúlvicos están menos sujetos a estrés, son más saludables y producen mayores rendimientos. El valor de las sustancias húmicas en la fertilidad del suelo y, por ende, en la nutrición de las plantas se relaciona con las muchas funciones que estos complejos compuestos orgánicos realizan como parte del ciclo de vida en la tierra. Estas sustancias húmicas, proporcionan la energía y los minerales que requieren los microorganismos benéficos del suelo. Estos microorganismos carecen de un aparato fotosintético que les permita capturar la energía del sol y por consiguiente buscan sobrevivir con el carbono residual que contienen las sustancias en el suelo. La energía almacenada dentro de los enlaces de carbono sirve para llevar a cabo diversas reacciones metabólicas dentro de estos organismos. Todos ellos realizan muchas y muy valiosas funciones que influyen positivamente en la fertilidad del suelo y la salud de las plantas.

8.12. Los bioestimulantes.

Desde hace varias décadas están presentes en el comercio diversas formulaciones de insumos agrícolas denominados como “bioestimulantes”. Todos ellos tienen formulaciones específicas, establecidas por los fabricantes, para diversos usos agrícolas. Son productos comerciales que contienen microorganismos y diversos otros productos orgánicos o minerales diseñados para ser aplicados a suelos o plantas a fin de (a) incrementar el vigor de los cultivos, (b) mejorar la calidad del producto final, (c) aumentar la tolerancia de la planta ante los diferentes tipos de estrés abiótico (falta de agua, suelos con demasiadas sales, etc.) y (d) incrementar el rendimiento económico del capital biológico que tiene el agricultor. Ejemplos de bioestimulantes son, los preparados a base de extractos de algas; o bien los insumos orgánicos a base de microorganismos, que pueden contener, además, aminoácidos, hormonas vegetales, ácidos húmicos, entre otras sustancias. Sus funciones son, precisamente, estimular los procesos naturales que incrementan la absorción y asimilación de nutrientes, tratar el estrés abiótico o mejorar algunas de sus características agronómicas.

Los bioestimulantes son productos de la biotecnología que actúan por medio de mecanismos muy distintos a los fertilizantes minerales, a los tóxicos plaguicidas o bien a muchos otros insumos tradicionales utilizados como enmiendas minerales. Cuando se aplica un fertilizante, se busca enriquecer el suelo con elementos nutrientes a fin de tener una nutrición equilibrada en los cultivos.

El bioestimulante, en cambio, dirige las reacciones bioquímicas de la propia planta hacia el aspecto que se pretende favorecer. Los bioestimulantes no buscan desplazar a los fertilizantes, sino todo lo contrario; la acción conjunta de ambos elementos permite que la planta aproveche al máximo los nutrientes minerales aportados por el agricultor, lo cual repercute positivamente tanto en la economía del productor agrícola, como en el cuidado del medio ambiente, al no someter el suelo a una carga de nutrientes tan alta como para provocar contaminaciones indeseables. En las regulaciones europeas sobre productos “bioestimulantes”, se establece la siguiente definición: “Un bioestimulante vegetal será un producto cuya función es estimular los procesos de nutrición de la planta independientemente del contenido de nutrientes del producto con el único objetivo de mejorar una o más de las siguientes características de la planta o la rizosfera de la planta:

- (a) eficiencia en el uso de nutrientes,
- (b) tolerancia al estrés abiótico,
- (c) rasgos de calidad, o
- (d) disponibilidad de nutrientes confinados en el suelo o la rizosfera.

La introducción en el mercado de bioestimulantes de plantas dependerá de la disponibilidad de datos que justifiquen las funciones previstas del producto, que deben asignarse a una o más de las afirmaciones mencionadas en la definición reglamentaria anterior.

8.13. Los fosfitos en la agricultura

Los fosfitos son un tipo de bioestimulantes que funcionan como inductores de resistencia a las enfermedades de las plantas. La defensa que oponen los vegetales al ataque de patógenos es el resultado de complejas reacciones químicas que se generan cuando un patógeno penetra un tejido vegetal. Los receptores de membrana captan la señal del invasor infeccioso y envían señales químicas al núcleo celular, donde se desencadena la síntesis de proteínas y sustancias de defensa, entre las cuales está la producción de fitoalexinas, sustancias inhibidoras fungitóxicas. En 1985 se descubrió que los fosfitos actúan favoreciendo la producción de fitoalexinas que potencian el sistema natural de defensa de las plantas contra hongos endoparásitos. En especial hongos como *Oomicetos*, *Phytophthora* spp., *Plasmopara viticola*, etc. que producen podredumbres de raíz y enfermedades de cuello en aguacate, frutales, forestales y mildiu en cultivos hortícolas, industriales, fresas, y ornamentales. A diferencia de los fungicidas tradicionales, los fosfitos se mueven a través del xilema y floema; por ello, su aplicación puede ser en las hojas, tallo o raíces, algo que los fungicidas tradicionales no tienen esa capacidad, puesto que se mueven por xilema (es decir, ascendente), controlando solo a hongos fitopatógenos del follaje. Además de su efecto fitosanitario, los fosfitos mejoran la absorción y asimilación de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del producto cosechado. Promueven y mejoran el crecimiento de raíces, el rendimiento y el contenido nutricional de los cultivos. Pero no se consideran apropiados para la agricultura orgánica, pues no son sustancias que genere la propia planta.

Cuadro Nº 8.1.
PRUEBAS ESTÁNDAR DE MICROORGANISMOS FITOBENÉFICOS
EN PREDIOS AGRÍCOLAS

NIVELES DE REFERENCIA				
NEMATODOS (Individuos por 200 cc)	BAJO	MEDIO	ALTO	PROMEDIO
<i>Rhabditis</i> sp.	<	100-200	>200	
<i>Cephalobus</i> sp.	<100	100-200	>200	
<i>Dorylaimus</i> sp.	<100	100-200	>200	
<i>Mononchus</i> sp.	<100	100-200	>200	
<i>Plectus</i> sp.	<100	100-200	>200	
<i>Aphelenchus</i> sp.	<100	100-200	>200	
<i>Heterorhabditis</i> sp.	<100	100-200	>200	
<i>Eudorylaimus</i> sp.	<100	100-200	>200	

HONGOS (UFC/g)				
<i>Micorrizas</i>	<1000	1000-10000	>10000	
<i>Aspergillus oryzae</i>	<1000	1000-10000	>10000	
<i>Trichoderma sp.</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Aspergillus sp</i>	<1000	1000-10000	>10000	
<i>Penicillium sp</i>	<1000	1000-10000	>10000	
<i>Gliocladium sp.</i>	<1000	1000-10000	>10000	
<i>Actinomicetos</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Streptomyces sp.</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	

BACTERIAS (UFC/ g)				
<i>Bacillus polymyxa</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Bacillus thuriengiensis</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Bacillus subtilis</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Levaduras</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	
<i>Azotobacter sp</i>	<1*10 ⁶	1*10 ⁶ -1*10 ⁸	>1*10 ⁸	

9.ADENDA.

9.1.RESUMEN DE LOS INDICADORES

Cuadro Nº 9.1.1

INDICADORES DE LA SALUD DEL SUELO

INDICADOR DE SALUD

RELACIÓN AL SUELO Y FUNCIÓN

Indicadores Físicos

Densidad aparente (g/cm³)

Soporte estructural de plantas y agua.

Aireación y movilidad de líquidos

Resistencia del suelo a penetración

Grado de compactación del suelo

Velocidad de infiltración del agua

Movilidad del agua

Retención del agua en el suelo

Disponibilidad de agua para la planta

Formación de agregados de suelo

Estructura del suelo

Indicadores Químicos

Intercambio entre cationes (CIC).

Fertilidad del suelo y nutrición de plantas

Materia orgánica: N , P y carbono

Fertilidad, nutrición y estructura del suelo

Conductividad eléctrica (CE)

Salinidad, nutrición y actividad de los Microorganismos.

Valor del pH

Nutrición, rendimiento del cultivo, actividad química y biológica.

Metales pesados, toxinas. Cd, Pb, Cu Zn, Ni

Daños a plantas en baja cantidad. En altas dosis, peligrosos para animales y seres humanos

Indicadores Biológicos

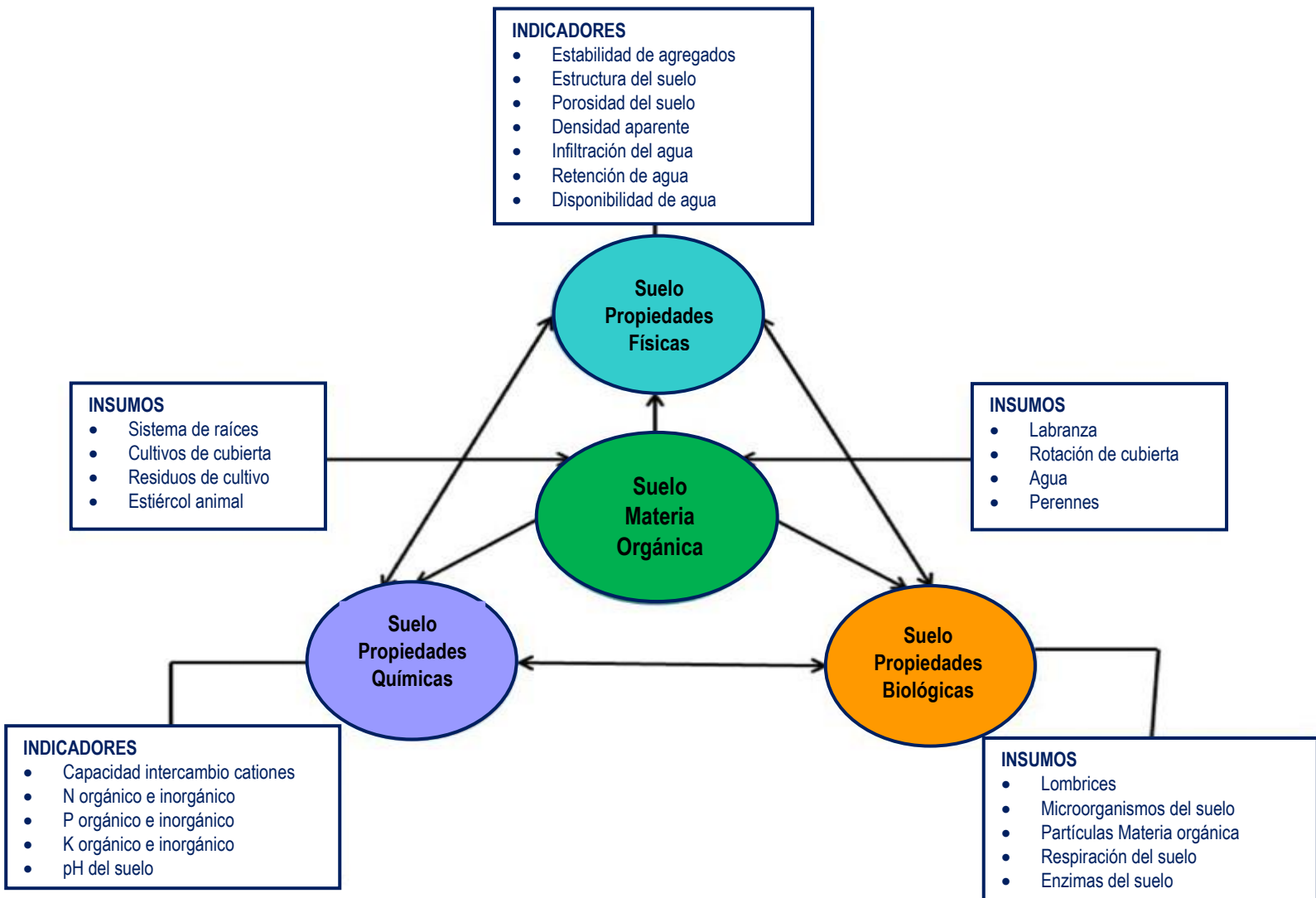
Lombrices
Carbono orgánico

Microorganismos del suelo. Bacterias
hongos, nemátodos, virus.
Actividad de las enzimas

Contenido de materia orgánica

Porosidad y estructura del suelo
C orgánico fijado por la comunidad de
microbios. (La biomasa microbiana)
Reciclado de nutrientes, descomposición
y respiración del suelo.
Influencia en la materia orgánica, en la
Descomposición y reciclado de los
nutrientes
Alimento y energía a microorganismos
y microfauna. Nutrientes, pH tampón,
CIC, auxiliar en enfermedades.

INDICADORES Y FACTORES DE SALUD DEL SUELO



9.2. Agua de riego: el exceso de sales

Los factores principales que hay que tener en cuenta para determinar la validez del agua usada para fines agrícolas específicos son:

- pH y Riesgos por salinidad y sodio (RAS o “Relación de adsorción de sodio”)
- Riesgos de carbonatos y bicarbonatos en relación con el contenido en Ca & Mg
- Trazas de metales pesados; Presencia de Elementos tóxicos; % de Cloro Libre
- El contenido de nutrientes

El exceso de sales es una de las mayores preocupaciones en la reutilización del agua para fines agrícolas. Un alto contenido en sales presentes en el agua supone un aporte de sales al suelo que sustenta la planta, afectando la productividad del cultivo; degradando la estructura de la tierra y generando problemas de contaminación en las aguas subterráneas. La calidad del agua de irrigación juega un papel esencial en zonas áridas afectadas por una alta evaporación, la cual provoca fuertes concentraciones de sales en el suelo. Los altos contenidos de iones de sodio en las aguas de riego afectan a la permeabilidad del suelo y causa problemas de infiltración. Esto es debido a que el sodio, cuando está presente en el suelo, es intercambiable con otros iones. El exceso de iones de sodio desplaza el calcio (Ca) y magnesio (Mg) y provoca la dispersión y desagregación del suelo. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman el suelo. Este problema está relacionado con otros factores como el nivel de salinidad y el tipo de suelo. Por ejemplo, alto contenido de sodio en suelos arenosos no afecta tanto ya que éstos tienen una gran superficie de drenaje, en contra de otros suelos más compactos.

9.3. Agua de riego. Problemas de toxicidad

Un problema de toxicidad es muy diferente de un problema de salinidad por el hecho de que se produce dentro de la planta en sí y no es causado por una carencia de agua. Por lo general, la toxicidad se genera cuando se absorben ciertos iones del agua del suelo y se acumulan en las hojas durante la transpiración, a un grado tal que se causa un daño a la planta. El grado de daño depende del tiempo, la concentración, la sensibilidad de los cultivos y el uso de agua de riego. Si el daño es lo suficientemente grave, se reduce el rendimiento del cultivo. Los iones tóxicos habitualmente presentes en el agua de riego son el cloruro, el sodio y el boro. El daño a la planta puede ser causado por cada uno, en forma individual o en combinación.

Cloruros. La toxicidad más común en las plantas es a partir de cloruros provenientes del agua de riego. El cloruro no es adsorbido o retenido por los suelos, por lo tanto, se mueve fácilmente con el agua del suelo, absorbiéndose por las raíces y acumulándose en las hojas. Si la concentración de cloruro en las hojas excede la tolerancia de los cultivos, se desarrollan lesiones cuyos síntomas pueden ser quemaduras o secado de los tejidos de las hojas. Normalmente, los daños a las plantas se inician en las puntas de las hojas, lo cual es muy común en las intoxicaciones por cloruros. A medida que aumenta la gravedad de la intoxicación, los síntomas van extendiéndose desde las puntas a lo largo de los bordes de las hojas. La necrosis excesiva (tejido muerto) a menudo se acompaña de caída prematura de las hojas y defoliación. La toxicidad de cloruro puede ocurrir por absorción foliar directa a través de las hojas mojadas durante el riego por aspersión. Esto ocurre con mayor frecuencia con el aspersor giratorio.

Sodio. La toxicidad de sodio no se diagnostica con tanta facilidad como la toxicidad de cloruro, pero se han registrado casos claros de toxicidad, como consecuencia de la alta concentración de sodio en el agua (alto Na o RAS). Los síntomas típicos de intoxicación por sodio son quemadura de la hoja, tejido muerto o “quemado” a lo largo de los bordes exteriores de las hojas, en contraste con los síntomas de la toxicidad de cloruro que normalmente se produce iniciando en la punta de la hoja. Se requiere normalmente un periodo prolongado de tiempo (varios días o semanas) antes de que la acumulación alcance concentraciones tóxicas. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas, a partir de los bordes externos y, a medida que aumenta la gravedad. La toxicidad de sodio a menudo se modifica o se reduce si hay suficiente calcio disponible en el suelo. Ya sea que haya indicios de una simple intoxicación por sodio, o es un problema más complicado que implica una posible deficiencia de calcio o se presume de algún otro tipo de interacción. La experiencia nos indica que por lo menos en algunos cultivos anuales, los problemas son frecuentemente más bien de deficiencia de calcio que de toxicidad de sodio.

Boro. A diferencia del sodio, es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta. (El cloruro también es esencial, pero en cantidades tan pequeñas que muy frecuentemente se clasifica como no esencial). Aunque el papel preciso de boro en las plantas no se conoce totalmente hay evidencia que nos demuestra que el boro es importante para la división celular, la producción de los ácidos nucleicos (ADN, ARN), el movimiento de los azúcares a través de membranas y el desarrollo de estructuras reproductivas (es decir tubos de polen, frutas, granos). Sin embargo, el boro es necesario en cantidades relativamente muy pequeñas y, si se sobrepasa el límite máximo, se convierte en tóxico. Para algunos cultivos, si 0.2 mg/l de boro en el agua es esencial, 1 o 2 mg/litro son ya tóxicos o muy tóxicos. El agua de superficie raramente contiene suficiente boro como para que se considere tóxico, pero el agua de pozo o (en ocasiones) de los mantos freáticos si pueden tener cantidades tóxicas, especialmente cerca de zonas geotérmicas y de fallas sísmicas. Los problemas de boro que se originan en el agua son probablemente más frecuentes que los que se originan en los suelos agrícolas. La toxicidad del boro puede afectar a casi todos los cultivos, pero, al igual que en el caso de la salinidad, existe un amplio rango de tolerancias entre los cultivos.



10.BIBLIOGRAFÍA

Obras Consultadas

Colección: Agricultura Razonable

ANÁLISIS BIOLÓGICOS DE SUELOS AGRÍCOLAS

Catálogo de pruebas cualitativas y cuantitativas para determinar la Salud del Suelo en programas de nutrición

MANUAL DE AGRONOMÍA

Traducción del manual de referencia editado por Waypoint Inc., de amplio uso por los agrónomos de la Unión Americana.

MEJORE EL RENDIMIENTO DE SU CAPITAL BIOLÓGICO

Descripción de los diagnósticos de suelo, enfatizando en las complejas actividades bióticas de los suelos agrícolas.

ALGAS Y MICROALGAS EN SISTEMAS AGRÍCOLAS

Introducción al desarrollo de los bioestimulantes en base a algas y extractos, con una perspectiva del mercado europeo

Colegio de Postgraduados

MICROBIOLOGÍA AGRÍCOLA

Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-organismo.

Ronald Ferrera-Cerrato, Alejandro Alarcón *et al.*



Notitia et Cognition



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.