

# Mejore el rendimiento de su **CAPITAL BIOLÓGICO.**

---

Las complejas actividades bióticas de  
los suelos agrícolas. Sustentabilidad,  
Valoración y Mejoramiento del Suelo.

---

RICARDO MICHEL FLORES,  
KAREN CALDERÓN STYGER

*De este puñado de tierra depende nuestra supervivencia. Protégelo y tendremos más que comer, nos proporcionará leña, nos dará refugio y nos rodeará de belleza. Abusa del suelo y la tierra morirá, arrastrando a la humanidad con ella.*

*Textos sagrados de la India en sánscrito védico. 1500 a.c.*

## INDICE

Prólogo	6
CAPÍTULO 1	
1.0. Importancia del Capital Biológico	10
CAPÍTULO 2	
2.0. La Salud Física del suelo	18
2.1. La naturaleza del suelo	20
2.2. Clases de suelo	21
2.3. Clasificación de los suelos	22
2.4. Clasificación según el USDA	23
2.5. Suelos con estructuras saludables	25
2.6. El humus en estructuras saludables	30
2.7. El proceso de humificación	31
2.8. La fase líquida del suelo	34
2.9. El balance ácido-alcalino	40
2.10. Fuentes de acidificación del suelo	44
2.11. Salinidad y conductividad del suelo	46
2.12. El complejo-arcillo-húmico	51
2.13. La capacidad de intercambio catiónico	52
2.14. Degradación del suelo	53
2.15. La resiliencia del suelo	57

## INDICE

### CAPÍTULO 3

3.0. La Salud Química del suelo	59
3.1. Nutrición y propiedades del suelo	61
3.2. Los ciclos biogeoquímicos	65
3.3. Ciclo del carbono	67
3.4. El nitrógeno en el suelo	69
3.5. El fósforo en el suelo	73
3.6. El potasio en el suelo	77
3.7. El calcio en el suelo	83
3.8. El magnesio en el suelo	85
3.9. El azufre en el suelo	87
3.10. Los microelementos en el suelo	93
3.11. El boro en suelo y planta	99
3.12. El Microelemento cobre	101
3.13. Los microelementos manganeso y hierro	103
3.14. El microelemento molibdeno	106
3.15. El microelemento zinc	106
3.16. El microelemento cloro	108
3.17. Los microelementos cobalto y níquel	108
3.18. Las sustancias húmicas en suelo	109

## INDICE

### CAPÍTULO 4

4.0. La Salud Biológica del suelo	112
4.1. Recapitulación	113
4.2. Agro-biocenosis y Capital Biológico	115
4.3. Densidad de enraizamiento	118
4.4. La fatiga del suelo	119
4.5. El proyecto <i>Liberation</i>	122
4.6. Salud del suelo y biodiversidad	123
4.7. Micro y macroorganismos del suelo	126
4.8. Microflora del suelo: las bacterias	127
4.9. Microflora del suelo: las Algas	130
4.10. Microflora del suelo: los Actinomicetos	133
4.11. Microflora del suelo: los Hongos.	134
4.12. Los hongos Micorrizas arbusculares	135
4.13. Microfauna del suelo: los Protozoarios	140
4.14. Microfauna del suelo: los Nematodos	141
4.15. Microfauna del suelo: los Rotíferos	142
4.16. Meso y macrofauna del suelo	143
4.17. Un ambiente favorable para el Capital Biológico	145

### CAPITULO 5

5.0. Las pruebas analíticas	146
5.1. Índice de las pruebas	147
¿ Quienes somos ?	169
Copy Left	170

## Prólogo

Desde las profundidades del tiempo los antiguos mitos continúan a enviarnos imágenes precisas de la realidad que estamos viviendo. Eresictón de Tesalia era un soberbio rey que menospreciaba y no respetaba a los dioses de la naturaleza. El poeta romano Ovidio nos relata en su obra *Las metamorfosis* la historia de este infortunado rey quien mandó talar un bosque sagrado que formaba un santuario ancestral para Deméter la diosa de la agricultura, protectora de los campos y de las cosechas. Las dríadas que habitaban el bosque corrieron a solicitar auxilio de la diosa, quien – presa de una ira sin precedentes- ordenó a Némesis (la venganza) y a Limos (el hambre) que castigarán este ultraje. La condena fue que el rey tendría que devorarse a sí mismo para tratar de satisfacer su hambre, la cual crecería conforme iba tragando partes de su cuerpo. El ultraje a la naturaleza lo pagó con su vida. Nuestra sociedad contemporánea basada en la ávida destrucción de la naturaleza parece claramente destinada a pagar el ultraje con un castigo similar al de Rey de Tesalia. Día a día crece nuestra hambre consumista, cavando así una tumba tan profunda que salir de ella requerirá un gran esfuerzo global.

La humanidad está actualmente en el centro de una inmensa fase evolutiva. Simultáneamente, las sociedades de producción rural, las Cooperativas y las empresas agrícolas en general se ven lastradas por decisiones sociopolíticas y ambientales que intentan preservar los logros de una sociedad de corte patriarcal que sigue viviendo de conformidad con clichés económicos e ideológicos que, ahora en el siglo XXI, obstaculizan las necesarias innovaciones sociológicas y científicas que podrían ayudar a preservar la vida. No hemos aún comprendido que la revolución tecnológica llegó para quedarse.

Un poco más de 3 millones de conciudadanos laboran en los campos agrícolas de manera temporal o permanente: son los trabajadores jornaleros que sostienen a un total de alrededor de 12-13 millones de mexicanos. De conformidad con la Encuesta Nacional Agropecuaria, estos trabajadores rurales reciben en promedio 294.4

pesos (14 dólares) por día. Es decir, el equivalente aproximado de 2.1 salarios mínimos, (Que actualmente son de aproximadamente 140 pesos/jornada), sin que muchos cuenten con prestaciones laborales. Sus ingresos se ubican entre los más bajos de nuestro país, por lo que resulta imposible acceder a una vida digna, en la que sus derechos y los de todos sus familiares sean reconocidos, protegidos, promovidos y garantizados. Se observa, con desaliento, que existen aún muchos agricultores que subcontratan jornaleros con condiciones infames de pago. Estos propietarios deben ser individuos cuyas actitudes vitales siguen estando dictadas por la búsqueda de un máximo beneficio económico a costa de una explotación inicua de la mano de obra. La subcontratación abusiva (que indica el colapso moral de los empresarios que las utilizan) conlleva la destrucción de la unidad familiar, afecta la salud de los jornaleros y propicia el éxodo rural a las zonas marginadas de las ciudades. Algunos jornaleros optan por arriesgar la vida tratando de ingresar a la Unión americana. No es posible pretender el desarrollo del campo mexicano si no se eliminan estas prácticas esclavistas, que son el resultado de un bárbaro modelo social basado en la codicia, avaricia económica.

El futuro agrícola de México pasa por un nuevo tipo de organización social que no solo se enfoque a una ciencia y tecnología orientada al bienestar humano, sino -principalmente- a una verdadera justicia distributiva, a un urgente progreso humano que nos aleje de la barbarie y que sea resultado de un crecimiento interior personal. Esta tan necesaria evolución hacia una sociedad más igualitaria y misericordiosa implica no solo una refundación política sino también, en forma simultánea, la vivencia de un "sentido de la vida y de la responsabilidad común" que convoque a todos los ciudadanos. El sistema social neoliberal ha fallado y ante este evidente fracaso, no queda más que aceptar que hay tres oximorones totalmente irreconciliables: ética y neoliberalismo; compasión y neoliberalismo; humanismo y neoliberalismo. El nuevo enfoque social deberá pues privilegiar la ética, la compasión y el humanismo. El *gatopardismo* (cambiar todo para que todo siga igual) es no solo inaceptable; es suicida.

Pierre Rabhi , escritor y noto pionero argelino de la agricultura ecológica, relata la siguiente leyenda: “Un día se inició un gran incendio en el bosque. Los animales, aterrorizados, contemplaban la tragedia que se avecinaba sin atreverse a hacer algo. Tan solo el colibrí voló de inmediato a recoger unas gotas de agua en su pico para arrojarlas al fuego. El armadillo, molesto por lo ridículo de su intento, le espetó: Colibrí, debes estar muy loco: ¿realmente crees que con esas gotitas de agua podrás apagar el fuego? - Lo sé, lo sé, respondió el colibrí, pero yo estoy haciendo mi parte”.

Los autores de este importante manual científico y técnico sobre valorización y conservación de terrenos agrícolas están también haciendo su parte en la promoción y apoyo de una agricultura nacional sostenible, altamente rentable, competitiva y sin riesgos sanitarios. Al decidirse a redactar este manual de “Capital Biológico del Suelo” , establecieron como objetivo que el contenido debería contribuir al conocimiento técnico de los sectores agrícola y agropecuario sobre la crisis del medioambiente, la importancia de las actividades agrícolas para mitigar la polución global y la forma en que cada productor (al igual que el colibrí de la fábula ) podría contribuir a resolver los problemas de contaminación que afectan a todos por igual. Es una decisión muy elogiosa que dice mucho de su conciencia cívica.

Pero, para realmente lograr mejorar la productividad agrícola y revertir o mitigar el impacto de la agricultura en la crisis ecológica, el campo mexicano requiere de estrategias sociales integrales que permitan implementar sistemas agrícolas justos, equitativos, que sean competitivos y respetuosos del entorno. Son los valores sin los cuales sería muy difícil difundir el conocimiento técnico y científico al sector agropecuario. Por desgracia no podemos tratar de reproducir ningún modelo del pasado; ninguna sabiduría ancestral nos podría servir de guía para llevar una mejor calidad de vida colectiva, tanto rural como urbana. Este es el enorme desafío que estamos legando a las nuevas generaciones. Construir un nuevo humanismo no será para ellos una opción, sino un imperativo.

Los lectores quedarán agradecidos por la forma clara y sencilla en que se explican las transformaciones orgánicas que ocurren en los suelos agrícolas y la importancia de sus propiedades químicas y físicas. Es evidente que los autores conocían e interpretaron muy bien la regla de Schopenhauer: “ *El escritor deberá utilizar palabras sencillas para decir cosas complicadas*”. En ruta pues hacia una mejor utilización de la tecnología agrícola del siglo XXI y hacia un mejor sistema de justicia social honesto, democrático, con más solidaridad y misericordia; más compasivo con los más desprotegidos. Privilegiar ante todo una nueva convivencia responsable. Vivir es saber convivir; existir sin destruir.

R. E. M.

## CAPÍTULO 1

# IMPORTANCIA DEL CAPITAL BIOLÓGICO DEL SUELO AGRÍCOLA.

*Para ser un agricultor exitoso, primero se debe conocer la naturaleza del suelo.*

*(Jenofonte. Historiador y filósofo griego . Atenas 430 a.C. - 355 a.C.)*

La sostenibilidad y el incremento de la fertilidad del suelo es aún uno de los grandes retos de México, por lo que es necesario difundir tecnologías de mejoramiento de suelos tanto para la agricultura comercial como para la producción agrícola familiar. Las prácticas agrícolas han venido erosionado el suelo, obteniendo cultivos de pobre rendimiento, al despojar al suelo de la materia orgánica vital para su productividad. La agricultura industrial, generada con el inicio de la "Revolución Verde", aportó grandes incrementos en la producción agrícola gracias al uso intensivo de agroquímicos, pero ha contaminado gravemente el suelo y el agua, amenazando ahora con un desastre para la creciente población mundial. Es una agricultura extractiva, muy contaminante y generadora de graves peligros para la salud humana y animal; un modelo agrícola que ha provocado la inmigración y la pauperización de la población rural en beneficio de un puñado de grandes multinacionales agroquímicas y farmacéuticas.

Las fuentes antropogénicas que generan mayor contaminación ambiental, según vienen señalando desde hace tiempo diversos colectivos ecologistas, son principalmente las siguientes:

- La agricultura industrial contribuye al incremento de gases de efecto invernadero por la liberación de CO<sub>2</sub> relacionado con la deforestación, la liberación de metano del cultivo de arroz, la fermentación entérica en el ganado y la liberación de óxido nitroso de la aplicación de fertilizantes.
  - La tala excesiva de árboles, destrucción de bosques y selvas para ampliar las superficies de los monocultivos.
  - Emisiones y vertidos industriales a la atmósfera y a la hidrosfera.
  - Extracción, procesamiento y refinamiento de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural).
  - Producción de energía con combustibles fósiles y otras fuentes no renovables.
  - Uso excesivo de automóviles y otros medios de transporte impulsados por gasolina o diésel.
  - Uso indiscriminado de plásticos y otros materiales derivados del petróleo.
  - Liberación de plásticos y objetos no biodegradables en espacios naturales.

El suelo es un recurso natural fundamental que influye sobre diversas áreas políticas. No solo es vital para un medio ambiente saludable, sino que también lo es para la agricultura, para todo el sector alimentario y muy significativamente para el sector salud del país. Sin él, la bioeconomía sostenible no podría crecer. La salud del suelo es la capacidad continua del suelo para funcionar como un ecosistema vivo que sustenta a las plantas, los animales y los seres humanos, y conecta la ciencia agrícola y del suelo con las políticas, las necesidades de las partes interesadas y la gestión sostenible de la cadena de suministro.

Uno de los mayores problemas que causa la agricultura industrial de la *Revolución Verde* es la contaminación del agua, un elemento vital y escaso en el contexto mundial. El suelo es el soporte físico de la vida y fuente de nutrición de las plantas que se desarrollan en él. Igualmente representa el hábitat de los hongos, bacterias, virus, invertebrados, insectos y animales todos ellos forman un ciclo de nutrientes. Así el suelo regula y distribuye el almacenamiento de agua; inmoviliza y desintoxica materiales orgánicos e inorgánicos; y soporta infraestructuras de ingeniería. para mantener la fertilidad de este elemento y conseguir que las plantas crezcan sanas. Cuando todos los productores agrícolas restauren la fertilidad de la tierra mediante métodos orgánicos, se logrará alimentar sanamente al mundo, a reducir la contaminación y a enfriar el planeta, a detener la emigración rural haciendo más rentables las granjas familiares.

En la agricultura orgánica sostenible se busca mantener siempre suelos agrícolas equilibrados, sanos y fértiles. Hay que tener en cuenta que el suelo es un sistema poroso y como tal, contiene las tres fases posibles de encontrar en la naturaleza: fase sólida, fase líquida y fase gaseosa. El informe de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) presentado en Roma en 2018, señala que *“la contaminación del agua por prácticas agrícolas insostenibles plantea una muy grave amenaza para la salud humana y los ecosistemas del planeta , un problema que a menudo subestiman tanto los responsables de las políticas de salud y de producción agrícola como los propios agricultores”*.

En la mayoría de los países, la mayor fuente de contaminación

del agua es la agricultura - no las ciudades o la industria - mientras que, a nivel mundial el contaminante químico más común en los acuíferos subterráneos son los nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) procedentes de la actividad agrícola. La FAO se pregunta: más gente, más alimentos, ¿peor agua? . Es innegable que la agricultura moderna es responsable del vertido de grandes cantidades de agroquímicos, materia orgánica, sedimentos y sales en los cuerpos de agua. Esta contaminación afecta la salud de miles de millones de personas y genera costos anuales de servicios de salud por miles de millones de dólares.

La Directora General del *Instituto Internacional de Manejo del Agua (IWMI)* y el director de la División de Tierras y Aguas de la FAO, señalan a su vez que: "La agricultura es el mayor productor de aguas residuales, por volumen; el ganado genera muchas más excreciones que los humanos. Y, a medida que se ha intensificado el uso de la tierra, los países han aumentado enormemente el uso de pesticidas sintéticos, fertilizantes y otros insumos agroindustriales. Si bien estos insumos han ayudado a impulsar notablemente la producción alimentaria, también han dado lugar a amenazas ambientales, así como a graves problemas de salud humana. Los contaminantes agrícolas más preocupantes para la salud de los seres humanos son los patógenos del ganado, los plaguicidas (o "*pesticidas*"), los nitratos en las aguas subterráneas, oligoelementos metálicos (Metales pesados) y los contaminantes emergentes; incluidos aquí los antibióticos y los genes resistentes a los antibióticos excretados por el ganado". Una importante alerta sobre estos problemas con la agricultura, la publicó en 1995 el agrónomo y periodista alemán Erhard Henning.

La enorme importancia del contenido de humus en el suelo para poder retener y almacenar agua, es una parte vital en la salud del suelo. El suficiente contenido de materia orgánica es indispensable para detener la descomposición estructural del suelo. Un suelo con daño estructural generalmente carece de humus, es un suelo sin vida y sin la capacidad de tomar y almacenar agua; e incluso puede perder la capacidad de usarla. Un suelo que carece de humus no puede almacenar agua pues carece de los túneles de lombrices de tierra, vitales para la ingesta del agua. Es innegable que por desgracia muchos campos agrícolas se han venido empobreciendo en humus por falta del necesario mantenimiento periódico del suelo. La disminución en el

porcentaje de humus en las parcelas implica siempre una reducción de sus reservas de agua. Vale la pena comentar aquí que las estaciones experimentales agrícolas de Rusia han encontrado que en los campos rodeados de setos y protegidos del viento el balance hídrico es mucho mejor, y se protege más la reproducción de microorganismos, lo que conduce a rendimientos más elevados en la cosecha. De paso los investigadores rusos confirmaron científicamente una de las condicionantes que propuso el agrónomo suizo Hans Rush para establecer sistemas de "*Agricultura Biológica*".

El agua es la materia prima más importante y vital del planeta. El ciclo global del agua en el sector agrícola es análogo a la circulación sanguínea en el cuerpo humano, exactamente así es de importante. Hidrólogos, meteorólogos y ecologistas han venido pronosticando una falta crítica de agua en algunas regiones y -simultáneamente - un exceso de agua, incluso catastróficas inundaciones, en otras regiones del país. Por desgracia todos hemos comprobado que esto sucede cada vez con más frecuencia. Deberíamos estar tanto o más preocupados por el origen del agua para uso agrícola, (en volumen y calidad) que por los muchos otros problemas políticos que enfrentan los agricultores. Muchos predios en nuestro país se han ya convertido en terrenos agotados, inservibles para la agricultura debido a la escasez de agua.

El agrónomo alemán Erhard Henning, hace notar en sus publicaciones que la cantidad de escorrentía superficial a nivel mundial está aumentando en varias áreas; problema que se presenta incluso cuando las precipitaciones en dichas áreas llevan una tendencia decreciente. Para los expertos, este hecho es sumamente alarmante: si la cantidad de escorrentía aumenta en relación con las lluvias, significa que los suelos están perdiendo su capacidad de almacenar agua. Nos enfrentamos así a la perspectiva de que la capa superficial del suelo sea lavada, (lixiviada), causando una mayor pérdida de agua de la que podría haber en un predio saludable.

Otro grave problema es el - ya tantas veces mencionado por los grupos ecologistas - excesivamente alto contenido de nitrato en el agua de riego. Todos los fertilizantes nitrogenados contribuyen a la

contaminación, no solo los fertilizantes minerales (en particular los que contienen nitrógeno artificial) sino también el nitrógeno proveniente de los fertilizantes orgánicos anaeróbicos como el estiércol. Todos pueden contaminar el agua y la capa superficial del suelo. Según expertos, un contenido máximo de nitratos de no más de 50 miligramos de nitrato por litro debe ser el máximo permitido. Aunque otros consideran que incluso ese nivel máximo sigue siendo demasiado alto. Aquí hay una razón más para valorar la importancia de la capa de humus, ahora que existe una verdadera amenaza de creciente desertificación, que protege de la desertificación. Los nitratos y demás nutrientes deben medirse en el laboratorio para controlar la calidad del agua. En la historia, las evaluaciones del suelo se centraron en la producción de cultivos, pero, hoy en día, la salud del suelo también incluye el papel del suelo en la calidad del agua, el cambio climático y la salud humana. Sin embargo, la cuantificación de la salud del suelo todavía está dominada por indicadores químicos, a pesar de la creciente apreciación de la importancia de la biodiversidad del suelo, debido al conocimiento funcional limitado y la falta de métodos efectivos.

En esta perspectiva, la definición y la historia de la salud del suelo se describen y comparan con otros conceptos del suelo. Describimos los servicios ecosistémicos que brindan los suelos, los indicadores utilizados para medir la funcionalidad del suelo y su integración en índices informativos de salud del suelo. Los científicos deberían adoptar la salud del suelo como un principio general que contribuye a los objetivos de sostenibilidad, en lugar de solo una propiedad para medir.

La calidad del suelo es uno de los tres componentes de la calidad ambiental, además de la calidad del agua y el aire. La calidad del agua y el aire se definen principalmente por su grado de contaminación que impacta directamente en el consumo y la salud humana y animal, o en los ecosistemas naturales. Por el contrario, la calidad del suelo no se limita al grado de contaminación del suelo, sino que comúnmente se define de manera mucho más amplia como *"la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema y el uso de la tierra para mantener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover las plantas y salud animal"* Esta definición refleja la complejidad y los numerosos vínculos entre las funciones del suelo y los servicios de los ecosistemas basados en el suelo. De hecho, la

calidad del suelo es más compleja que la calidad del aire y el agua, no solo porque el suelo constituye fases sólidas, líquidas y gaseosas, sino también porque los suelos pueden utilizarse para una mayor variedad de propósitos. La Misión Europea de Salud y Alimentos, define esta multifuncionalidad del suelo como: *“la capacidad del suelo para promover el crecimiento de las plantas, proteger las cuencas hidrográficas regulando la infiltración y reparto de las precipitaciones y prevenir la contaminación del agua y el aire por amortiguar contaminantes potenciales como productos químicos agrícolas, agrícolas, desechos orgánicos y productos químicos industriales”*

La evaluación de la calidad del suelo debe incluir valores de referencia para permitir la identificación de los efectos de la gestión. Los suelos a menudo reaccionan lentamente a los cambios en el uso y manejo de la tierra, y por esa razón puede ser más difícil detectar cambios en la calidad del suelo antes de que ocurran daños irreversibles que en la calidad del agua y el aire. Por lo tanto, un componente importante de la evaluación de la calidad del suelo es la identificación de un conjunto de atributos sensibles del suelo que reflejan la capacidad de un suelo para funcionar y pueden usarse como indicadores de la calidad del suelo. Debido a que el manejo -generalmente- tiene efectos limitados a corto plazo sobre propiedades inherentes como la textura y los contenidos de elementos esenciales se necesita que existan indicadores biológicos, precisos y para usos diversos.

*“Cuidar el suelo es cuidar la vida”* es el título de la misión propuesta por la ya mencionada “Misión de Salud y Alimentos del Suelo”. Su objetivo es “garantizar que el 75% de los suelos estén sanos para 2030 y sean capaces de proporcionar servicios ecosistémicos esenciales, como suministro de alimentos a la biomasa, apoyo a la biodiversidad, el almacenamiento y la regulación del flujo de agua o la mitigación de los efectos del cambio climático.”. La misión establece el plan para alcanzar estos objetivos a través de una combinación de investigación e innovación, capacitación y asesoramiento, así como la demostración de buenas prácticas para la gestión del suelo. En resumen, *“la misión será un esfuerzo conjunto de partes interesadas, investigadores, responsables políticos y ciudadanos que podrá situar a*

*la Unión Europea en el camino hacia la gestión sostenible de la tierra y el suelo como parte de una transición social más amplia y ecológica”.*

**\*\*\*\***

La presente obra se enfoca en los conocimientos necesarios que deben tener los productores agrícolas para conservar y mejorar la calidad del suelo agrícola. Un suelo sano, altamente valorado requiere el control de sus características físicas, químicas y biológicas. Este conjunto de tres parámetros que se utilizan para establecer las características de un suelo agrícola es lo que también se conoce como “*el capital biológico del suelo*”. El carbono en el suelo trasciende estas tres categorías de indicadores; teniendo la influencia más ampliamente reconocida en la calidad del suelo ya que está vinculado a todas sus funciones, físicas, químicas y biológicas. En los próximos capítulos nos extenderemos sobre estos tres conceptos que conforman un capital biológico que puede y debe conducir a una vida humana saludable: la salud física, la salud química y la salud biológica del ser humano.

## CAPÍTULO 2.

# LA SALUD FÍSICA DEL SUELO

*La agroecología es una técnica muy sofisticada. Es una combinación de la inteligencia humana y de la inteligencia propia de la naturaleza. La primera se inspira en la segunda.*

*Dra. Vandana Shiva. Premio Nobel alternativo.*

El suelo es la cubierta de la mayoría de la superficie continental de la Tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. La tierra agrícola se desarrolló hace mucho tiempo con la ayuda de las plantas que viven sobre piedras (*petroflora*), mediante la penetración del agua y la desintegración de piedras y rocas. Las fuerzas de la intemperie son capaces de dividir y triturar las rocas hasta convertirlas en polvo fino mediante, por ejemplo, la humedad que penetra en huecos y grietas y que al congelarse fracturan la piedra. O mediante el oleaje del mar o los terremotos y erupciones volcánicas. La arena, por ejemplo, está lejos de ser el punto final de la erosión de las rocas; ese puesto le corresponde al barro y a las marismas. La desintegración de las partículas del suelo no solo ocurre químicamente, sino que se realiza gracias al trabajo conjunto con los microbios de la corteza terrestre, los cuales desde hace miles de años colaboran en la descomposición de las partículas de piedra.

No es de extrañar, por ello, que las características de los suelos cambien mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un sitio específico están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas.

Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales. Sin embargo, el cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de mucha de su protección contra la erosión del agua y del viento, por lo que estos cambios pueden ser más rápidos. Por ello, los productores agrícolas tienen que desarrollar métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo debida al cultivo excesivo y/o para reconstruir suelos que ya han sido alterados con graves daños. El conocimiento básico de la textura del suelo es importante para conocer en detalle todas sus propiedades. Desde la evaluación de los componentes minerales y orgánicos, de la aireación y de la capacidad de retención del agua, así como de muchos otros aspectos de la estructura de los suelos. Todo ello es sumamente

útil para mejorar la salud del suelo, lo cual significa más fertilidad y, por ende, la obtención de cosechas de mejor calidad y de mayor rentabilidad. Los requerimientos de suelo de las distintas plantas varían mucho, y no se puede generalizar sobre el terreno ideal para el crecimiento de todas las plantas. Muchas plantas, como la caña de azúcar, requieren suelos húmedos que estarían insuficientemente drenados para el trigo. Las características apropiadas para obtener con éxito determinadas cosechas no sólo son inherentes al propio suelo; algunas de ellas pueden ser creadas por un adecuado acondicionamiento del suelo. (Cf. *Biblioteca de la Agricultura. Lexus 2007*)

## 2.1. La naturaleza del suelo

Los componentes primarios del suelo son (1) Compuestos inorgánicos, no disueltos, producidos por la meteorización y la descomposición de las rocas superficiales; (2) Los nutrientes solubles utilizados por las plantas; (3) Distintos tipos de materia orgánica, viva o muerta, y (4) Gases y agua requeridos por las plantas y por los organismos subterráneos. La naturaleza física del suelo está determinada por la proporción de partículas de varios tamaños. Las partículas inorgánicas tienen tamaños que varían entre el de los trozos distinguibles de piedra y grava hasta los de menos de 1/40.000 centímetros. Las grandes partículas del suelo, como la arena y la grava, son en su mayor parte químicamente inactivas; pero las pequeñas partículas inorgánicas, componentes principales de las arcillas finas, sirven también como depósitos de nutrientes para las plantas. El tamaño y la naturaleza de estas diminutas partículas inorgánicas determinan en gran medida la capacidad de un suelo para almacenar agua. La parte orgánica del suelo está formada por restos vegetales y restos animales, junto a cantidades variables de materia orgánica amorfa llamada humus. La fracción orgánica representa entre el 2 y el 5% del suelo superficial en regiones húmedas, pudiendo ser menor del 0.5% en suelos áridos, o cerca del 95% en suelos de turba. Lo que se conoce como "humus" es el conjunto de componentes orgánicos del suelo que ya no tienen una organización biológica identificable: vegetal, animal o bacteriana. El componente líquido de los suelos, denominado *solución del suelo*, es agua con sustancias minerales, con cantidades grandes de oxígeno y de dióxido de carbono disueltos. Esta

solución tiene importancia primordial al ser el medio por el que los nutrientes son absorbidos por las raíces. Cuando la solución del suelo carece de los elementos requeridos para el crecimiento de las plantas, el suelo es estéril. Los principales gases contenidos en el suelo son el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono. El primero de estos gases es importante para el metabolismo de las plantas porque su presencia es necesaria para el crecimiento de varias bacterias y de otros organismos responsables de la descomposición de la materia orgánica. La presencia de oxígeno también es vital para el crecimiento ya que su absorción por las raíces es necesaria en los procesos metabólicos.

## 2.2 Clases de suelo.

Los suelos muestran gran variedad de aspectos, fertilidad y características químicas en función de los materiales minerales y orgánicos que lo forman. El color es uno de los criterios más simples para calificar las variedades de suelo. La regla general, aunque con excepciones, es que los suelos oscuros son más fértiles que los claros. El color oscuro suele ser resultado de la presencia de grandes cantidades de humus. A veces, sin embargo, los suelos oscuros o negros deben su tono a la materia mineral o a humedad excesiva; en estos casos, el color oscuro no es un indicador de fertilidad. Los suelos rojos o castaño-rojizos suelen contener una gran proporción de óxidos de hierro (derivado de las rocas primigenias) que no han sido sometidos a humedad excesiva. Por tanto, el color rojo es, en general, un indicio de que el suelo está bien drenado no es húmedo en exceso y es fértil. En muchos lugares del mundo, un color rojizo puede ser debido a minerales formados en épocas recientes, no disponibles químicamente para las plantas. Casi todos los suelos amarillos o amarillentos tienen escasa fertilidad ya que deben su color a óxidos de hierro que han reaccionado con agua y son de este modo señal de un terreno mal drenado. Los suelos grisáceos pueden tener deficiencias de hierro u oxígeno, o un exceso de sales alcalinas, como carbonato de calcio. ( Ibidem )

La textura general de un suelo depende de las proporciones de partículas de distintos tamaños que lo constituyen. Las partículas del suelo se clasifican como arena, limo y arcilla. Las partículas de arena tienen diámetros entre 2 y 0,05 mm, las de limo entre 0,05 y 0,002

*mm*, y las de arcilla son menores de  $0,002\text{ mm}$ . En general, las partículas de arena pueden verse con facilidad y son rugosas al tacto. Las partículas de limo apenas se ven sin la ayuda de un microscopio y parecen harina cuando se tocan. Las partículas de arcilla son invisibles si no se utilizan instrumentos. Forman una masa viscosa cuando se humedecen.

En función de las proporciones de arena, limo y arcilla, la textura de los suelos se clasifica en varios grupos definidos de manera arbitraria. Algunos son: la arcilla arenosa, la arcilla limosa, el limo arcilloso, el limo arcillo-arenoso, el limo arcilloso, el limo, el limo arenoso y la arena limosa. La textura de un suelo afecta en gran medida a su productividad. Los suelos con un porcentaje elevado de arena suelen ser incapaces de almacenar agua suficiente como para permitir el buen crecimiento de las plantas y pierden grandes cantidades de minerales nutrientes por lixiviación hacia el subsuelo. Los suelos que contienen una proporción mayor de partículas pequeñas, por ejemplo, las arcillas y los limos, son depósitos excelentes de agua y encierran minerales que pueden ser utilizados con facilidad. Sin embargo, los suelos muy arcillosos tienden a contener un exceso de agua y tienen una textura viscosa que los hace resistentes al cultivo y que impide, con frecuencia, una aireación suficiente para el crecimiento normal de las plantas. (*Ibidem*)

### **2.3 Clasificación de los suelos.**

Los suelos se dividen en varias clases según sus características generales. La clasificación se suele basar en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir, por ejemplo, la profundidad, el color, la textura, la estructura y la composición química. La mayoría de los suelos tienen capas características, llamadas horizontes; la naturaleza, el número, el grosor y la disposición de éstas también es importante en la identificación y clasificación de los suelos.

Las propiedades de un suelo reflejan la interacción de varios procesos de formación que suceden de forma simultánea tras la acumulación del material primigenio. Algunas sustancias se añaden al

terreno y otras desaparecen. La transferencia de materia entre horizontes es muy corriente. Algunos materiales se transforman. Todos estos procesos se producen a velocidades diversas y en direcciones diferentes, por lo que aparecen suelos con distintos tipos de horizontes o con varios aspectos dentro de un mismo tipo de horizonte. Los suelos que comparten muchas características comunes se agrupan en series y éstas en familias. Del mismo modo, las familias se combinan en grupos, y éstos en subórdenes que se agrupan a su vez en órdenes. Los nombres dados a los órdenes, subórdenes, grupos principales y subgrupos se basan, sobre todo, en raíces griegas y latinas. Cada nombre se elige tratando de indicar las relaciones entre una clase y las otras categorías, caracterizando cada grupo.

#### **2.4. Clasificación según el USDA.**

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) clasifica las partículas más pequeñas de arcilla USDA como las de diámetros menores de 0,002 mm. Le siguen las partículas limo con diámetros entre 0,002 y 0,05 mm. Y las más grandes son la arena con tamaño de partículas mayor a 0,05 mm. A su vez la arena puede subdividirse en gruesa, intermedia como media, y fina. Para determinar el tipo granulométrico o clase textural de un suelo, se recurre a varios métodos. Se utilizan cada vez más los diagramas triangulares, siendo el triángulo de referencia un triángulo equilátero, un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo, el tercero a la arena. Cada uno de sus lados se encuentra graduado de 10 en 10 y va de 0 a 100, y sobre la retícula se transporta la cantidad del elemento que representa. El interior del triángulo está dividido en casillas, cada una de ellas representa una clase textural de suelo caracterizado por las proporciones de los elementos dominantes. La textura de un suelo es la proporción de cada elemento en el suelo, representada por el porcentaje de arena (Ar), arcilla (Ac), y limo (l).

Se considera que un suelo presenta buena textura cuando, la proporción de los elementos que lo constituyen, le brindan a la planta la posibilidad de ser un soporte que permita un buen desarrollo radicular y brinde un adecuado nivel de nutrientes. La textura del suelo depende de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de

evolución del suelo, siendo el resultado de la acción y de la intensidad de los factores de formación de suelo.

### **Fracción arcilla**

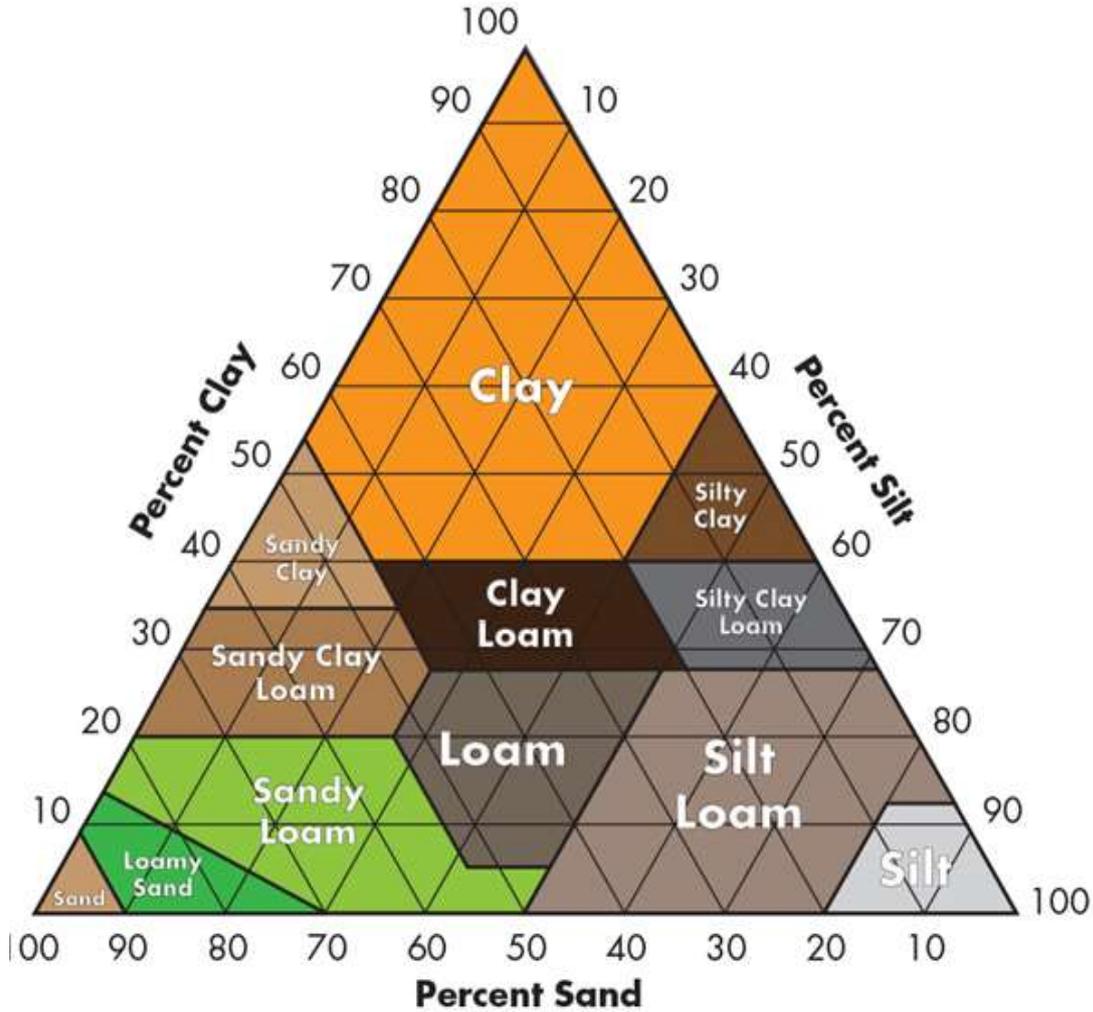
En esta fracción se encuentran variados minerales secundarios, los cuales se clasifican en silicatos y no silicatos. Los primeros incluyen caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y allofanita (hidrosilicato de aluminio amorfo), entre varios otros. Existe una gran variación en la plasticidad, cohesión, adhesión, capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades; debido a ello es la importancia el conocer el tipo de arcilla que predomina en un suelo. Los no filosilicatos incluyen cuarzo y otras formas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ); óxidos e hidróxidos de hierro, (hematita o goethita); óxidos e hidróxidos de aluminio y carbonato de calcio. Parte del material mineral de la arcilla de los suelos es cristalino y parte amorfo.

### **Fracciones arena y limo.**

Las partículas de arena son casi siempre fragmentos de roca, sobre todo de cuarzo, existiendo además cantidades variables de otros minerales primarios. La composición mineralógica de estas fracciones sigue los principios vistos anteriormente y varía para los distintos suelos según la roca madre y el grado de meteorización. El limo está constituido por materiales heredados o transformados, pero no tienen carácter coloidal. Es una fracción donde las transformaciones son mayores y su composición mineralógica se parece a la de las arcillas. Son partículas de un solo mineral en las que usualmente existe un alto contenido en filosilicatos de transformación o "neoformación".

La dominancia de fracciones finas en un suelo determina que tienda a retardarse el movimiento del agua y aire, siendo altamente plástico y fuertemente adhesivo cuando esté demasiado mojado. La expansión y contracción suele ser importante al mojarse y secarse alternativamente, y su capacidad de retener agua es alta. A este tipo de suelo, comúnmente se les llama "suelos pesados", en contraste con los suelos arenosos que se les denomina "suelos livianos". Sin embargo, suelos de textura fina pueden poseer buenas características de drenaje y aireación, si tienen una buena estructura.

GRAFICA 1. CLASIFICACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO.  
Departamento Norteamericano de Agricultura.



- Loam = franco
- Loamy sand = arenoso franco
- Sand = arenoso
- Sandy clay = arcillo arenoso
- Sandy clay loam = franco arcillo arenoso
- Sandy loam = franco arenoso
- Clay = arcilloso
- Clay loam = franco arcilloso
- Silt = limoso
- Silt loam = franco limoso
- Silty clay = arcillo limoso
- Silty clay loam = franco arcillo limoso

## 2.5. Suelos con estructuras saludables

Para que un suelo pueda considerarse saludable, es decir fértil, debe tener una buena estructura. La buena estructura no se logra con el arado, ya que puede no permanecer en buenas condiciones por mucho tiempo. Lo que equivale a decir que un suelo está en buenas condiciones solo si la capa superficial permanece fértil durante toda una temporada y, además, que no se haya alterado debido a los efectos sedimentadores del agua de riego o de lluvia. 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 otro factor depende de la resistencia al agua por parte de las sustancias aglutinantes del suelo.

### La labranza biológica

La vida vegetal y la orgánica que está en el suelo, desde las raíces de las plantas hasta los microorganismos, depende grandemente de la estructura porosa del suelo. El hábitat donde se alberga la vida del suelo consiste en un sistema de espacios huecos formados por muchos poros de diferentes dimensiones. Dependiendo de sus tamaños, los poros cumplen funciones muy distintas. En función del tamaño, se pueden estimar, muy aproximadamente, tres diferentes categorías de poros que también son muy importantes para los muchos microorganismos de diferentes dimensiones que ahí habitan.

- Poros pequeños (menores a 0,003 mm), que sirven como la última reserva de agua durante los períodos de sequía, ayudando así a preservar la vida en el suelo
- poros de tamaño mediano (0,003 – 0.03 mm) que son los que almacenan el agua de lluvia y forman el sistema de suministro de agua del suelo
- poros grandes (mayores de 0.03 mm) que ayudan a airear el suelo. Son canales en el suelo que solo se llenan de agua en forma temporal. Su importancia radica en sus funciones de distribuir el aire del suelo. Las raíces y los organismos del suelo.

Cualquier alteración en la distribución de estos poros, modifica la estructura del suelo afectando no solo el suministro de agua y aire sino

también a la distribución de sus habitantes. Las bacterias que viven en los poros pequeños, ahí están protegidas de organismos más grandes. Al igual que las plantas brindan a gran escala una cubierta protectora en las laderas para evitar ser erosionadas por el agua, a pequeña escala una protección similar la brindan los microorganismos - las bacterias, hongos y actinomicetos - varios millones de los cuales están presentes en un solo gramo del suelo.

Se ha calculado que aproximadamente mil kilogramos de organismos del suelo (una tonelada) están presentes por hectárea de suelo, dispuestos a descomponer las sustancias orgánicas y permitir el transporte de los nutrientes a las plantas. En resumen, el agua provoca también micro erosiones en el suelo, que solo pueden ser contrarrestadas por la acción de los microorganismos ahí presentes, los cuales llevan a cabo una especie de eficiente labranza biológica. A fin de facilitar esta labranza biológica y obtener una buena labranza en un campo arado, hay tres condiciones que deben tener siempre en mente los productores agrícolas:

Primera: Los grumos o '*agregados primarios*', deben ser suficientemente resistentes al agua porque de otra forma los microorganismos no podrían lograr la unión de los componentes coloidales, microscópicos y submicroscópicos. Si los coloides del suelo están presentes en forma móvil, la acidez del suelo (pH) debe corregirse mediante el encalado con una cantidad adecuada de cal agrícola ( $\text{CaCO}_3$ ), para inducir la floculación del coloide. Cuanto más grandes y voluminosos sean los agregados, mejor. Hay que evitar la disolución de los coloides del suelo, pues se produciría una ruptura de la estructura (es decir, a una disolución de los agregados y la cementación de los poros), lo cual inhibiría la proliferación de los organismos.

Segunda: los organismos del suelo deben recibir suficientes nutrientes orgánicos. Estos son proporcionados por la masa de raíces producidas en el suelo, por las partes de la superficie de las plantas y por la fertilización orgánica. Si los organismos no tienen suficientes nutrientes disponibles, el resultado será una labranza biológica muy deficiente y una baja calidad del terreno; a final de cuentas es decir un suelo poco saludable.

Tercera: el clima del suelo debe mantenerse lo más constante posible. El suelo debe estar siempre esté cubierto por vegetación o por una capa de hojarasca. Esto protege los procesos de labranza biológica de la lluvia, la deshidratación y el lavado.

El conocimiento que se tiene actualmente sobre la biología del suelo, indica que suelo y plantas forman una unidad biológica; las plantas dan y extraen nutrientes del suelo. Las raíces dan a los organismos que viven en el suelo sus nutrientes básicos; el suelo sin plantas sería estéril. La cantidad de materia radicular presente en el suelo determina la cantidad de nutrientes disponibles para los microorganismos que viven en él, determinando así la productividad de los organismos. En resumen: cuanto más densas sean las raíces en el suelo, mejores serán los nutrientes disponibles para las plantas y más completa será la materia orgánica y la salud del suelo será por consiguiente mucho mejor. (Cf. *Erhard Hennig. Secrets of fertile soils* ).

### La densidad real y aparente

La densidad es una medida muy importante para poder caracterizar la estructura de un suelo agrícola. Su valor nos da una idea de la cantidad de microporos y macro poros que contiene el suelo. Se distinguen dos tipos de densidad (a) la densidad aparente y, (b) la densidad real. La primera- la densidad aparente ( $D_a$ ) – es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo. Estos datos de la  $D_a$  se expresan necesariamente en unidades de peso y volumen, siendo la más frecuente “gramos por centímetro cúbico”. ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). La densidad aparente en suelos minerales suele variar entre 1.0 y 1.6  $\text{g}/\text{cm}^3$ . En suelos orgánico es menor y puede alcanzar valores hasta de 0,1  $\text{g}/\text{cm}^3$  . (En turbas de *esphagnos*). La mayor parte de las variaciones provienen de diferencias en el volumen total de poros. Como regla general, los suelos de textura fina tienen mayor porosidad y menor densidad aparente que los suelos arenosos. La materia orgánica de un suelo actúa de forma que hace descender la densidad aparente . En primer lugar, porque su densidad es menor que la del suelo , y en segundo lugar, porque al formar agregados , mantiene la estructura del suelo y la porosidad. Por tanto, la densidad aparente es menor. La densidad real, también llamada “densidad de las partículas ( $D_r$ ), es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total

del mismo sin el volumen que origina la porosidad. Es decir, a diferencia de la densidad aparente, la densidad real del suelo se calcula a partir de un volumen determinado, excluyendo el volumen que ocupaban los macro y microporos. Los valores de la densidad real varían en estrechos límites de 2.60 a 2.75 g/cm<sup>3</sup>. Esto es así, porque minerales como el Cuarzo, el feldespato y los silicatos coloides tienen estos valores de densidades y constituyen, por lo regular, la mayor porción de los suelos minerales. No obstante, cuando están presentes cantidades anormales de minerales pesados como magnetita, granates zircón, turmalina la densidad real de un suelo puede exceder los 2,75 g/cm<sup>3</sup>.

GRAFICA 2. DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD.

RELACIÓN ENTRE DENSIDAD APARENTE, % DE SÓLIDOS, Y % DE VOLUMEN DE POROS.							
Densidad aparente en Kg/m <sup>3</sup>	1,000	1,100	1,200	1,300	1400	1,500	1,600
Densidad aparente en g/ cm <sup>3</sup>	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Porcentaje de sólidos	38	42	45	49	53	57	60
Volumen de poros en %	62	58	55	51	47	43	40

Suelos con densidad real igual a 2.65 g/m<sup>3</sup>. Método: NOM – 021-2000

El porcentaje de porosidad de un suelo (% P) se calcula a partir de la densidad real y de la densidad aparente.  $\%P = [(Dr - Da) / Dr] \times 100$   
Antiguamente se utilizaban los términos de "peso específico" o de "peso volumétrico" para expresar la densidad real.

### Compactación del suelo

La densidad aparente de un suelo varía según su grado de compactación. La compresión del suelo hace descender su volumen de poros y aumenta su peso por unidad de volumen. Las sobrecargas tienden a compactar los horizontes inferiores proporcionándoles mayor densidad aparente que los horizontes superiores. 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 internas 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 .

## 2.6 El humus en estructuras saludables

La palabra humus hace referencia al conjunto de los compuestos orgánicos presentes en la capa superficial del suelo, que proceden de la descomposición de animales y vegetales". (*Diccionario de la lengua española. Humus .Del latín humus 'tierra', 'suelo'.* ) El humus es así la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos que cumplen con esta función, como los hongos y las bacterias.

El humus se caracteriza por su color negrozco debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se caracteriza por mejorar las propiedades físicas del suelo al dar mejor estructura al mismo, mayor retención de humedad y capacidad de aireación. Mejora características como la permeabilidad, aireación y compactación de los suelos arenosos, mientras que a los arcillosos los hace más esponjosos.

El esquema de la página siguiente muestra el comportamiento de la "biomasa de microbios" del suelo. Gracias a la cantidad y a la diversidad de los seres vivos que se encuentran en él. este estrato constituye un verdadero reactor biológico. uno de sus procesos principales constituye la degradación de la materia orgánica en dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, y en humus que, como ya señaló se define como "*el conjunto de componentes orgánicos del suelo que ya no tienen una organización biológica identificable: vegetal, animal o bacteriana*". El suelo y el humus conforman un único organismo que no permite que el ser humano trate de perturbarlo o de manipularlo sin sufrir las consecuencias. Nosotros, todos los seres humanos, estamos también incluidos en la cadena suelo-humus como un tercer elemento.

En 1985 Hans Rusch postuló la *Ley de la Preservación de Vida*, como consecuencia lógica de la conocida Ley de Conservación de la Energía. Para ese entonces era ya muy evidente la extraordinaria capacidad de las bacterias para transportar sustancias vivas desde el suelo hasta los organismos vivientes y luego a los seres humanos. Y ya se conocían los singulares poderes curativos de los alimentos cultivados en forma natural, sin haber sido tratados con venenosos agroquímicos. Este fue el inicio científico de la agricultura orgánica, también conocido como "*Agricultura Biológica*" (Logo "AB" ) que fue

inicialmente desarrollado en Suiza por el mismo Hans Rush, quien tenía muy claro que la naturaleza había dejado de ser un inagotable almacén de nutrientes y que – en la sociedad de consumo- ya no era posible sostener los costos sociales de desperdicios, contaminaciones y problemas de salud humana. Rush establece que la agricultura orgánica debe asegurar la subsistencia de la población sin dilapidar el potencial de producción, utilizando al máximo los recursos renovables. Para ello, proponía los siguientes tres principios :

- Le suelo debe estar recubierto y abrigado por setos y rompevientos a fin de proteger el terreno de la erosión, reducir la evaporación y favorecer al máximo la actividad microbiana.
- La mejor cobertura es la materia orgánica. A diferencia de otros expertos agrónomos, H.Rusch no considera indispensable la tradicional asociación agricultura-ganadería-avicultura, dejando de lado el ideal de empresas agrícolas autárquicas. Los abonos orgánicos pueden provenir del exterior, así como rocas o minerales en polvo.
- La labranza del suelo debe limitarse a lo estrictamente necesario para no perturbar la fauna y la flora del suelo.

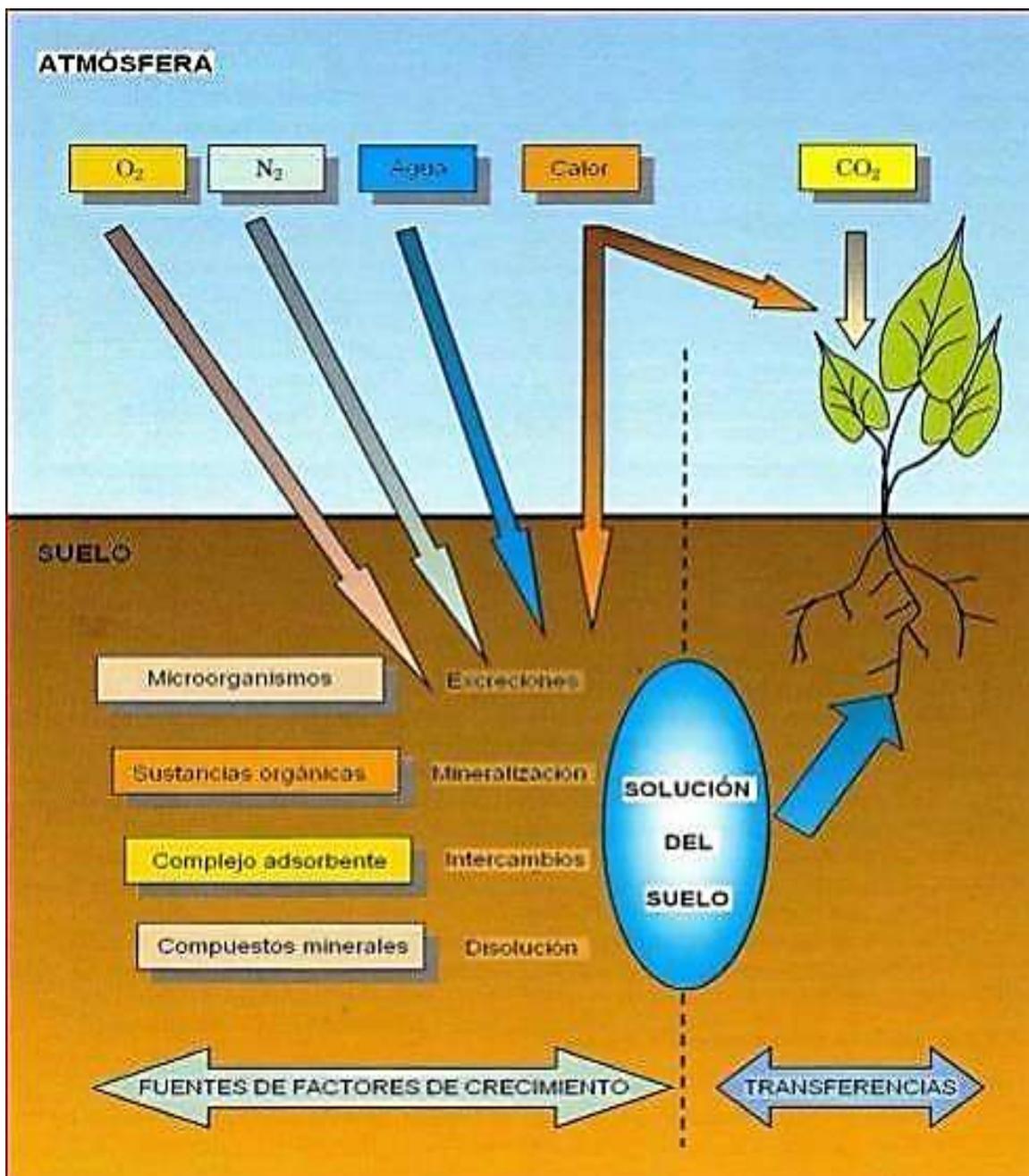
El enfoque de Rush para demostrar el valor de su propuesta de agricultura orgánica se basó en argumentos científicos y económicos. No trata de pregonar el retorno a una mítica edad de oro, sino por el contrario, presenta el proyecto de una sociedad volcada hacia la construcción de un futuro más justo y verdaderamente humano, donde el sector agrícola y agropecuario pueden tener un gran valor demostrativo por el alto número de empleos calificados que sería posible generar en los países de mayor emigración rural.

## 2.7 El Proceso de Humificación

La transformación de la materia orgánica en *humus* se denomina humificación. Es el proceso por el cual el carbono de los residuos orgánicos es transformado y convertido en humus mediante reacciones bioquímicas y/o químicas. Gracias a la acción microbiana se generan nuevas moléculas más complejas (polímeros) donde su contenido de nitrógeno en ellas es fundamental. Las condiciones de pH, temperatura y humedad son determinantes para la descomposición y humificación de las materias orgánicas. Las partes más estables del humus se denominan *sustancias húmicas* : los ácidos húmicos, los fúlvicos y las

*huminas*, todos ellos ácidos poliméricos de alto peso molecular y de naturaleza más o menos aromática, resultado de la policondensación de un gran número de sustancias.

GRAFICA 3. EL SUELO COMO REACTOR BIOLÓGICO.



Dentro de estos procesos de Humificación y Mineralización se encuentran los siguientes dos indicadores que se describen a continuación:

*El coeficiente K1.* También llamado '*coeficiente 'iso-húmico'*' es la cantidad de humus formada a partir de una unidad en peso de materia orgánica seca aportada por el suelo. Teniendo en cuenta que una parte mayoritaria de los residuos orgánicos se descomponen sin transformarse nunca en humus, es necesario en cada caso calcular este coeficiente, en función de la "Relación C/N". (Que se va a explicar en el punto siguiente).

*El Coeficiente K2.* El coeficiente K2 o "*coeficiente de mineralización del humus*" evalúa el porcentaje de humus estable que se mineraliza anualmente.

En la mayoría de los suelos, la descomposición media anual del humus oscila entre los 2 mil y los 4 mil kilogramos por hectárea. Esta cantidad puede representar menos del 1% del humus existente en una región fría, hasta más del 25% en los suelos tropicales. Este coeficiente K2 depende pues de las condiciones climáticas y de la presencia de los iones estabilizadores del humus , pero en general para las regiones templadas del planeta, se puede considerar que el valor promedio de  $K2 = 0.02$ . En otras palabras, se estima que el promedio de humus mineralizado anualmente en las regiones templadas se sitúa alrededor de un 2% del total.

### **La Relación C/N.**

Los organismos están compuestos principalmente por partículas de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, en menores cantidades, por fósforo y azufre. El humus contiene todos los elementos absorbidos por las plantas, pero no en la misma proporción en que se encuentran todos ellos en los tejidos vegetales. En los análisis químicos que se realizan en laboratorio sobre muestras de suelo, se determina el porcentaje de nitrógeno orgánico y de nitrógeno amoniacal. 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 exclusivamente 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:



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. Así pues, se puede considerar al nitrógeno como un elemento limitante para la descomposición de la materia orgánica.

Considerando la acción conjunta de los microorganismos, del carbono orgánico y del nitrógeno que los microorganismos necesitan para su procreación, los edafólogos han establecido un cociente denominado "*Relación del carbono-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. Una composta con una Relación C/N adecuada es una rica fuente de materia orgánica, una sustancia vital para el aire, la humedad y la retención de nutrientes, jugando así un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Retomaremos más a fondo este tema en el capítulo 4 sobre "La Salud Biológica del Suelo"

## 2.8. La fase líquida del suelo

Hidrólogos, meteorólogos y ecologistas han venido pronosticando una falta crítica de agua en algunas regiones y - simultáneamente - un exceso de agua, incluso catastróficas inundaciones, en otras regiones del país. Por desgracia todos hemos comprobado que esto sucede cada vez con más frecuencia. Deberíamos estar tanto o más preocupados por el origen del agua para uso

agrícola, (en volumen y calidad) que por los muchos otros problemas políticos que enfrentan los agricultores. Muchos predios en nuestro país se han ya convertido en terrenos agotados, inservibles para la agricultura debido a la escasez de agua. La antigua aseveración griega "*Hydor Panta*" (El agua es lo más importante) sigue siendo válida y de mucha actualidad ; quizá mucho más ahora que en la antigua Grecia. Según estadísticas de la FAO, en el último siglo, el consumo de agua ha crecido en el mundo a una tasa más de dos veces superior al aumento de la población. De los 1,4 millones de hectáreas estimadas de tierras de cultivo en todo el mundo, las tierras de temporal representan alrededor del 80 por ciento y representan un poco más del 60 % de la producción agrícola mundial. Sin los medios para controlar y manejar eficazmente el agua, los agricultores pobres, que en México los llamamos '*temporaleros*', no podrán salir jamás de la agricultura de subsistencia y de las condiciones de misera en que sobreviven.

Se ha venido presentando aquí los componentes sólidos que influyen en la salud del suelo: la materia orgánica (*humus*) y la mineral. Se presentaron los conceptos de densidad y porosidad. Vimos como el espacio poroso del suelo, por donde pasa el oxígeno del aire, es vital para la respiración de las raíces. El agua, siendo un elemento fundamental para la vida, es necesario estudiarla como parte de la salud física del suelo. Veremos a continuación cómo funciona la antes mencionada "*Solución del suelo*". (Ver 2.8. *La fase líquida del suelo*)

La presencia de agua es indispensable para las plantas no sólo como alimento fundamental y necesario, sino también 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.

Un suelo bien alimentado, con buena cantidad de materia orgánica -humus- 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.

La presencia de suficiente *humus* incrementa la permeabilidad y aireación del suelo. Mejora la compactación de los suelos arenosos, mientras que a los arcillosos los hace más esponjosos. (Ver Punto 3.11)

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. En resumen, los suelos de textura fina (arcillas) se compactan fácilmente, lo que reduce el espacio de los poros, limitando el movimiento del aire y del agua a través del suelo, causando que la lluvia se estanque en charcos.

El suelo no siempre contiene la misma cantidad de agua, la cual sufre variaciones con el tiempo debido a las exportaciones e importaciones que sufre; algunas externas (ganancias por lluvia o riego); otras por evaporación. Pero también sufre pérdidas por las extracciones de las plantas. Las diferencias de "*presión osmótica*" explican la forma en que las plantas absorben los nutrientes que traen consigo la solución del suelo. Cuando la hoja abre sus *estomas*, se crea una diferencia de potencial hídrico entre la solución acuosa del suelo y el exterior de la hoja, que está a presión atmosférica. Esta diferencia de potencial hace que la solución acuosa con nutrientes penetre dentro de las células de las raíces de las plantas y llegue hasta las hojas. ¡Se tiene aquí un auténtico laboratorio vegetal! Parte del agua se evapora en la atmósfera, pero los nutrientes y el resto del agua quedan retenidos en la hoja, la cual gracias a la energía solar, el CO<sub>2</sub>, el agua y los nutrientes sintetiza materia orgánica vegetal. Esta materia orgánica tiene dos destinos: por un lado, sirve como componente de la planta y, por otro, como fuente de energía. Para realizar este proceso de absorción, la planta debe consumir energía, usualmente solar.

Consideremos ahora como está el espacio poroso del suelo después de una precipitación abundante o de una generosa irrigación.

En este caso, la condición del terreno se denomina como de "suelo saturado". Durante un promedio de dos a tres días el agua de gravitación (la que ocupan los *macro poros*) va percolando hacia el manto freático inferior. Cuando los macro poros han perdido el agua y el suelo retiene el agua en los microporos, se dice que el suelo esta a "Capacidad de Campo".

El término *Capacidad de Campo* define así 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. En este caso la planta no puede aprovechar la poca agua residente en el suelo y si no hay un riego de urgencia el marchitamiento será definitivo.

### **Potencial hídrico total**

La energía libre del agua del suelo se expresa mediante el término " potencial hídrico", que es la suma de las fuerzas que retienen o impulsan el agua en el suelo. El potencial hídrico hace pues referencia a la energía potencial que poseen las moléculas de agua para realizar trabajo. Cuantifica la tendencia del agua de fluir desde un área hacia otra debido a ósmosis, gravedad, presión mecánica, o efectos como la tensión superficial. Es un concepto generalmente utilizado en fisiología vegetal que permite explicar la circulación del agua en las plantas; como así también en los animales y el suelo.

El potencial hídrico está constituido por varios potenciales que influyen sobre el movimiento del agua, que pueden actuar en las mismas o diferentes direcciones. Dentro de complejos sistemas biológicos, estos factores de potencial juegan un rol de importancia. Por ejemplo, la adición de solutos al agua disminuye su potencial hídrico, haciéndolo más negativo, como también un incremento en la presión aumenta su potencial, haciéndolo más positivo. Si es posible, el agua fluirá desde un área de alto potencial hídrico hacia un lugar con potencial menor. Un ejemplo muy común es el agua que contiene sal disuelta, como el agua de mar o la solución dentro de células vivas. Estas soluciones generalmente tienen potenciales hídricos negativos,

tomando al agua pura como. de referencia. ( Que se considera con un potencial igual a cero). Si no hay ninguna restricción en el movimiento, las moléculas de agua fluirán desde el agua pura hacia el menor potencial hídrico de la solución. Este flujo continúa hasta que la diferencia en el potencial soluto se equilibre con otra fuerza, como puede ser, el "*potencial presión*". Esta otra fuerza está basada en la presión mecánica, y es un componente muy importante del potencial hídrico total de una **célula vegetal**. El potencial-presión aumenta cuando el agua ingresa a la célula. A medida que se produce el ingreso de agua a través de la **pared celular** y la **membrana citoplasmática**, aumenta el total de agua presente dentro de la célula, la cual ejerce una presión hacia afuera que está contenida por la rigidez estructural de la pared celular. Ejerciendo esta presión, la planta puede mantener su **turgencia** y por lo tanto la rigidez de la planta. Sin la turgencia, la planta pierde su estructura y se **marchita**. El potencial-presión de una célula vegetal viva es generalmente positiva. Potenciales de presión negativos pueden ocurrir cuando el agua se haya bajo la influencia de una tensión, como se da en los vasos del **xilema**.

### **La retención del agua en el suelo**

Estiman expertos agrícolas, como la Dra. Vandana Shiva, que, si se logra desarrollar en todo el mundo una agricultura que tenga una más eficaz utilización del agua, que elimine el uso de plaguicidas tóxicos y que aporte mejoras significativas en la salud del suelo, se podrían lograr incrementos en el rendimiento promedio de los cultivos de hasta el 79 %. Con este porcentaje de aumento el mundo podría enfrentar , sin peligro de hambrunas , el crecimiento demográfico previsto para las próximas décadas.

Los suelos sanos son cruciales para mantener la producción de alimentos y el abastecimiento de agua freática limpia, al tiempo que contribuyen a la resiliencia y a la reducción del riesgo de desastres. Los problemas o limitaciones de una o varias de estas condiciones hacen que la humedad del suelo sea un importante factor limitante para el crecimiento de los cultivos. Los escasos rendimientos de los cultivos se relacionan más a menudo con una insuficiencia de humedad del suelo que con una insuficiencia de precipitaciones. Las técnicas deficientes e insostenibles de manejo de la tierra también disminuyen el contenido de humedad del suelo. El exceso de cultiv , el sobre-pastoreo y la

deforestación someten a los recursos de suelo y agua a una gran tensión pues reducen la fertilidad de la capa arable y la cubierta vegetal, y llevan a una mayor dependencia de la agricultura de regadío.

El cumplimiento de las metas de seguridad alimentaria exige la aplicación de políticas agrícolas sostenibles que garanticen la mejora de la calidad del suelo y de la retención de agua. Dado que la mayoría de los pequeños agricultores de los países en desarrollo dependen de la agricultura de temporal, es muy importante mejorar la optimización y gestión de la humedad del suelo. Varias prácticas de gestión sostenible de la agricultura y la tierra pueden contribuir a mejorar la capacidad de retención de humedad del suelo, entre ellas: las cubiertas de residuos o rastrojos, los cultivos de protección y la cobertura del suelo con materia orgánica protegen la superficie del suelo, mejoran los índices de infiltración de agua y reducen la erosión y la evaporación, mejorando de este modo el contenido de humedad del suelo en relación con el suelo desnudo, incluso con un bajo nivel de precipitación.

La mejora de la gestión de la humedad del suelo es fundamental para la producción agrícola y el suministro de agua sostenibles. Los factores que influyen en la retención de agua son la textura, los tipos de arcilla, , estructura, contenido en materia orgánica, así como el espesor y secuencia de los horizontes de un perfil. Como se comentó en el inciso 2.4 sobre textura del suelo, las arcillas influyen de forma especial en la retención de agua. Su fino diámetro de partículas retiene mayor cantidad de agua que los suelos de textura gruesa o arenosa, tanto a Capacidad de Campo como en el Punto de Marchitez Permanente.

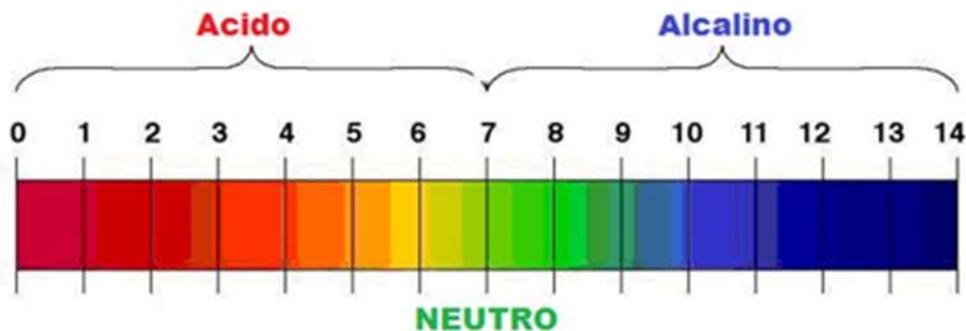
Es lógico pensar que la profundidad del suelo es también un factor determinante para la retención del agua. Los suelos profundos disponen de mayor agua almacenada que aquellos donde la roca madre es muy superficial . Un suelo bien estructurado retiene mayor cantidad de agua pues dispone de macro y microporos bien distribuidos que ayudan a mantener la capacidad hídrica del suelo. La materia orgánica puede retener hasta 20 veces su peso en agua. La razón obvia de ésta importante absorción, es que los materiales orgánicos tienen una densidad muy baja y una alta porosidad.

## 2.9. El balance ácido-alcalino

El pH es una medida de acidez o de alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o en una sustancia tal como sería en los terrenos agrícolas. Las siglas pH significan potencial hidrógeno o potencial de hidrogeniones, del latín *pondus*: peso, *potentia*: potencia e *hydrogenium*: hidrógeno, es decir *pondus hydrogenii* o *potentia hydrogenii*.

El término PH fue propuesto por el químico danés Sørense al definirlo como el opuesto del logaritmo en base 10 o el logaritmo negativo de la actividad de los iones de hidrógeno, cuya ecuación es  $pH = -\log_{10}[aH^+]$ . El pH se puede medir en una solución acuosa utilizando una escala de valor numérico que mide las soluciones ácidas (mayor concentración de iones de hidrógeno) y las alcalinas (base, de menor concentración) de las sustancias. La escala numérica que mide el pH comprende los números de 0 a 14. Las sustancias más ácidas se acercan al número 0, y las más alcalinas (o básicas) las que se aproximan al número 14.

GRAFICA 4



Existen sustancias neutras como el agua o la sangre, cuyo pH está entre de 7 y 7,3. La medición de la acidez o de la alcalinidad del suelo, es una variable muy importante ya que afecta la absorción de minerales por parte de las plantas. Es decir, puede facilitar o perjudica la actividad biológica del suelo y el desarrollo de las plantas. Los niveles recomendables de pH del suelo tienen una medida entre 5,5 y 7. Sin embargo, los valores de pH en suelo pueden oscilar entre 3.5 y 9.0.

Algunos tipos de plantas pueden crecer y desarrollarse en ambientes extremos donde los niveles de acidez o alcalinidad del suelo son muy variables. Hay que recordar que (a) el ión  $H^+$ , o protón, es el núcleo del átomo de hidrógeno que tiene una carga eléctrica elemental positiva; (b) los iones  $H^+$  disociados forman, con una molécula de agua, los iones hidronio  $H_2O^+$ ; que están en equilibrio con los iones  $H^+$  adsorbidos sobre las partículas sólidas del suelo. Estas mismas partículas sólidas pueden fijar otros cationes, principalmente el calcio, el potasio, el magnesio, el sodio y el aluminio. Todos en equilibrio con la solución del suelo. La cantidad total de cationes que pueden estar así adsorbidos determina la "Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC" del suelo. En el siguiente punto 2.11 "El complejo adsorbente", retomaremos este tema)

Los cationes se clasifican en dos categorías; los cationes que no tienen efecto sobre el pH (Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio) y los dos cationes específicos de la acidez de intercambio, el Aluminio y el hidrógeno. En condiciones ácidas, la acidificación se traduce por el aumento de la acidez de intercambio ( $Al^{3+}$ , y  $H^+$ ) y por la disolución de los minerales. El pH baja muy lentamente. En condiciones alcalinas, que sería el caso de las piedras calcáreas, la acidificación conlleva la disolución de las partículas calcáreas. Se da en consecuencia una disminución de la reserva alcalina total, sin que baje el pH.

La acidez del suelo depende del equilibrio entre las fuentes de acidez y las de alcalinidad que reaccionan rápidamente con el agua del suelo. La acidez del suelo está controlada por las cargas eléctricas presentes en la superficie de sus componentes. Podemos diferenciar tres tipos de componentes del suelo que son portadores de cargas eléctricas:

- *La materia orgánica*, cuya carga superficial negativa aumenta con el pH, por lo que a este componente se le dice de "carga variable"
- *Los óxidos de hierro o de aluminio*, cuya carga puede ser positiva o negativa en función del pH.
- *Las arcillas*, en las cuales una parte de la carga es permanente, es decir independiente del pH, pero que también poseen cargas variables parecidas a las de los óxidos.
-

### El pH Tampón o “amortiguador”

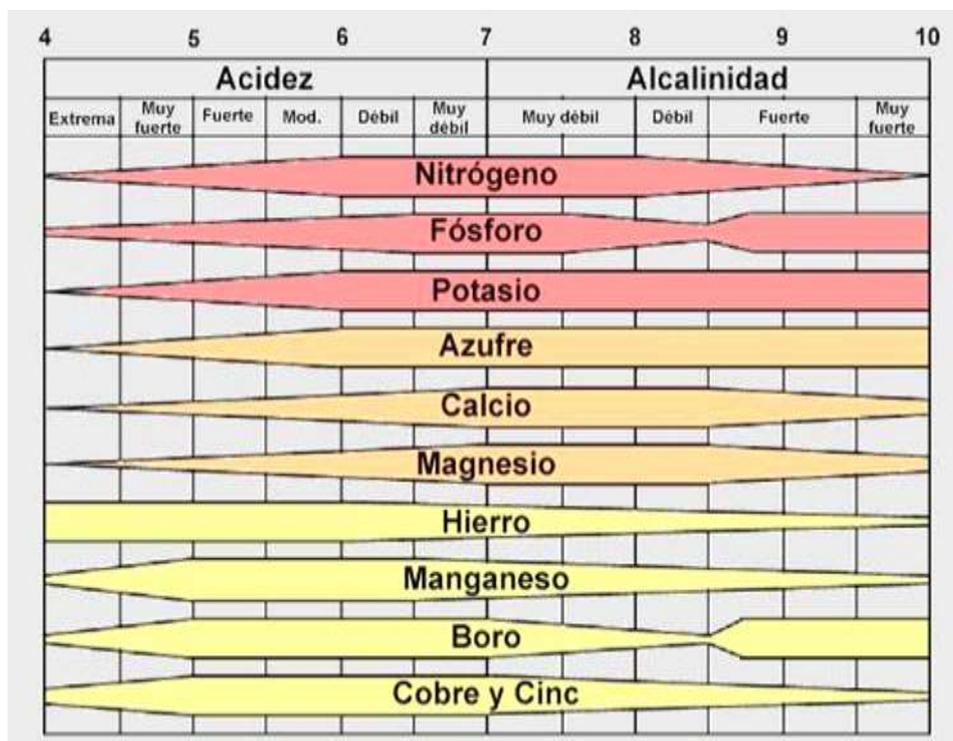
Se denomina como “poder tampón” la propiedad del suelo de moderar (“*amortiguar*”) la variación del pH cuando hay aportaciones básicas o ácidas. En los pH altos (superiores a 8) depende del contenido de carbonatos y en pH bajos (inferiores a 4) va en función de las reacciones de disolución de los óxidos de aluminio y de los aluminosilicatos. Para valores intermedios de pH (entre 5.5 y 7.5) las aportaciones de ácidos o de bases modifican principalmente el estado de los intercambios variables que están presentes en la superficie de algunos componentes del suelo. (Materia orgánica y arcillas mineralógicas). Cuando el contenido de arcilla es bajo, se justifica entonces evaluar el porcentaje de carbono orgánico: el contenido de carbono permite estimar un poder tampón promedio de 0.15 cmol H<sup>+</sup> por gramo de carbono orgánico, por kilogramo de suelo y por unidad de pH. En los suelos orgánicos la solubilidad del hierro y aluminio no es tan grande como en los suelos minerales, su muy alta capacidad de intercambio suministra amplias cantidades de calcio a los niveles de pH altos. Este tipo de suelo puede funcionar en forma satisfactoria para muchos cultivos con pH en el rango entre 5.0 y 5.5.

### Disponibilidad de nutrientes y pH del suelo

La acidez- alcalinidad de un suelo determina la mayor o menor capacidad de absorber nutrientes por las raíces de las plantas. En la Gráfica 5 se muestra la disponibilidad de los distintos nutrientes para distintos valores del pH del Suelo, donde el mayor ancho de banda indica mayor facilidad de absorción. Los pH indicados van del 4 al 9. Esta gráfica es meramente descriptiva pues la capacidad de absorción se encuentra condicionada no solo por el pH sino también por otros factores y propiedades de los suelos, tales como su mineralogía, la cual nos dicta la solubilidad de los de los distintos minerales. También depende del grado de saturación del Complejo de Intercambio o “Capacidad de Intercambio Catiónico – CIC ” al cual haremos referencia en el siguiente inciso 2.12. Bajo ciertas circunstancias, el pH afecta a la actividad microbiana indispensable a la transformación de elementos que se presentan en formas no asimilables hacia otras que sí lo son. Este, es el caso del nitrógeno, cuyas formas inorgánicas son todas solubles independientemente del pH reinante. Señalaremos, sin

embargo, que cuando el pH excede valores de 8 o es inferior a 6, se produce una menor actividad microbiana, disminuyendo tanto la liberación de amonio como su oxidación a nitrato, por lo que se reduce la concentración del nitrógeno asimilable. En suelos muy ácidos (pH inferior a 5), los sistemas radiculares de diversas especies de plantas pueden resultar dañados. La enmienda con carbonato de calcio es el método más comúnmente utilizado para corregir la acidez excesiva del suelo. (*“Encalado de los predios”*). Del mismo modo, cuando el pH supera el umbral de 9, esta alcalinidad excesiva puede dificultar la absorción de fósforo, hierro, molibdeno, así como otros nutrientes y microelementos. En el caso de suelos demasiado alcalinos la corrección del pH se puede llevar a cabo aplicando al suelo azufre en polvo (de preferencia micronizado para reducir volatilidad). Solicite al laboratorio el cálculo de la cantidad a aplicar en función del pH alcalino y la reducción que se desea lograr. Los valores de pH mencionados son en gran parte meramente orientativos.

GRAFICA 5. DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN FUNCIÓN DEL pH del suelo



Los suelos son sistemas abiertos debido a su posición de interfase entre la atmósfera y el sustrato geológico. Por ello debido a procesos naturales, los suelos se van acidificando progresivamente como consecuencia de la producción de protones, principalmente por mecanismos biológicos, induciendo pérdidas en cationes alcalinos y alcalino térreos. Esta pérdida afecta ante todo los carbonatos, después los cationes adsorbidos en la superficie de los componentes finamente divididos como las arcillas, las materias orgánicas y los complejos en los cuales el aluminio está asociado a las moléculas de agua y de hidróxidos. Las antes mencionadas acciones de encalado tienen por objetivo contrarrestar ésta evolución, a fin de subir y mantener el pH de los suelos cultivados a niveles compatibles con una biodisponibilidad satisfactoria de los elementos minerales y una estructura del suelo óptima.

### 2.10 Fuentes de acidificación del suelo

En el suelo, las reacciones generadoras de protones son numerosas y, en gran medida, dependen de reacciones biológicas. Son particularmente activas en las capas superficiales donde se concentra la materia orgánica, fuentes de energía y carbono utilizadas para su desarrollo por la mayoría de los microorganismos. Las principales fuentes de protones son:

\*La respiración microbiana y radicular, que provoca un aumento significativo de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del suelo y, en consecuencia, de ácido carbónico en la solución del suelo.

\* La mineralización del nitrógeno orgánico. El amonio, ya sea que provenga de la mineralización de las formas orgánicas del nitrógeno, de la fertilización o de las precipitaciones atmosféricas, se oxida por liberación microbiana al liberar dos moles de protones por mol de nitrato producido.

\* La expulsión de protones por las raíces. Cuando la planta recolecta más nutrientes catiónicos (K, Ca, Mg, NH<sub>4</sub> ...) que aniónicos (NO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HPO<sub>4</sub> ...) en general, expulsa protones para equilibrar el déficit de cargas.

En los predios se pueden dar dos principales procesos para nulificar, o por lo menos frenar, el aumento natural de la concentración de protones en la solución del suelo:

- Por una parte, la disolución o alteración de minerales,
- Por otra parte, la fijación de protones en la superficie de componentes sólidos, ya sean orgánicos o minerales.

En el caso de un sustrato calcáreo, la producción de protones en el suelo propicia reacciones sucesivas de descarbonización y de descalcificación del suelo. Mientras un mineral carbonatado esté presente en el suelo ( como por ejemplo la calcita) los protones se consumen por una reacción de disolución:



El pH de la solución del suelo depende de la presión parcial  $\text{CO}_2$ , situándose alrededor de 8.3. En estas condiciones, los complejos de intercambio están mayormente constituidos de  $\text{Ca}^{++}$ . El resto lo constituyen el  $\text{Mg}^{**}$ , el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Ni}^+$  que provienen de los equilibrios de solubilidad de otros minerales, así como de aportaciones exteriores, principalmente atmosféricas y de fertilizantes. En el posterior inciso 2.13 se presentará más a fondo el tema del  $\text{CO}_2$ .

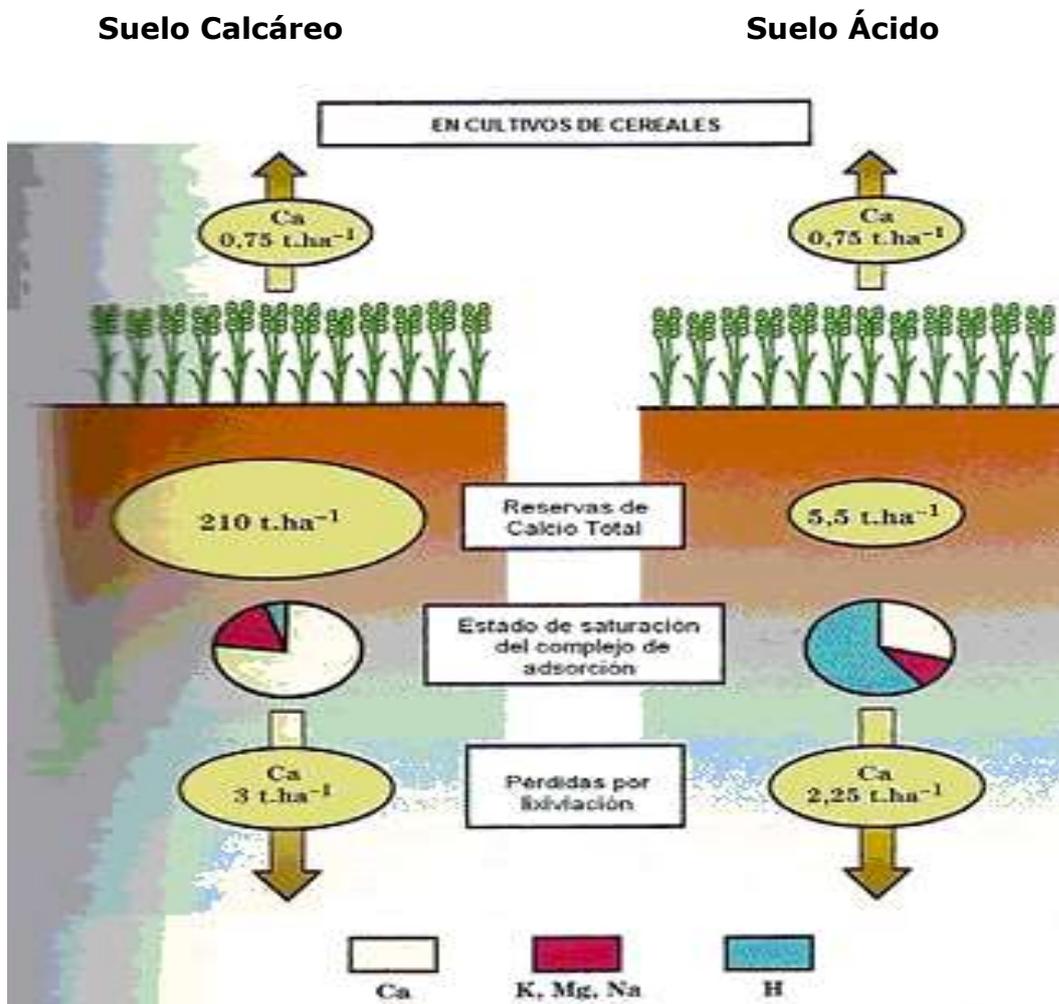
*La descalcificación del suelo.* Cuando todo el  $\text{CaCO}_3$  se ha disuelto, la producción de protones provoca una disminución gradual del pH, acompañada de silicatos de aluminio y de componentes con carga variable. (Materia orgánica, oxi-hidróxidos). La descalcificación induce pues una caída efectiva de la CIC y una pérdida de cationes alcalinos y alcalinotérreos intercambiables, retenidos por la CIC en cantidades más pequeñas. En última instancia, es posible llegar a complejos de intercambio completamente descalcificados.

*Aluminización.* Cuando se lixivian los cationes intercambiables y continúan los procesos de acidificación, el complejo de intercambio puede degradarse a valores de pH suficientemente bajos para que los minerales que contienen aluminio se vuelvan significativamente solubles. Las enmiendas de  $\text{CaCO}_3$  generan un Hidróxido de aluminio insoluble, gracias al incremento en el valor del pH.

Si las aportaciones de enmiendas básicas suben el pH hasta valores característicos del equilibrio con la calcita , el exceso de calcio  $\text{Ca}^{++}$ , en presencia de  $\text{CO}_2$ , evoluciona hacia la forma  $\text{CaCO}_3$ , y genera un nuevo suelo calcáreo. Aunque esta reacción es perfectamente reversible, la morfología de los cristales nuevamente formados podría

ser diferente de la de los cristales iniciales. Esto significa que se podría modificar la porosidad y dar origen a encostramientos calcáreos; que son formaciones de delgadas capas de suelo, impermeables, que reducen significativamente la infiltración del agua, favoreciendo a la escorrentía y la erosión.

GRAFICA 6. COMPARACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CALCIO, EN 10 AÑOS, ENTRE UN SUELO CALCÁREO Y UN SUELO ÁCIDO.



### 2.11. Salinidad y Conductividad Eléctrica.

El proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio del Ca y el Mg se le denomina salinización. Cuando es el sodio el que

predomina netamente, el suelo evoluciona de muy distinta manera desarrollándose un proceso con resultados completamente distintos, que es la llamada alcalinización.

Las condiciones necesarias para que se produzca la acumulación de sales en los suelos son de dos tipos : aporte de sales y su posible eliminación ha de estar impedida. (a) Origen de las sales Las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de muy diferentes orígenes. En líneas generales, 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, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

El clima ejerce también una acción fundamental en la formación de suelos salinos. Los climas áridos favorecen su formación y su conservación, pero no es un requisito excluyente. 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. Por consiguiente, es anormal que existan problemas de salinidad en regiones húmedas, excepto en los casos de contaminación agrícola e industrial o en zonas expuestas a la influencia del mar, como sucede con los deltas o marismas.

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. La mayor parte de las plantas cultivadas, se consideran como no halófitas, siendo los cereales las más tolerantes. Los efectos de la salinidad usualmente se agrupan bajo tres aspectos diferentes: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición. *Relaciones hídricas.* La concentración de sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo; entonces, si tenemos en cuenta que

el agua tiende a pasar de las soluciones menos concentradas a las más concentradas, , se comprende que cuando la concentración salina de la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tenderá a salir de éstas últimas hacia la solución del suelo.

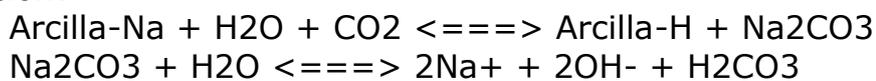
*Balance energético.* En ocasiones las plantas no sufren estrés hídrico, sino que disminuyen considerablemente su altura. Para explicar este efecto, se supone que existe un "ajuste osmótico", en el cual, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, las plantas se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua; adaptación que requiere un consumo de energía que se hace a costa de un menor crecimiento.

*Nutrición.* En éste tercer aspecto, se produce una serie de importantes modificaciones, debido, por un lado, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de los nutrientes, y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos. Tal sucede con los cloruros , nitratos y fosfatos, el calcio y el sodio o los del potasio y sodio. La dominancia de calcio provoca diversos antagonismos, entre otros, sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc. Sin embargo, existen relaciones de sinergismo entre hierro y potasio y entre magnesio y fósforo. la presencia en exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad, debido a su acumulación en distintas partes de las plantas, como pueden ser las semillas, los tallos y las hojas. Los más significativos, en este aspecto, son los cloruros, el sodio y el boro, afectando con mayor incidencia a los cultivos plurianuales.

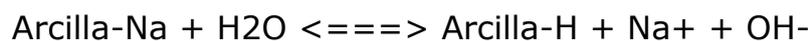
### **Sodicidad o alcalinización**

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<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), existen 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<sup>+</sup> en la solución del suelo, en relación con el Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. La concentración de Na<sup>+</sup> frente al Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na<sup>+</sup> pueda desplazar al Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> en

el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción del sodio. Es generalmente 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  $Na / S > 15\%$  (S = suma de otros cationes adsorbidos). Las arcillas saturadas en Na tienen propiedades particulares, en presencia de agua de lluvia por tanto con CO<sub>2</sub> disuelto, se hidrolizan, liberando Na<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> según la siguiente ecuación:



Como consecuencia el medio se alcaliniza rápidamente, alcanzándose valores de pH progresivamente cada vez más altos; 9, 10 o incluso más. Las 2 ecuaciones anteriores se pueden simplificar en una:



La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan, los agregados estructurales se destruyen. Los cambios estacionales producen el hinchamiento y contracción de estas arcillas sódicas (montmorillonita) formándose una estructura prismática fuertemente desarrollada. Finalmente, como el medio se ha vuelto fuertemente alcalino, la cristalinidad de las arcillas disminuye, y parte de ellas se vuelven inestables. Este proceso puede aparecer a continuación del proceso de salinización, cuando se produce el lavado de las sales más solubles y se acumulan los carbonatos y bicarbonatos sódicos.

En los suelos sódicos, el Na causa 3 efectos negativos: 1. efecto nocivo para el metabolismo y nutrición de la planta; 2. toxicidad debida a bicarbonatos y otros iones; y 3. elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos. De las sales solubles son los sulfatos los que menos toxicidad presentan. Las sales cloruradas son altamente tóxicas. Las sales sódicas presentan una toxicidad muy alta y además su efecto adverso se ve aumentado por el elevado pH que originan (9,5 a 10,5). La dinámica de las sales solubles en el tiempo y en el espacio, es relativamente rápida; tanto en estudios de salinización como en aquellos otros de lavado y recuperación de suelos salinos, es necesaria una monitorización a intervalos cortos con un buen número de muestras. La medición de la

conductividad eléctrica del suelo se utiliza como medida indirecta de la salinidad. ( *Erhard Hennig. Secrets of fertile soils* )

### La Conductividad Eléctrica- CE

La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más evaluado y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m).

Para distinguir suelos salinos de no salinos, se han sugerido varios límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. En base a la CE el "*US Salinity Laboratory*" establece los siguientes grados de salinidad:

- 0 - 2 Suelos normales
- 2 - 4 Quedan afectados los rendimientos de cultivos sensibles.  
*Suelos ligeramente salinos.*
- 4 - 8 Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos.
- 8 - 16 Sólo se obtienen rendimientos aceptables en aquellos cultivos más tolerantes.  
*Suelos fuertemente salinos.*
- > 16 Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables en suelos tan extremadamente salinos. (CE igual o mayor de 16)

La CE de un suelo (CE) cambia con el contenido en humedad, disminuye en capacidad máxima (se diluye la solución) y aumenta en el punto de marchitez (se concentran las sales). Se ha adoptado que la medida de la CEs se debe hacer sobre un Extracto de Pasta Saturada a 25°C. De esta forma se evalúan los suelos sódicos.

Cuando la CEs es menor de 4 dS/m a 25°C y el PSI (% Sodio Intercambiable) es mayor de 15%, siendo los suelos salinos-sódicos aquellos que tienen un a CEs mayor de 4 dS/m a 25°C y un PSI mayor de 15%. Quedan así establecidas las siguientes 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%

La FAO pone en relieve la importancia climática en la formación de estos suelos. Este organismo internacional considera que existe un alto riesgo de salinización de suelos cuando el Índice de aridez P/ETP es inferior de 0,7; donde (P) es la precipitación anual promedio respecto a la Evapotranspiración Potencial (ETP) .

## 2.12. El complejo arcillo-húmico del suelo

En el humus, diferentes nutrientes se unen con minerales de arcilla a través de procesos de adsorción. Esta asociación de fragmentos orgánicos como sustancias húmicas con partículas inorgánicas como minerales arcillosos se denomina habitualmente como "*El complejo arcillo-húmico del suelo*" ; que son , en otras palabras, los minerales silicatos de la arcilla, el silicato de alúmina hidratado ("alófana") y el humus. Sin la presencia de minerales no sería posible la formación del humus. Estos componentes sólidos del suelo poseen, todos, la muy importante característica que se conoce como la "*Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC*". Debido principalmente a sus cualidades electronegativas los coloides de arcilla y humus tienen la capacidad de atraer cationes : Esta atracción y retención de los cationes disueltos en la fase líquida del suelo hacia el complejo arcillo-húmico(o fase sólida) se le denomina la *adsorción*.

El humus como complejo arcillo-húmico, es decir, como materia orgánica viva en el suelo, tiene un efecto amortiguador. Los nutrientes solo se le entregan a la planta si son necesarios, por lo que una sobredosis es imposible. Sin embargo, cuando se utiliza la fertilización mineral, las plantas que crecen en suelos carentes de humus tienden a absorber más nutrientes de los estrictamente necesarios para la acumulación de materia vegetal. Debido a que la fertilización orgánica evita los consumos superfluos, se puede considerar que la agricultura orgánica es ahorradora de energía.

Los cationes del complejo arcillo- húmico (ya adsorbidos) son ahora *absorbidos* por las plantas e incorporados en su interior. Es muy probable que la absorción tenga unos enlaces químicos más fuertes que la adsorción. Suele llamarse "*sorción*" la combinación de los dos procesos: por un lado los nutrientes con cargas positivas se adsorben al complejo arcillo-húmico y, por otro lado, los vegetales absorben estos nutrientes para su nutrición. Algunos autores prefieren referirse a este proceso como el "complejo de sorción arcillo-húmico". Por extensión, se califica como "*desorción*" el desplazamiento de iones desde la fase sólida del suelo hacia la fase líquida (o *solución del suelo*) por la acción de otro ion, cuya carga eléctrica es mayor que la del ion desplazado.

### 2.13. La Capacidad de Intercambio Catiónico

Retomando el inciso anterior: se señaló que los minerales silicatos de la arcilla, la alófana (silicato de alúmina) y el humus poseen cargas negativas que atraen cationes positivos. Estos cationes se consideran intercambiables si pueden ser sustituidos por otros igualmente disueltos en el medio húmedo que rodea las partículas. Esta sustitución es posible si los enlaces no son muy fuertes y si los sitios son accesibles a la solución del suelo.

Los cationes positivos adsorbidos por el complejo arcillo-húmico será la fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas. La "CIC-Capacidad de Intercambio Catiónico", es vital para el crecimiento de los cultivos. Observemos que en suelos muy arenosos, carentes de humus y arcilla, donde la capacidad de intercambio es ínfima, la vida vegetal es prácticamente inexistente.

La CIC nos mide pues la fertilidad de un suelo, o sea el grado de capacidad para almacenar cationes. Al evaluar la CIC en el laboratorio, esta debe ser de un valor aproximado que más o menos corresponda a los miliequivalentes sumados de los cationes. En otras palabras, podemos considerar a la CIC como un almacén cuyas dimensiones dependen de la materia orgánica y de las arcillas y cuyo espacio lo utilizamos para guardar los nutrientes de las plantas, es decir los cationes. En la Gráfica 7 se califican los valores de la CIC de un suelo (que están expresados en miliequivalentes por 100 gramos de suelo) nominándolos desde muy bajo a muy alto.

GRAFICA 7. VALORACIÓN DE LA CIC (En Meq /100gramos)

Valor CIC	<5	5-10	10-15	15-25	25-40	>40
Calificación	Pobre	Baja	Normal Baja	Normal alta	Alta	Muy alta

### 2.14. Degradación del suelo

La degradación de un suelo se define como: " *la disminución de la calidad del suelo causada por el mal uso humano de este recurso* ". Esta definición es sumamente amplia y vaga; pero abarca problemas tales como la disminución de la materia orgánica del suelo, los atributos estructurales y las concentraciones de electrolitos y de las sustancias químicas tóxicas. En otras palabras, señala que - como resultado de actividades mal llevadas - se observa una creciente incapacidad del suelo para producir bienes o servicios en forma suficiente, cuantitativa o cualitativa.

Aunque el problema es tan antiguo como la agricultura sedentaria, su extensión e impacto en el bienestar humano y el medio ambiente mundial son, más que nunca, de primordial importancia. Como resultado de las prácticas de cosecha y cultivo que se han llevado a cabo durante miles de años, el nivel de sustancias importantes en el suelo ha venido disminuyendo alarmantemente. Varios de estos elementos nunca han sido repuestos a sus niveles adecuados. Sus consecuencias son la disminución en rendimientos; aparecen todo tipo de enfermedades y plagas, y estos problemas pronto pasan a los seres humanos y a los animales domésticos. La falta de elementos esenciales para la vida se agrava en los suelos son pobres en humus.

La degradación del suelo suele ser un proceso muy complejo. Son varias las características principales por las que se puede reconocer el deterioro de un suelo: pérdida de tierra ; 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; compactación; régimen de humedad

## La desertificación

La *desertificación* es el cambio de pastizal a desierto en una región donde el clima es adecuado para los pastizales. Hay suficiente precipitación para pastizales, pero el sobrepastoreo puede transformarlos en desiertos.

En un ecosistema de pastizal saludable, todo el suelo se encuentra cubierto por pastos, que lo protegen de la erosión ocasionada por el viento o la lluvia. Si hay demasiadas cabezas de ganado, se reduce la cobertura de los pastos. Poco a poco, el viento y la lluvia se llevan el mantillo fértil del suelo que ya no se encuentra protegido por los pastos. Cuando se pierde el mantillo, el suelo pierde su fertilidad y disminuye su capacidad para retener agua. Entonces los pastos crecen más lentamente y son sustituidos por arbustos cuyas raíces pueden alcanzar el agua en zonas más profundas del suelo.

En vista de que los arbustos no son nutritivos para el ganado, disminuye la capacidad de carga para el ganado. Entonces la gente puede utilizar cabras en lugar de reses, porque las cabras se pueden alimentar de arbustos que no sirven de alimento para las reses. Las cabras también se pueden comer los pastos, que arrancan de raíz. Si hay demasiadas cabras, destruyen los pastos que quedan, y más suelo pierde su cubierta protectora. Hay una mayor erosión, y eventualmente el suelo se encuentra tan degradado que ya ningún pasto puede crecer en él.

El pastizal se ha transformado en un desierto con arbustos dispersos. Estos cambios son lentos. Pueden pasar 50 años o más antes de que un pastizal se convierta en un desierto que produce muy poco alimento para la gente. Todo el ecosistema cambia. Los arbustos del desierto sustituyen a los pastos, y el resto de la comunidad biológica cambia porque depende de las plantas. También cambian las condiciones físicas, con frecuencia de manera irreversible.

Debido a que el suelo degradado no puede retener suficiente agua para sostener el crecimiento de pastos, un desierto puede no volver a ser un pastizal, aún si se retiran todos los animales que pacen. A nivel mundial, cada año se transforman en desiertos alrededor de 50,000 kilómetros cuadrados de pastizales. El sobrepastoreo suele ser uno de los principales factores. ¿Por qué la gente coloca demasiados animales que pacen en los pastizales cuando las consecuencias resultan tan desastrosas?

La razón principal es la sobrepoblación humana. La población humana en muchas áreas de pastizales ya excede la capacidad de carga del ecosistema local. Las personas utilizan demasiados animales que pacen debido a que los necesitan para alimentarse ahora, aunque esto signifique que habrá menos alimentos en el futuro. La desertificación ha contribuido a las hambrunas en lugares tales como el Sahel Africano. Este es un ejemplo del exceso demográfico que puede ocasionar que la población humana y su ecosistema se colapsen simultáneamente.

*Ecología: Conceptos Básicos para el Desarrollo Sustentable. / Gerald G. Marten*

extrema); (4) degradación biológica; (5) cambios desfavorables en el régimen de nutrientes; (6) disminución de la capacidad amortiguadora, lo cual conduce a tóxicas contaminaciones. ("Poluciones", es decir una contaminación en grado muy excesivo). Pero la degradación del suelo no es una consecuencia inevitable de la agricultura intensiva y/o del desarrollo social. La mayoría de los procesos y sus consecuencias desfavorables se pueden controlar, prevenir, eliminar o al menos moderar en forma significativa. Es urgente que las autoridades, en todo el planeta, se decidan a llevar a cabo estas acciones.

Debido a la diversidad de aproximaciones que pueden usarse para estudiar la degradación del suelo, es muy difícil desarrollar un sistema único. En México se han realizado varios estudios que, por sus diversas definiciones, aproximaciones y metodologías dificultan la comparación de sus resultados. Por ejemplo, las estimaciones (2013) publicadas por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en el cual estimaron en 61.7% la superficie nacional afectada por erosión hídrica, eólica y degradación química y física. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) publicó (2014) los resultados preliminares del mapa de Erosión de Suelos en México escala 1:250 000, en el que muestra que cerca de 55% del territorio nacional está afectado por erosión hídrica y eólica. Cuando se comparan las cifras por cada tipo de erosión, las diferencias son aún mayores.

### **La degradación química.**

Tiene diversos orígenes; unos son naturales y otros son consecuencia directa de las actividades humanas. Los primeros son el resultado de situaciones climáticas o geológicas que exponen a los suelos a procesos de degradación. Sería el caso, por ejemplo, de las contaminaciones ácidas debidas a los depósitos atmosféricos, y de la excesiva presencia de sales minerales, (entre ellas, principalmente el sodio) con efectos muy nocivos sobre las plantas y la estructura del suelo. Los excesos de sales minerales y de sodio en gran porcentaje provienen ya de una mala utilización de aguas salobres en la irrigación de los predios, de la aplicación excesiva y mal controlada de aguas residuales industriales o de aguas usadas de origen urbano.

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

proviene del uso indiscriminado de fertilizantes químicos y plaguicidas. Estos últimos pueden ser de varios tipos: halogenados, organo-fosforados, metil-carbamatos, fungicidas de tio-carbamatos, y herbicidas a base de triazinas, fenil-urea o ácido-clorados tipo el 2,4-D. Por su parte la "Ley de Aire Limpio" designa 188 sustancias conocidas por tener efectos nocivos en la salud humana. Estas sustancias, (denominadas "HAP" por sus siglas en inglés "*Hazardous Air Pollutants*"), pueden también tener efectos dañinos en suelos y plantas. En la siguiente tabla se muestra el carácter ya sea benéfico o tóxico de los principales elementos traza.

**GRÁFICA 8. EFECTOS ÚTILES O TÓXICOS DE LOS ELEMENTOS TRAZA.**

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
Cr	No	Sí	Sí	-	Cr hexavalente . Muy tóxico
Cu	Sí	Sí	Sí	-	
Hg	No	No	-	Sí	Enfermedad de Minamata
Mo	Sí	Sí	-	Sí	
Ni	No	Sí	Sí	Sí	Cancerígeno
Pb	No	No	Sí	Sí	Trastornos cerebrales
Se	Sí	Sí	Sí	Sí	
Zn	Sí	Sí	Sí	-	

Esta tabla no se refiere explícitamente a la contaminación procedente de los elementos radiactivos. Son, sin embargo, elementos metálicos, tales como por ejemplo Cs y Sr y su destino en el suelo está determinado por los mismos fenómenos como las otras trazas de elementos.

El empobrecimiento o agotamiento de los suelos en cuanto a su contenido de materia orgánica es causado, generalmente, por la falta de restitución al suelo de los residuos vegetales, de los cambios climáticos o de malas prácticas de cultivo, por ejemplo, la quema de los residuos después de la cosecha. La falta de suficiente materia orgánica tiene consecuencias nefastas para los suelos.

Dadas las fechas relativamente recientes de los estudios antes citados, aún no se han analizado a fondo sus diferencias para decidir cuál es la estimación más adecuada para utilizar a nivel nacional. Por

ello, en este capítulo se reporta la información del estudio *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000*, publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (*Semarnat*) y el Colegio de Posgraduados (CP) en 2003. Según este estudio, el 44.9% del territorio nacional presentaba evidencias de degradación en 2002, mientras que en el 55.1% restante no mostraba indicios de degradación aparente. La degradación la dividen en procesos (degradación química y física y erosión hídrica y eólica), en niveles dentro de cada proceso (ligera, moderada, fuerte y extrema) y causas de la degradación

Con respecto a la superficie afectada, la degradación química ocupaba el primer lugar (34.04 millones de hectáreas, 17.8% del país), seguida por la erosión hídrica (22.72 millones, 11.9%), eólica (18.12 millones, 9.5%) y la degradación física (10.84 millones, 5.7%. En el caso de la degradación química, el tipo dominante fue la disminución de la fertilidad, mientras que en el caso de la física fue la compactación. Tanto en la erosión hídrica como en la eólica, el tipo dominante fue la pérdida de suelo superficial, caracterizada por la remoción uniforme del material superficial por las escorrentías o el viento. Las causas de la degradación de los suelos en el país : 35% de la superficie degradada se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias (17.5% cada una de ellas) y 7.4% a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se divide entre urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales. Se propone una estrategia de control basada en tres pasos consecutivos: (a) registro de hechos y consecuencias; (b) análisis de alternativas de control; (c) elaboración de las tecnologías óptimas.

### **2.15. La resiliencia del suelo**

La resiliencia es un concepto ecológico que implica varios atributos que gobiernan las respuestas al stress, o a las perturbaciones de diverso tipo. Algunos de los términos utilizados en ecología con relevancia para la resiliencia del suelo son: (i) resiliencia, la capacidad de resistir el cambio o recuperarse al estado inicial; (ii) resistencia, la capacidad de resistir el desplazamiento del estado antecedente; (iii) elasticidad, la tasa de recuperación; (iv) amplitud, el rango de cambio en una propiedad de la cual es posible la recuperación; (v) histéresis, la divergencia en la ruta o patrón de recuperación; y (vi) maleabilidad, la diferencia entre el estado nuevo y el antecedente.

Estos conceptos ecológicos se han aplicado a ecosistemas naturales: ejemplo, resiliencia forestal, y a los suelos y su manejo. La resiliencia del suelo es un concepto importante para entender la capacidad de los suelos para recuperarse de la degradación. Este concepto refleja el tiempo necesario para que se recupere tras una perturbación, un factor importante en la estabilidad del suministro de alimentos. Un sistema que posee resiliencia es aquel que, cuando se ve sujeto a una alteración, sigue existiendo y funcionando esencialmente de la misma manera.

El funcionamiento de los ecosistemas es lo que permite la prestación de muchos de los servicios que el medio ambiente le brinda a la economía. Los factores que fomentan a la resiliencia de un ecosistema dan paso a una sostenibilidad. Un ecosistema puede ser resistente respecto a un tipo de alteración, pero no a otro. Si bien, parece haber un consenso respecto a que las reducciones de la biodiversidad —perdida de poblaciones— en un ecosistema se deben considerar amenazas a la resiliencia. De lo que se desprende que la pérdida de biodiversidad debe ser considerada una amenaza a la sostenibilidad. Tanto la extracción de recursos como la acumulación de residuos participan en la pérdida de biodiversidad.

#### GRAFICA 9. INDICADORES DE DEGRADACIÓN Y RESILIENCIA

DEGRADACIÓN	RESILIENCIA
1. Fácil erosión del suelo	1. Buena estructura del suelo
2. Pérdida de la capa superficial	2. Buen contenido de humus
3. Poca Materia orgánica (Humus)	3. Mejoría en el pH
4. Bajo pH ; muy ácido	4. Mayor saturación de bases
5. lixiviación	5. Mejor almacén de nutrientes
6. Baja índice de CIC	6. Nutrición balanceada
7. Escasez de nutrientes	7. Fijación biológica de Nitrógeno
8. Tendencia a la compactación	8. Fácil expansión-contracción
9. Tendencia al Encostramiento.	9. Biodiversidad del suelo

La resiliencia es pues una medida de la magnitud de los disturbios que puede absorber un sistema para pasar de un equilibrio a otro. De otra forma se argumenta que las actividades económicas son sostenibles solamente si los ecosistemas que soporten la vida, y de los cuales son dependientes, tienen un adecuado nivel de resiliencia.

### CAPÍTULO 3.

## LA SALUD QUÍMICA DEL SUELO

*El pecado de todos los pecados es intentar hacer recomendaciones de fertilización sin conocer a fondo las características químicas del suelo, de los elementos nutrientes y de sus muy complejas interacciones con los cultivos y el medio ambiente.*

*Herhard Hennig. Agrónomo*

Existen 17 principales elementos que se consideran esenciales para el crecimiento de las plantas. 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. Estos elementos 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.

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

A).Macronutrientes o Nutrientes Primarios: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

B).Nutrientes secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S)

C).Micronutrientes o Oligoelementos: 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. Hay 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. Estos cuatro elementos casi nunca están deficientes en los suelos y por ello su presencia como nutrientes no se analiza en forma rutinaria. Igual sucede con la determinación del níquel.

### 3.1. Nutrición y propiedades del suelo.

Debido a que las plantas son inmóviles y deben adaptarse a su entorno para sobrevivir, las características de los suelos tienen el impacto más importante en la absorción y en la disponibilidad de los nutrientes. En consecuencia, se ha visto que, sin lugar a duda, las raíces son el sitio clave de las diferencias genéticas, consideradas como cambios en los procesos metabólicos de las raíces, o en su propia estructura. Las plantas ejercen el control genético en forma bioquímica, cambiando los procesos internos involucrados en la nutrición, y fisiológicamente, cambiando su microestructura o macroestructura. (Brown P.H., *Manual de Nutrición Vegetal*. Editorial CRC Press. año 2007 ).

Las diferencias en el contenido de nutrientes y la respuesta a los nutrientes aplicados se encuentran entre muchas categorías de plantas, incluidas clases, familias, especies e incluso entre variedades y cultivares. Los estudios científicos sugieren que las plantas controlan genéticamente la absorción y el contenido de nutrientes. Las diferencias en taxonomía de plantas que crecen en medios idénticos pueden causar diferencias, y de hecho frecuentemente ocurre que estas plantas difieren mucho en el contenido de elementos nutrientes, tanto en lo cuantitativo como en lo cualitativo.

Las plantas logran, hasta cierto punto, controlar genéticamente la nutrición. Algunos de estos aspectos que pueden controlar incluyen la absorción, la translocación y la utilización o almacenamiento de nutrientes. Algunas especies o algunos grupos de plantas no trasladan nutrientes, sino que absorben y almacenan ciertos nutrientes en niveles lo suficientemente altos como para que estos niveles puedan ser tóxicos para muchos otros tipos de cultivos. Algunas plantas pueden excluir selectivamente ciertos nutrientes específicos.

Las halófitas, por ejemplo, son un grupo de plantas capaces de crecer en ambientes con alta salinidad pues tienen la capacidad ya sea de *almacenar* (es decir, secuestrar internamente el sodio) o bien de excluir este elemento para que no sea absorbido. Muchas gramíneas pueden adaptarse fácilmente a suelos con alto contenido de metales, como Zn, Cu, Pb, Cr y Ni. En ciertos casos, las plantas pueden adaptarse a niveles usualmente tóxicos nutrientes o de elementos

dañinos. En muchos casos, la fertilización excesiva no solo aumenta los niveles de elementos, sino que provoca también un desequilibrio de nutrientes en el suelo que puede ser tanto o más dañino que algunas contaminaciones por metales pesados, aún en plantas con buena capacidad para adaptarse a los cambios de nutrientes.

### **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 (protozoos, nematodos, insectos y ácaros). Las dimensiones físicas y la actividad microbiana en esta área dependen de factores específicos a los sitios y a las plantas. Es un complejo microambiente, donde las bacterias y hongos, en asociación con las raíces, forman comunidades únicas que tienen considerable potencial para la detoxificación de compuestos orgánicos nocivos. Es una región especializada que se caracteriza por su actividad y por la presencia de la biomasa microbiana. ( En el siguiente capítulo 4, "*La Salud Biológica del Suelo*", se extenderá esta presentación)

Es frecuente encontrar una mala correlación entre la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la absorción real de nutrientes por las plantas. La influencia de las raíces es un componente integral en el pH del suelo. Aunque las propiedades químicas del suelo que pueden alterar su estado de salud, como el pH, son muy importantes tanto para la disponibilidad de nutrientes minerales, como para el crecimiento de las raíces, las condiciones en la rizosfera y el grado en que las raíces pueden modificar esta situación son también factores muy decisivos en la absorción de nutrientes minerales. Las condiciones de la rizosfera están correlacionadas con el área de la superficie de la raíz, que es lo que se conoce como su "*disponibilidad espacial*". El grosor de la rizosfera alrededor de las raíces de las plantas varía de 0,1 mm a 2,0 mm dependiendo de la longitud y la abundancia de las raíces. El pH del suelo de la rizosfera puede diferir del suelo a granel en más de dos unidades. La dirección (aumento o disminución) de los cambios de pH en la rizosfera está determinada por factores de la planta, mientras que el grado de cambios de pH y su extensión desde la superficie de la raíz hacia la capa superior del suelo están determinados por factores tanto de la planta como del suelo.

Los factores determinantes del suelo son el pH inicial del estrato superior del suelo y la capacidad de amortiguamiento (tampón) del pH. Debido a que en la mayoría de los suelos la menor capacidad tampón del pH se sitúa alrededor de 5, los cambios de pH inducidos por la raíz en la rizosfera alcanzan valores máximos cuando el pH en la superficie está entre 5 y 6, y van disminuyendo en magnitud a un pH del suelo ya sea más bajo, o bien más alto.

Los factores de la planta que determinan del pH de la rizosfera son la excreción o reabsorción de  $H^+$  o  $HCO_3^-$ , la evolución de  $CO_2$  por la respiración de la raíz (reaccionando con el agua para formar  $HCO_3^-$  en el suelo) y la liberación de exudados radiculares de bajo peso molecular (aminoácidos u orgánicos). Los cambios en el pH de la rizosfera se deben principalmente a las diferencias en la excreción neta de  $H^+$  (o  $HCO_3^-$  y  $OH^-$ ) debido a un desequilibrio entre la captación de cationes y aniones, y por lo tanto, el efecto diferente de la captación de  $N-NH_4$  y  $N-NO_3$  en el pH de la rizosfera.

### **Dióxido de carbono - $CO_2$ .**

El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) se libera en la superficie de la raíz por respiración, y a menudo se ha asumido que esto tiene un efecto acidificante local. Con la excepción de los suelos saturados de agua, el  $CO_2$  se difundirá fácilmente desde la raíz y su efecto acidificante no se limitará a la rizosfera inmediata, sino a todo el suelo a granel. Desde hace tiempo se ha calculado que la diferencia de presión de  $CO_2$  entre el suelo en la superficie de la raíz y el suelo en condiciones de aireación típicas tiene un efecto insignificante sobre el equilibrio del pH.

Las raíces liberan cantidades considerables de carbono orgánico a la rizosfera. La cantidad, expresada como una fracción de la producción total de materia seca, varía en un amplio rango desde sólo un pequeño porcentaje hasta el 40%. Varias formas de estrés aumentan la cantidad liberada: estos estreses incluyen deficiencias de potasio y fósforo. En el caso del potasio se ha demostrado que este elemento aumenta el contenido de ácidos orgánicos en los exudados radiculares. Las deficiencias de fósforo conducen a un aumento de aminoácidos y ácidos orgánicos. (Nye, P.H. *Acid-base changes in the rhizosphere. Advances in Plant Nutrition*, 1986).

## Exceso de agua y compactación

El efecto de la lluvia y el riego excesivo sobre la composición balanceada de elementos nutrientes en los cultivos depende, por supuesto, de la cantidad y la duración. El agua que aumenta la humedad del suelo hasta ubicarla dentro de un nivel benéfico (entre el Punto de Marchitez y la Capacidad de Campo) tiende a estimular el crecimiento de las plantas, que crecen mejor cuando la humedad del suelo está más fácilmente disponible. El aumento resultante de materia seca diluye el contenido de elementos nutrientes en las plantas, a pesar de que las condiciones ideales de humedad del suelo también aumentan la disponibilidad de nutrientes, los cuales son trasladados por el movimiento adicional de agua. Por otro lado, un exceso de agua, más allá de la capacidad del suelo puede causar una importante lixiviación de nitratos. (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

En suelos pesados, los nutrientes K, Mg, B también se lixivian. En períodos de riego muy intenso y / o de lluvias fuertes y prolongadas, el K puede filtrarse de las hojas, por lo que disminuye su concentración en los cultivos. En cuanto al oxígeno; la reducción del oxígeno disponible en los cultivos es usualmente causada por problemas de compactación y por un bajo contenido de materia orgánica, todo lo cual (como se ha visto en el capítulo anterior) se traduce en una pobre estructura del suelo. Algunos de los efectos de esta problemática pueden ser bastante similares a los del exceso de humedad. No obstante, los efectos pueden diferir según se presenten la severidad y la duración de las condiciones adversas. Si bien el exceso de humedad puede obstaculizar casi por completo el intercambio gaseoso (oxígeno), la estructura deficiente del suelo aún puede permitir cantidades variables disponibles de intercambio. Pero, por otra parte, una estructura deficiente del suelo también puede causar un desarrollo deficiente de las raíces y un muy lento movimiento de la humedad en los suelos. Algunas de estas desventajas pueden superarse, aunque parcialmente, si se agregan pequeñas dosis de humedad mediante riego por goteo. En estos casos conviene alimentar el cultivo vía foliar, con aquellos nutrientes, como el Fe y el Mn, cuya absorción del suelo presentaría problemas. Cuando se busca mejor la calidad del suelo agregándole elementos nutrientes (fertilizantes o abonos) existe siempre un cierto riesgo de que ocurran interacciones de sinergias o de antagonismos entre los elementos nutrientes que son esenciales

para las plantas.; interacciones que pueden conducir a insuficiencias de determinados elementos.

### La pendiente del terreno.

La topografía del predio determina en gran medida la cantidad de escorrentía y de erosión. También dicta los métodos de riego, el drenaje, las medidas de conservación y las prácticas óptimas de administración (POA) necesarias para conservar el suelo y el agua. Mientras más pronunciada sea la pendiente, se necesita una gestión más cuidadosa y habrá mayores costos de equipos y mano de obra. En ciertas pendientes, el suelo se vuelve insatisfactorio para la producción de cultivos en surcos. La facilidad con que se erosionan los suelos superficiales, junto con el porcentaje de la pendiente, es un factor determinante de la productividad potencial de un suelo. En la gráfica siguiente se muestran los valores de productividad en función a la pendiente del suelo y a la erosión.

GRAFICA 10. INFLUENCIA DE LA PENDIENTE DEL SUELO EN LA PRODUCTIVIDAD RELATIVA

PRODUCTIVIDAD RELATIVA (%)		
Inclinación del suelo (%)	Suelo no erosionado fácilmente	Suelo erosionado fácilmente
0-1	100	95
1-3	90	75
3-5	80	50
5-8	60	30

### 3.2. Los ciclos biogeoquímicos.

Se conoce como ciclos biogeoquímicos (o ciclos de la materia) a los circuitos de intercambio de elementos químicos entre los seres vivos y el ambiente que los rodea. Estos ciclos se llevan a cabo mediante una serie de procesos de transporte, producción y descomposición. En los ciclos biogeoquímicos intervienen tanto distintas formas de vida (vegetal, animal, microscópica...), como elementos naturales inorgánicos (lluvia, viento, ..... Etc. ). Estos ciclos

consisten en perpetuos desplazamientos de materia , de un ámbito a otros, permitiendo así el reciclaje de los nutrientes disponibles en la biósfera. Dado que nuestro planeta es un sistema cerrado, del que no sale la materia (y, hasta cierto punto, tampoco entra) es indispensable que los elementos químicos vitales se reciclen, pues de otro modo se agotarían y con ellos la posibilidad de una vida sustentable. En ese sentido, los ciclos biogeoquímicos son los distintos mecanismos de los que la naturaleza dispone para hacer circular la materia de unos seres vivos a otros, permitiendo así que un cierto margen esté disponible siempre. Ninguno de los nutrientes que un ser vivo requiere estarán en su interior para siempre, y eventualmente deberá devolverlos al ambiente para que puedan ser reutilizados.

GRÁFICA 11. INTERACCIÓN ENTRE EXCESOS Y POSIBLES DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES

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

*NOTA: el aluminio (Al) no es un nutriente esencial. No es muy frecuente encontrar niveles altos de aluminio ni en los suelos agrícolas ni en las compostas o en los sustratos . (Suelos artificiales). Un contenido alto de aluminio precipita el fósforo como "fosfato de aluminio" , pudiendo reducir en forma significativa la disponibilidad del fósforo a corto plazo.*

Se incluye aquí el propio ciclo del agua y de los gases: aquellos ciclos en que interviene la atmósfera para el transporte de los elementos químicos del ciclo, como, por ejemplo, el ciclo del N. Están también los ciclos sedimentarios en los que el transporte del elemento se da por sedimentación, o sea, por acumulación e intercambio en la corteza terrestre, como el ciclo del carbono.

### 3.3. Ciclo del Carbono

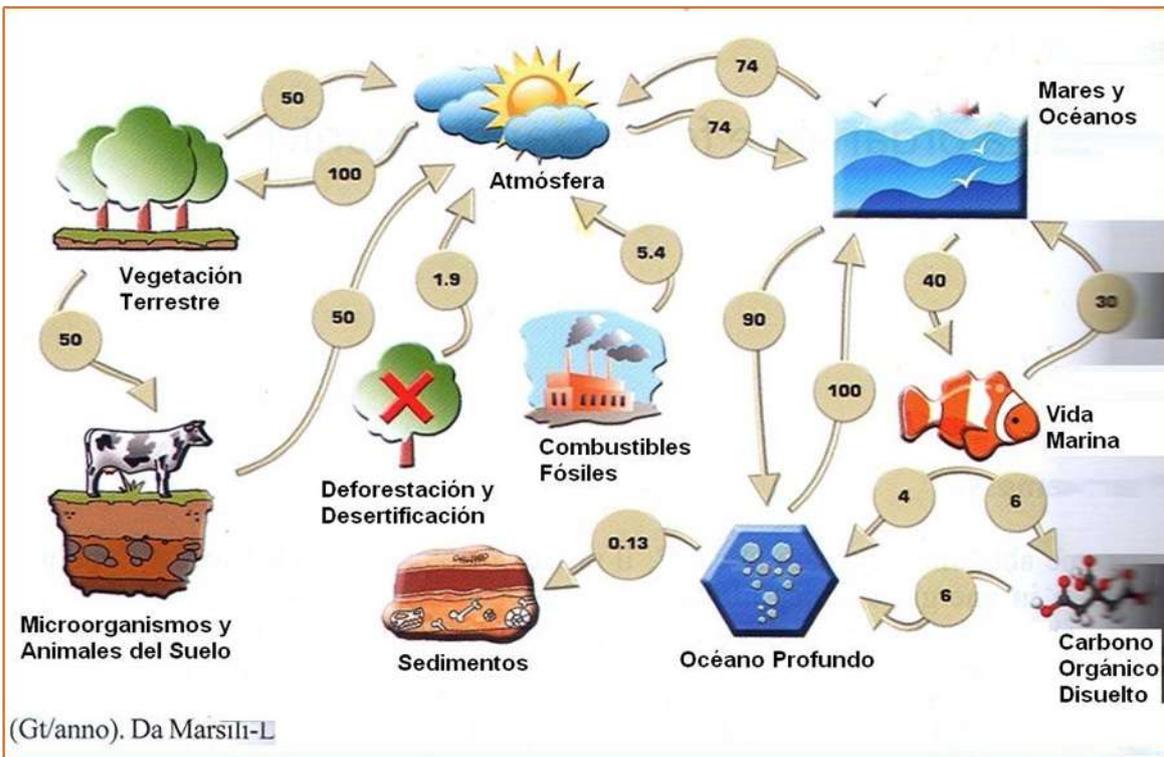
El ciclo del carbono es el más importante y complejo de los ciclos biogeoquímicos, dado que toda la vida conocida se compone sin excepción de compuestos derivados de ese elemento. Además, este ciclo involucra los principales procesos metabólicos de plantas y animales: la fotosíntesis y la respiración. El ciclo puede resumirse así: la atmósfera está compuesta por un importante volumen de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las plantas y algas lo captan y convierten en azúcares (glucosa) mediante la fotosíntesis, empleando para ello la energía solar. Así obtienen energía y pueden crecer. A cambio liberan oxígeno (O<sub>2</sub>) a la atmósfera. Además de obtener el oxígeno durante sus procesos de respiración, los animales acceden al carbono de los tejidos de las plantas, para a su vez poder crecer y reproducirse. Pero, tanto animales como plantas, al morir brindan al suelo el carbono de sus cuerpos, que a través de procesos sedimentarios (especialmente en el fondo oceánico, donde el carbono además se halla disuelto en las aguas) se lo convierte en diversos fósiles y minerales.

El carbono en su estado fósil o mineral puede durar millones de años bajo la corteza terrestre, sufriendo transformaciones que arrojan materia tan distinta como el carbón mineral, el petróleo o los diamantes. Dicha materia resurgirá gracias a la erosión, las erupciones y, especialmente, la acción: la explotación de combustibles fósiles, la extracción de cemento y demás industrias que arrojan a la atmósfera toneladas de CO<sub>2</sub> y tanto al océano como a la tierra otros desechos líquidos y sólidos ricos en carbono. Por otro lado, los animales están constantemente liberando CO<sub>2</sub> al respirar. Además, otros procesos energéticos como la fermentación o la descomposición de la materia orgánica generan CO<sub>2</sub> o generan otros gases ricos en carbono, como el metano (CH<sub>4</sub>) que van también a la atmósfera. (Cf. *Francia Agrícola*)

El sector agrícola puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y convertir el carbono en biomasa. Hace tiempo que el arte de cultivar la tierra dejó de ser una tarea meramente artesanal para convertirse en una de las principales actividades económicas del mundo. Aunque los avances en la ciencia y la tecnología han contribuido al notable aumento de la

GRAFICA 12

CICLO Y BALANCE SIMPLIFICADO DEL CARBONO Y SUELO EN EL PLANETA TIERRA



Fuente: L. Marsili. *L'agronomía per conservare il futuro*

producción de alimentos, hoy el sector agrícola se enfrenta a un doble desafío: el calentamiento global, del que es uno de los principales responsables, y el hambre, que aún padecen 800 millones de personas. La agricultura orgánica, sostenible y razonada, se perfila como la mejor y quizá única solución, ya que el suelo es la mejor herramienta para capturar CO<sub>2</sub>. El secuestro de carbono del suelo en tierras agrícolas es uno de los medios clave para mitigar el cambio climático. Las buenas prácticas agrícolas y forestales pueden ayudar a las tierras de cultivo o a los bosques a absorber más carbono de la atmósfera.

### 3.4 El nitrógeno en el suelo

El nitrógeno (N) juega un papel esencial en la síntesis de materia viva a partir de materia mineral. Es importante recordar que ni los animales (ni la variante humana) pueden absorber directamente el nitrógeno del aire ni tampoco el nitrógeno mineral. Son las plantas, o ciertos microorganismos, los que les proporcionan en forma orgánica el nitrógeno que necesitan para sintetizar las proteínas. El papel de las proteínas es fundamental en las fases de crecimiento y desarrollo de los organismos vivos. Cualquiera que sea su peso molecular, tienen un contenido de nitrógeno elemental (N) relativamente constante: 16%. Así, para sintetizar un kilogramo de proteína a partir del ion nitrato (que contiene un 22% de nitrógeno), se necesitan 725 gramos de nitrato.

En la naturaleza, el nitrógeno está presente en sus dos estados: en estado libre (N<sub>2</sub>) en la atmósfera y en estado combinado, en forma orgánica o mineral. (Principalmente amoniacal y nítrico). Los nitritos, que son muy tóxicos, solo tienen una presencia efímera. La materia orgánica del suelo constituye, por orden de importancia, la tercera reserva de nitrógeno de la tierra, después de la atmósfera y de los océanos. La masa de nitrógeno, casi exclusivamente orgánico, contenida en los suelos cultivados, a menudo 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<sub>4</sub><sup>+</sup>) o nitrógeno amoniacal, el ion nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) o nitrógeno nitroso

y el ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o nitrógeno nítrico. Aparte de los períodos inmediatamente posteriores a las aportaciones de nitrógeno por fertilizantes y enmiendas orgánicas, la cantidad de nitrógeno mineral presente en el suelo no suele superar unas pocas decenas de kilogramos por hectárea.

Alrededor del 98 % del N en los suelos está asociado con material orgánico. Los niveles de N total en el suelo oscilan entre 0.02% en el subsuelo al 2,5% en turba. Usualmente la capa arada del suelo contiene de 0.02 a 0.04 % de nitrógeno en peso. Sin embargo, debido a los cambios continuos en las formas y la disponibilidad del nitrógeno, las determinaciones de los niveles de N en el suelo tienen un valor limitado para predecir la disponibilidad a corto plazo para las plantas. Esto se debe en parte a las transformaciones del estado de oxidación que ocurren naturalmente en el suelo debido a procesos químicos, bioquímicos y microbianos. La suma de estas reacciones forma lo que se conoce como ciclo del nitrógeno. Debido a estas constantes transformaciones, el nitrógeno es el nutriente vegetal más dinámico del suelo.

Las formas de Nitrógeno (N ) de mayor importancia son el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y el Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) . Tanto el nitrato como el amonio son las formas de N que absorben las plantas. El nitrito, como antes señalado, se convierte en un problema tan solo cuando las condiciones ambientales o las prácticas culturales (incluidos los agroquímicos que se aplican) interfieren con el proceso de nitrificación en el suelo. ( La *nitrificación* es el proceso de conversión microbiana de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  ). En todo este proceso de nitrificación, el nitrito (  $\text{NO}_2^-$ ), es pues únicamente una forma de transición del N.

En el suelo, el N puede ser; [a] transformado por mineralización (es decir, la conversión de N orgánico en N inorgánico; por lo general en amonio), seguido de nitrificación, que en este caso sería la conversión de amonio en nitrato; [b] Nitrógeno incorporado por fijación simbiótica (o sea, la conversión del gas nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) en amoníaco, amonio o formas de nitrógeno orgánico; o bien, [c] pérdida del N por desnitrificación (transformación de nitrato en gas nitrógeno), volatilización del amoníaco (conversión del amonio en compuestos gaseosos), reducción del nitrito por un proceso de desasimilación (transformación del nitrito en gas de óxido nitroso), o , finalmente, la

absorción del N por la planta (principalmente en forma de amonio y de nitrato). Las tasas de estas transformaciones naturales pueden verse alteradas por condiciones aeróbicas/anaeróbicas, el pH del suelo, la temperatura, la presencia de agroquímicos tóxicos (generalmente provenientes del agua de riego) o el uso de ciertos plaguicidas.

El nitrato es el primer compuesto de N absorbido por las plantas, pues la conversión del amonio en nitrato (nitrificación) es muy rápida. Este proceso de nitrificación se lleva a cabo en dos pasos. En el primero, las bacterias *Nitrosomonas spp* oxidan el amonio en nitrito (Paso 1) y luego las bacterias *Nitrobacter* transforman el nitrito en nitrato (Paso 2). En la mayoría de las condiciones del suelo, la velocidad o tasa de transformación del paso 2 es mayor que la del paso 1 y el tóxico nitrito no se acumula en el suelo. Sin embargo, el nitrito puede acumularse si el paso 2 está bloqueado por una mala práctica de cultivo. Además, la nitrificación requiere oxígeno y libera iones de hidrógeno ( $H^+$ ), lo que acidifica el suelo y el encalado puede ser indispensable para elevar el pH del suelo.

Los cultivos y los microorganismos del suelo compiten entre sí por el nitrógeno disponible en el suelo. Los microorganismos usan los compuestos de carbono en la materia orgánica para obtener energía y, debido a su amplia distribución en los predios, son más eficientes que las plantas para capturar el nitrógeno. La disponibilidad de N para el crecimiento de las plantas depende por ello de la Relación Carbono a Nitrógeno que exista en el suelo. Cuando la Relación C / N > 30: 1, el N es inmovilizado en los procesos de descomposición de residuos orgánicos por los microorganismos del suelo. Cuando esta relación es  $20: 1 < C:N < 30: 1$ , se produce una inmovilización y liberación limitadas de N mineral en el medio ambiente del suelo. En resumen, el nitrógeno está disponible para la absorción de la planta cuando  $C:N < 20: 1$ .

Para aumentar el N disponible para la absorción de las plantas, se aplica a los predios, de forma rutinaria, diversos tipos de fertilizantes que contienen N para así lograr reducir la Relación C/N del suelo. Al centro del complejo ciclo del nitrógeno se encuentra el ion nitrato, que es un compuesto termodinámicamente estable en las condiciones aeróbicas del suelo aireado. Es un anión no retenido por los coloides electronegativos del suelo, por lo que es fácilmente arrastrado en

profundidad por el agua que se filtra. Esto corresponde al fenómeno que se denomina *lixiviación* que con frecuencia se dice (erróneamente) que el nitrógeno "se lava". El complejo ciclo del nitrógeno es más fácilmente visualizable dividiéndolo en las siguientes dos partes:

-El ciclo elemental en el que los procesos (naturales o antropogénicos) de fijación del nitrógeno atmosférico participan tanto en la entrada de nitrógeno al suelo, como en el establecimiento de las primeras reservas de N orgánico en la materia orgánica (MO) del suelo.

-El ciclo interno del nitrógeno en el suelo durante el cual el proceso de asimilación, a partir del ion nitrato absorbido por las plantas, contribuye a la formación de biomasa vegetal y animal. Los procesos de mineralización, organización, lixiviación, volatilización y desnitrificación juegan un papel en los intercambios entre estas dos partes. Para una mejor visualización de los diferentes estados del nitrógeno se describe a continuación un sencillo modelo de tan solo cuatro clasificaciones del nitrógeno. Así distinguimos:

1/. La sección de nitrógeno mineral disponible (NMD). Este N es el único accesible para la nutrición vegetal. Su tamaño varía mucho a lo largo del año.

2/. La sección de nitrógeno de rastrojo o residuos de cultivos (NRC), que esencialmente contiene nitrógeno orgánico que estará disponible rápidamente si el material vegetal es fácil de mineralizar, o tardará más tiempo en liberarse si no lo es. (Pajas, celulosas...)

3/. La sección de nitrógeno de biomasa microbiana (NBM), que es la sección clave del nitrógeno en suelo. El nivel promedio de NBM en el suelo es una función directa del contenido de materia orgánica del suelo y del nivel de restitución orgánica propio del sistema de cultivo que se emplea. (Estiércoles, compost ...)

4/. La sección de nitrógeno que proviene de la materia orgánica (NMO) donde entra el compuesto del suelo llamado "*humus*". Incluye tanto la MO lábil, como la MO estable (no disponible).

( Cf. Luigi Giardini. *L'Agronomia per conservare il futuro* ).

\*\*\*\*

### 3.5. El Fósforo en el suelo

El fósforo fue descubierto en 1669 por el alquimista alemán Henning Brand, quien extrajo de la orina humana una sustancia que brillaba en la oscuridad a la que llamó "*fósforo*". El papel del nutriente fósforo, esencial para el establecimiento de las estructuras biológicas y del funcionamiento de los procesos metabólicos esenciales para la vida, fue descubierto por los agrónomos hasta 1860 más de dos siglos después. En el orden de importancia de los elementos presentes en la biosfera y la litosfera, el fósforo ocupa el séptimo sonó, correspondiente a un entorno del 0,13% de la masa total. Sin embargo, es mucho más abundante que el nitrógeno en las rocas, donde se presenta en un estado combinado, en forma de una gran cantidad de fosfatos minerales :

- Fluoro-fosfatos de aluminio, hierro, manganeso ....
- fosfatos de calcio, cuyas especie más común es la apatita, en la que los radicales OH<sup>-</sup> pueden ser reemplazados por F<sup>-</sup> o CO<sub>3</sub> =.

El contenido de fósforo (P) de los suelos, única fuente de fósforo para las plantas está relacionado con su origen. En suelos derivados de rocas sedimentarias, estos contenidos se encuentran, en promedio, entre 0.3 y 1.0% (en masa); en suelos derivados de rocas cristalinas o volcánicas, los contenidos de P son más importantes, por lo general varían entre 1 y 4%. En la capa arable de suelo cultivado (los primeros 25-30 cm aproximadamente) cuya masa se evalúa en 3.500-4.000 toneladas por hectárea, la cantidad total de fósforo oscila entre 1 y 10 toneladas de fósforo elemental (P) o de 2,3 a 23 toneladas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### Biogeoquímica del fósforo

El ciclo del fósforo es un ciclo biogeoquímico que describe cual es el movimiento de este elemento químico en un ecosistema . Los seres vivos toman el fósforo en forma de fosfatos a partir de las rocas fosfatadas, que mediante meteorización se descomponen y liberan los fosfatos. Estos pasan a los vegetales por el suelo y, seguidamente, pasan a los animales. Cuando estos excretan , los descomponedores

actúan volviendo a producir fosfatos. Una parte de estos fosfatos son arrastrados por las aguas al mar, en el cual lo toman las algas, peces y aves marinas, las cuales producen guano, el cual se usa como abono en la agricultura ya que libera grandes cantidades de fosfatos. Los restos de los animales marinos dan lugar en el fondo del mar a rocas fosfatadas, que afloran por movimientos orogénicos.

De las rocas se libera fósforo al suelo, donde es utilizado por las plantas para realizar sus funciones vitales. Los animales obtienen fósforo al alimentarse de las plantas o de otros animales que hayan ingerido. En la descomposición bacteriana de los cadáveres, el fósforo se libera en forma de ortofosfatos ( $H_3PO_4$ ) que pueden ser utilizados directamente por los vegetales verdes, formando fosfato orgánico (biomasa vegetal), la lluvia puede transportar este fosfato a los mantos acuíferos o a los océanos.

La geoquímica de los fosfatos, que son poco solubles en agua, muestra similitudes con la de los carbonatos. De hecho, la mayor parte de los depósitos de sedimentos está vinculada a la actividad de organismos vivos que han utilizado fosfatos para la construcción de su esqueleto, después de haber utilizado carbonatos. El ciclo del fósforo en los suelos es muy diferente del carbono, nitrógeno y azufre en la medida en que depende del equilibrio entre una fase que es predominantemente muy insoluble y una fase soluble muy escasa.

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. Una vez en el mar, solo existen dos mecanismos para el reciclaje del fósforo desde el océano hacia los ecosistemas terrestres. Uno es mediante las aves marinas que recogen el fósforo que pasa a través de las cadenas alimentarias marinas y que pueden devolverlo a la tierra firme en sus excrementos.

Además de la actividad de estos animales, hay la posibilidad del levantamiento geológico de los sedimentos del océano hacia tierra firme, un proceso medido en miles de años. El hombre también moviliza y altera los contenidos de fósforo cuando explota rocas que contienen fosfatos, que serán luego utilizados en la industria.

## Biodisponibilidad del Fósforo

Mediante la acción conjunta de las raíces, los hongos *micorrízicos* y la materia orgánica del suelo, los minerales de fósforo poco solubles pueden, a pesar de su baja solubilidad, liberar iones  $\text{HPO}_4 =$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4-$  en pequeñas cantidades. Es de esta "reserva" que tiene lugar la absorción de fósforo por las plantas. La proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña, pero el papel que desempeña es vital. Es componente de los ácidos nucleicos como el ADN. Muchas sustancias intermedias en el proceso de fotosíntesis y en la respiración celular están combinadas con el fósforo.

Los átomos de fósforo proporcionan la base para la formación de los enlaces de alto contenido de energía del ATP ("*Adenosin Trifosfato*", un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular), se encuentra también en los huesos y los dientes de animales. De todo esto se deduce que la nutrición fosfatada de las plantas depende esencialmente, por un lado, de las posibilidades de hidrólisis del fósforo orgánico y desorción (*'salir como gas de un sólido'*) de los iones fosfato presentes en la fase sólida y, por otro lado, de la capacidad de los sistemas de raíces (solos o en asociación con micorrizas) para colonizar el suelo y explotar la reserva biodisponible. Por consiguiente, la capacidad de los iones fosfato del suelo para participar en la nutrición de las plantas dependerá de tres factores:

- de su estado químico que permitirá o no su difusión,
- de las condiciones edáficas;
- de las características de los sistemas radiculares específicos de cada especie.

El fósforo biodisponible es, por tanto, un grupo heterogéneo con múltiples aspectos, cuyos iones pueden unirse a la solución del suelo en momentos muy diferentes. Este modelo para el fósforo disponible se caracteriza también por otros tres factores:

(a) el factor de intensidad proporcional a la concentración de iones fosfato en la solución del suelo

(b) el factor de capacidad, la habilidad del suelo de mantener constante la intensidad, es decir de reabastecer la solución del suelo.

(c) el factor de cantidad de iones fosfato capaces de salir rápidamente de la superficie sólida para unirse a la solución del suelo.

La cantidad de fósforo disponible presente en un suelo se puede medir en el laboratorio de forma bastante aproximada mediante análisis químicos que proporcionen la cifra del "*fósforo extractable*".

### **El fósforo y las micorrizas.**

La palabra micorriza, define la simbiosis entre un hongo (*mycos*) y las raíces (*rhizos*) de una planta. Como en muchas relaciones simbióticas, 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 él por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que ella lo puede hacer gracias a la fotosíntesis y otras reacciones internas. La asociación simbiótica se establece entre las raíces de plantas y las hifas de hongos. Al inicio de la colonización el hongo forma un manto constituido de hifas fúngicas que rodean el ápice de la raíz; luego otras hifas penetran el espacio intercelular entre las células radiculares, donde se lleva a cabo el intercambio de nutrientes, minerales y agua: el hongo absorbe agua y minerales que luego transloca hacia la planta y en retorno la planta le provee azúcares y otros productos de la fotosíntesis al hongo.

Los sistemas de micorrizas son particularmente efectivos en la transferencia de fósforo y microelementos a la planta huésped. El desarrollo de micorrizas depende en gran medida de la fertilidad del suelo. La micorrización le da a la planta una ventaja a menudo considerable al hacer que sus órganos radiculares sean más eficientes en la absorción de elementos minerales del suelo, en particular fósforo y microelementos. A esto se agrega el efecto estimulante de una buena micorrización sobre la fijación biológica de nitrógeno por las bacterias simbióticas de las leguminosas. Sin embargo, es aquí necesario advertir el posible aspecto negativo de la relación entre el fósforo y los metales pesados en los hongos micorrízicos. Los análisis de muestras de suelo señalan que el fósforo absorbido en grandes cantidades por el micelio parece favorecer la absorción y acumulación de metales pesados por hongos y, por consecuencia, en las plantas que se benefician de esta asociación simbiótica.

(Christian Schwartz. Comifer 2005).

### 3.6. El potasio en el suelo

El potasio solo está presente en el suelo en forma mineral; de hecho, el potasio de los residuos vegetales es casi exclusivamente  $K^+$ , que se libera en el suelo tan pronto como mueren las células. Por tanto, la mineralización de la materia orgánica no influye en este caso. El potasio se encuentra en el suelo en cuatro formas diferentes: integrado en la constitución de feldspatos y micas resistentes a la intemperie que contienen K. Esta forma se libera lentamente en la solución del suelo, lo que permite que el K esté disponible para la absorción de las plantas.

- incluido en las capas de arcilla, esta forma no intercambiable solo se puede liberar cuando el suelo está muy empobrecido en potasio y durante la alternancia de procesos de humidificación y desecación. Este proceso, llamado la fijación de K, es de importancia en la agricultura con suelos arcillosos, ya que se pueden fijar de 1 a 2 gramos de K por 100 gramos de mineral de arcilla.
- adsorbido por las cargas negativas de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (o complejo adsorbente);
- en la solución del suelo.

En resumen, el potasio inmediatamente utilizable por la planta está constituido por tanto por la cantidad de potasio en la solución del suelo y la del complejo adsorbente: esto es lo que constituye el "*potasio intercambiable*" reportado por nuestro laboratorio y que se utiliza para integrar recomendaciones de fertilización por cultivo. Las principales fuentes de fertilizantes de K al suelo son el cloruro de potasio (KCl), el sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), el nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) y la sal doble natural de potasio y magnesio que se encuentra en el mineral *Langbeinita* -  $K_2Mg_2(SO_4)_3$  - y que en el comercio se conoce como K-Mag, o Sul-P- revista (0-0-22-11Mg-22S). Debido a que el sulfato de potasio y magnesio es un producto cristalino muy abrasivo y poco soluble en agua, el uso de este fertilizante para su aplicación al suelo ha sido tradicionalmente limitado. Hace algunos años CON MUCHO ÉXITO se desarrolló un fertilizante líquido con las mismas proporciones de nutrientes que el K-Mag llamado "*Nutra-boost*" que puede aplicarse ya sea directamente al suelo o bien por aplicación foliar a las plantas.

## **Fijación del Potasio en suelo**

El potasio tiende a fijarse en los suelos arcillosos. En otras palabras, es un elemento más o menos enérgicamente retenido entre las capas (o placas) de las arcillas. El término "fijación del potasio" es así sinónimo de potasio no inmediatamente intercambiable. (Algunos autores prefieren hablar de "Potasio intermedio", ya que puede ser liberado por reactivos biológicos o químicos). Este potasio fijo o intermedio es pues el que queda atrapado en las placas de la arcilla. Pero este elemento, en determinadas condiciones, puede participar en la alimentación de las plantas. Se ha demostrado que el potasio fijado puede ser "liberado" biológicamente en los cultivos en macetas, o químicamente mediante aplicación medida del tetra-fenil-borato de sodio.

En general, cuanto mayor es el contenido de arcilla, mayor es la fijación. Las arcillas difieren en sus capacidades para fijar el potasio. La caolinita, que no tiene una estructura de capas o placas, no fija potasio, aunque si retiene iones de potasio en sus sitios de intercambio, los cuales son relativamente limitados. Las arcillas con estructuras de placas también difieren en su capacidad para retener potasio en sitios fijos. Estas diferencias están relacionadas con la estructura de las arcillas en relación con el tamaño de iones de potasio.

El potasio fijo tiene un papel importante en la nutrición de los cultivos, porque una parte del potasio fijo está disponible para los cultivos. Hasta el 75% de la nutrición de potasio de un cultivo se puede obtener del potasio fijo, ya que el potasio se transmite de sitios fijos durante toda la temporada de crecimiento.

## **Lixiviación del potasio**

El potasio que se aplica a partir de fertilizantes puede pues quedar atrapado en la red de arcillas. Este potasio fijo ("intermedio") como antes señalado no está temporalmente disponible para las plantas y puede ser un problema al crear escasez del elemento nutriente en suelos en los que el potasio se fija muy fuertemente. Por otro lado, la fijación con arcillas ayuda al potasio a obstaculizar la lixiviación, de modo que en suelos arcillosos, estos procesos de lixiviación son prácticamente nulos. En las arenas, que tienen una

capacidad limitada para retener  $K^+$ , la lixiviación puede provocar pérdidas de nutriente hasta del 30% del total aplicado.

Prácticamente todo el potasio en la solución del suelo está sujeto a lixiviación. La cantidad de lixiviación varía con la textura del suelo. En suelos de textura gruesa (arenas, arenas arcillosas, margas arenosas), el agua se mueve rápidamente a través de los grandes espacios porosos y el potasio en solución se transporta rápidamente hacia abajo. Los suelos de textura gruesa tienen poca capacidad para retener potasio en intercambio y sitios fijos; por lo tanto, el suelo tiene poca capacidad para retener potasio contra las fuerzas de la lixiviación. Anualmente, las pérdidas de potasio pueden ser muy altas en suelos arenosos sin cultivar, lo que lleva a un rápido agotamiento del potasio nativo del suelo o del potasio agregado con fertilizantes. Los suelos de textura fina tienen poros pequeños a través de los cuales el agua solo puede moverse lentamente. Este movimiento lento restringe las pérdidas por lixiviación. La percolación lenta del agua hacia abajo también la mantiene en contacto con arcillas y materia orgánica, que pueden retener potasio por intercambio y fijación. Las pérdidas importantes de potasio de los suelos limosos o arcillosos sin cultivar son mucho menos importantes que en los suelos arenosos.

### **Interacciones con otros nutrientes**

El potasio (K) se absorbe como  $K^+$ . Por ello, al tener una carga positiva, el K interactúa con otros nutrientes catiónicos importantes en relación con su absorción y acumulación dentro de los tejidos vegetales. Existe una interacción entre el nitrógeno amónico ( $NH_4^+$ ), calcio ( $Ca^{+2}$ ), magnesio ( $Mg^{+2}$ ) y sodio ( $Na^+$ ) con el  $K^+$  ya que estos son los nutrientes catiónicos predominantes en el suelo. El sodio ( $Na^+$ ) no es, como ya hemos explicado antes, un nutriente para las plantas y es una preocupación menor relacionada con el  $K^+$ ; excepto en ambientes de cultivo con alto contenido de sodio. Debido a estas interacciones, es necesario considerar las relaciones de (1) las concentraciones de estos cationes en los tejidos vegetales y (2) la cantidad de cada nutriente que está disponible ya sea en el suelo, o si se agrega como aditivo al sustrato o se aplica directamente a la planta en fertilizaciones foliares. La suma de cationes,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  como equivalentes químicos (comúnmente expresados como meq o miliequivalentes / 100 gramos), es bastante constante en la mayoría

de los tejidos vegetales. El uso de meq toma en consideración la carga química de los nutrientes individuales, en lugar de simples porcentajes de nutrientes en peso.

Con el potasio,  $\text{Ca} + 2$  y  $\text{Mg} + 2$  influyen en la absorción y concentraciones de  $\text{K} +$  en los tejidos vegetales, pero  $\text{Ca} + 2$  y  $\text{Mg} + 2$  no tienen individualmente la misma influencia en  $\text{K} +$  porque tienen diferentes concentraciones equivalentes para la misma cantidad (peso) de nutriente. La expresión como porcentajes en peso tiende a minimizar la influencia del  $\text{Mg} + 2$ , mientras que magnifica la influencia del  $\text{K} +$  en la acumulación total de cationes en las plantas. Las concentraciones equivalentes de  $\text{K} +$ ,  $\text{Ca} + 2$  y  $\text{Mg} + 2$  en el tejido vegetal se pueden calcular en miliequivalente / 100 gramos (meq/100g) multiplicando sus porcentajes por 25,57, 49,90 y 82,24, respectivamente.

### **Interacciones en cultivo de maíz.**

Nos parece innecesario recalcar la trascendental importancia social, económica, política y de seguridad nacional que tiene esta gramínea "*Zea mays*" para nuestro país: sin maíz, no hay país. El maíz es uno de los cultivos básicos en el cual se basa un alto porcentaje del consumo humano, animal e industrial. Desde hace ya varias décadas se han intensificado mucho las investigaciones tendientes a lograr mejores rendimientos en la producción de maíz, con menos recursos o en condiciones climáticas adversas. En la edición 2019 del "Concurso Norteamericano de Rendimiento del Maíz", se alcanzó un récord de producción de 41.44 toneladas por hectárea, mientras que la mayoría de los competidores registraban promedios de 25.76 a 30.6 toneladas por hectárea. Los rendimientos de maíz en México son, aún, consistentemente más bajos que estos promedios americanos. Estamos por ello dando aquí un interés especial a algunos aspectos del control de la nutrición del maíz.

Al graficar las concentraciones de  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$  a partir del análisis de un gran número de muestras de hojas de mazorcas de maíz, se logró establecer cinco diferentes combinaciones de antagonismo para cada uno de estos tres nutrientes sobre los demás. Estas combinaciones se pueden resumir – como se muestra a continuación – de la siguiente manera:

- Deficiencia de K donde el antagonismo de K-Mg es más notable y los meq de K son el 25% o menos del total de cationes.
- Nivel de K intermedio donde los antagonismos K-Ca y K-Mg están presentes y el meq de K constituye aproximadamente del 25% al 40% del total de cationes.
- Nivel de potasio (K) intermedio alto, en el que el meq de K es del 40% al 60% del total de cationes, el Ca es del 30% al 42% y el Magnesio es del 10% al 18%. El antagonismo de K-Mg es menos marcado y el potasio (K) aumenta en gran medida a expensas del Calcio (Ca).
- Alto nivel de K, que favorece el antagonismo K-Ca. La concentración de meq de K es del 60% al 70%, Ca es del 22% al 30% y Mg es del 8% al 12% del total de cationes.
- Nivel de K muy alto que consiste en que los meq de nutrientes son superiores al 70% de K, 22% de Ca y 8% de Mg, con marcado antagonismo de K y una potencial deficiencia de Mg. La deficiencia de Mg ocurre cuando su concentración cae por debajo del 6% del total de cationes.

A pesar de las relaciones entre K, Ca y Mg en el tejido vegetal, los valores críticos basados en el porcentaje de estos nutrientes generalmente no se ven seriamente afectados a menos que la proporción de uno de estos nutrientes a otro sea muy amplia. En el caso del cultivo de maíz, ( al que en este inciso estamos dando una atención prioritaria ), una proporción de K:Mg de 10: 1 (o menos) en la hoja de la mazorca se considera satisfactoria, pero una proporción de 14: 1 puede ya restringir muy seriamente el crecimiento, a pesar de que el Mg esté por encima de la concentración crítica de 0.3% Mg en cada relación.

### **Saturación de Bases en suelo.**

La concentración de K, Ca y Mg en el tejido vegetal depende en cierta medida de la saturación relativa de estos cationes en el complejo de intercambio del suelo. Los científicos y especialistas en suelos proponen un porcentaje ideal de saturación de 65% a 75% para Ca, 10% a 15% para Mg y 2,55 a 7,0% para K. Los intentos de llevar el complejo de intercambio catiónico del suelo a estos porcentajes ideales

no han conducido a mayores rendimientos. Sin embargo, parece que deben evitarse las proporciones extremas. Por ejemplo, la deficiencia de Ca no es probable hasta que la relación Ca: Mg como meq  $< 2: 1$ , y la deficiencia de Mg no es probable hasta que la relación  $> 20: 1$ . Estos valores indicativos son los que aparecen en nuestros reportes de suelo y son los utilizados para dar las recomendaciones de enmiendas o de fertilización, según cultivo metas de rendimiento deseadas.

### Polución por macronutrientes

El término "polución" es una noción que se refiere a la contaminación ambiental excesiva que provocan ciertas sustancias y desechos. Usualmente, el término se aplica a la contaminación provocada por la actividad del ser humano. A gran escala, los diversos tipos de polución son los responsables de diversas alteraciones ambientales que amenazan la vida en nuestro planeta. Los problemas causados por la polución del agua en los mantos freáticos son ya una grave amenaza para la salud humana y los ecosistemas terrestres. Es innegable que la agricultura industrial actual, el mayor generador mundial de aguas residuales, es el gran responsable del vertido en los cuerpos de agua de grandes cantidades no solo de los tres macronutrientes (N, P, K), sino también de volúmenes inauditos de cloro, sodio, boro, metales pesados, todo tipo de agroquímicos, así como '*contaminantes emergentes*' que incluyen patógenos, antibióticos y genes resistentes a los antibióticos. Nos referiremos únicamente a los problemas de polución por los tres macroelementos nutrientes utilizados en la agricultura .

La eutrofización. En ecología el término eutrofización, crisis eutrófica o crisis distrófica designa el enriquecimiento excesivo en nutrientes de un ecosistema acuático. El uso más extendido se refiere 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. En general, en las aguas dulces comienza con un crecimiento de diatomeas y clorofíceas, para acabar con las cianobacterias en su última fase, consumiendo hasta agotar todo el nitrógeno y el fósforo. Estas cianobacterias forman una capa superficial que impide el paso de la luz solar y de la fotosíntesis por debajo de ellas . El exceso de nitrógeno y fósforo en agua hace que las plantas y otros organismos crezcan demasiado, consumiendo el oxígeno disuelto. El N en si también es tóxico, especialmente para los bebés. Los derivados industriales a base de fósforo (detergentes, aditivos etc) son también una importante causa de contaminación del agua.

El potasio retenido por las cargas negativas del complejo absorbente se lixivia menos, cuando estas cargas son más abundantes. Por tanto, la reducción de la aplicación al suelo o foliar de fertilizantes potásicos, únicamente por razones ecológicas o sanitarias, no se puede justificar ya que el potasio no presenta ningún riesgo para el medio ambiente.

### 3.7. El calcio en el suelo

El calcio ( Ca ) es el más ligero de los metales alcalino- térreos. Al igual que el magnesio, el calcio debe considerarse sea como una enmienda destinada a mantener o mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, o sea como un nutriente esencial para las plantas. (Ver anterior inciso 2.10). El calcio ocupa, en orden de abundancia, el tercer lugar entre los metales después del aluminio y el hierro. Es un metal muy reactivo que nunca existe en su estado nativo. En la litosfera, los principales minerales cálcicos están formados por carbonatos simples (calcita, dolomita), en forma de piedra caliza (tiza, mármol) o de fosfatos que a veces también contienen fluor (apatitas). Los carbonatos son una forma muy importante de almacenamiento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido en la biosfera. La acidificación de los suelos y el uso de enmiendas a base de cal agrícola (carbonato de calcio) pueden a largo plazo influir en el contenido de CO<sub>2</sub> de la atmósfera. La descomposición de minerales de calcio en la superficie terrestre al entrar en contacto con la atmósfera, hidrósfera y biósfera (proceso llamado "meteorización") libera iones Ca<sup>+2</sup>. Estos iones divalentes pueden luego adsorberse en coloides del suelo orgánicos e inorgánicos, contribuyendo así a la floculación de la arcilla, la agregación de partículas y la estructura del suelo. El calcio adsorbido en la superficie de los coloides del suelo y en la solución del suelo queda disponible para la nutrición de las plantas.

#### Calcio y materia orgánica.

En un entorno de piedra caliza, la materia orgánica soluble en agua se vuelve inmediatamente insoluble en contacto con el carbonato de calcio, formando fulvatos y humatos de calcio. Su velocidad de biodegradación por la acción de la microflora bacteriana disminuye en gran medida, lo que explica los altos contenidos de materia orgánica(MO) de los suelos calcáreos. La descomposición de esta materia orgánica, a la que se suma la respiración de los organismos vivos de la biomasa, produce CO<sub>2</sub>.

En contacto con el carbonato cálcico, que es muy poco soluble, se forma bicarbonato cálcico soluble, Ca (CO<sub>3</sub>H) , el cual arrastrado al interior del suelo, precipita posteriormente en forma de CaCO<sub>3</sub>,

dependiendo de las condiciones climáticas y del tipo de suelo. La presencia en grandes cantidades de materia orgánica en el suelo calcáreo puede por consiguiente llegar a inducir tanto los fenómenos de disminución de los carbonatos en los horizontes superficiales, así como la formación de costras calcáreas en la profundidad del suelo.

### **Calcio: Movimiento y asimilación**

El calcio se mueve en el suelo principalmente por transferencia de masa. (Movimiento del elemento). Su absorción es pasiva y está restringida a la punta de las raíces jóvenes, donde están las capas de células de la raíz; que conforman lo que se denomina la *endodermis*. Estas células contienen una sustancia llamada suberina, la cual modifica la permeabilidad de la membrana, lo que permite a la planta "filtrar" el agua que ingrese al tejido vascular. La absorción de calcio se reduce cuando las puntas de las raíces son dañadas por nematodos o alteradas químicamente por iones como amonio, sodio o aluminio. La absorción de calcio también se ve disminuida por la absorción competitiva con amonio y potasio. El estrés hídrico también puede disminuir la absorción de  $\text{Ca}^{+2}$  al dañar las puntas de las raíces.

El calcio se transloca en el Xilema principalmente a través de la corriente de transpiración. El movimiento ascendente en el Xilema también se ve facilitado por los sitios de intercambio donde el  $\text{Ca}^{+2}$  se adsorbe momentáneamente y por la quelación con ácidos orgánicos de la savia del Xilema. . Cuanto mayor sea la concentración de  $\text{Ca}^{+2}$  en la savia del Xilema, más rápido se mueve a través de la planta, preferentemente hacia el ápice de los brotes de las plantas en crecimiento.

El calcio también se transporta en el floema, pero en cantidades muy pequeñas. Por lo tanto, los niveles de  $\text{Ca}^{+2}$  en los órganos vegetales proporcionados en gran medida a través del floema son bastante bajos, con un movimiento descendente de  $\text{Ca}^{+2}$  limitado. La humedad relativa alta puede reducir el movimiento de  $\text{Ca}^{+2}$  al tejido meristemático, destruyendo una deficiencia de  $\text{Ca}^{+2}$  en las puntas en crecimiento del tejido vegetal.

(Ver la anterior Gráfica 6).

### **Xilema y floema en el tejido vascular vegetal**

El tejido vascular es un tipo de tejido vegetal complejo, formado por varias clases de células y componentes, que se encuentra en las plantas vasculares. Los componentes primarios del tejido vascular son el xilema y el floema. El Xilema es una estructura que transporta, a través de la planta, agua y sales minerales disueltas. El floema transporta nutrientes ya elaborados por las células y por fotosíntesis. También se hallan asociados al tejido vascular dos meristemas: el cámbium vascular y el felógeno. Todos los tejidos vasculares dentro de una planta constituyen el sistema de tejido vascular.

Las células del tejido vascular son usualmente largas y delgadas. Dado que el Xilema y el floema actúan en el sistema de transportes de agua, minerales y nutrientes en la planta, no es de extrañar que su forma sea similar a la de caños o tubos. Las células individuales del floema están conectadas entre sí por los extremos, como si fueran secciones de un tubo. A medida que la planta crece, se diferencia en los extremos de crecimiento de la planta El tejido nuevo se alinea con el tejido vascular existente, manteniendo la conexión a través de la planta. El tejido vascular se dispone en haces vasculares largos, que incluyen al xilema y floema como así también células de protección y estructura. En el tallo y las raíces, el xilema se encuentra más hacia el interior del tallo que el floema, que apunta hacia el exterior.

### **3.8. El magnesio en el suelo**

El magnesio es el más ligero de los elementos metálicos. Entre los 8 elementos que constituyen el 99,5% de la corteza terrestre, ocupa el último lugar con un contenido cercano al 2,1%. El origen del nombre "magnesio" probablemente esté ligado al nombre de un pequeño pueblo de Asia Menor, Magnesia, conocido desde la antigüedad por sus canteras de magnesia blanca. En forma de óxidos, carbonato, cloruro o sulfato, los minerales de magnesio se encuentran ampliamente distribuidos en la tierra. Siendo muy altos los productos de solubilidad de los compuestos de magnesio, este elemento vuelve rápidamente al medio líquido y así participa en la formación de ciertas arcillas (vermiculita, clorita ... ). También se puede incorporar a la calcita para transformarla en dolomita, una mezcla de dos carbonatos de calcio y magnesio, en proporciones variables.

A mediados del siglo XIX, el magnesio fue reconocido como uno de los siete elementos minerales 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

mejor su importancia. En el suelo, el contenido total de magnesio suele ser del orden de 0,2 a 0,8%. (10 a 40 toneladas por hectárea en la capa de cultivo). Casi dos tercios se encuentran en la fracción de arcilla. Las fracciones de (arenas gruesas y finas generalmente tienen contenidos muy bajos. El magnesio existe en el suelo : (a) en minerales de ferro-magnesio primarios tales como biotita, olivina o serpentina; (b) en minerales de arcilla secundarios tales como la clorita, la illita, la vermiculita o la montmorillonita; y (c) en sales inorgánicas -como los ya mencionados- carbonatos, sulfatos o dolomitas. El magnesio rara vez se asocia con el complejo de materia orgánica

A diferencia del calcio, los compuestos de carbonato de magnesio no se encuentran en concentración suficiente para modificar el funcionamiento del suelo. Por tanto, las transferencias de magnesio se refieren principalmente a procesos de solubilización, intercambio y absorción por los seres vivos. Se realizan por difusión y convección.

### **Magnesio: movimiento y asimilación**

El magnesio se mueve hacia las raíces por flujo o transferencia de masa. Al igual que en el calcio, la absorción del magnesio es pasiva, posiblemente llevada a cabo a través de *ionóforos* en los cuales el magnesio+2 desciende un gradiente electroquímico. (Los "*ionóforos*", son sustancias liposolubles capaces de transportar iones específicos a través de las membranas celulares). La participación de ionóforos puede explicar el efecto de la competencia de cationes (amonio, K, Ca y Na) sobre la captación de Mg. Tras la absorción, el pH de la rizosfera se reduciría, pero no al mismo grado que con el amonio.

El magnesio es móvil en el floema y puede transportarse de las hojas más viejas a las más jóvenes o al ápice de los brotes. Dado que la fruta y los tejidos de almacenamiento dependen del floema para su suministro de minerales, son más altos en K y Mg que en Ca. En algunos casos, el hueso amargo puede deberse no tanto a una deficiencia de calcio, sino más bien a una toxicidad localizada de magnesio.

La variabilidad de las pérdidas por exportación o por lixiviación es muy grande y depende de muchos factores: tipo de suelo, extensión del drenaje invernal y posible cobertura del suelo durante este período. Las pérdidas se ven también influenciadas por las aplicaciones de fertilizantes a base de sales de magnesio. Las pérdidas por lixiviación pueden ser, o muy bajas, o muy altas, dependiendo del volumen de reservas en magnesio biodisponible. En suelos arenosos de muy fácil filtración, se deben evitar las aplicaciones de Mg adicionales si no se considera que sean estrictamente necesarias. En este caso, hay que moderar la cantidad y realizar la aplicación lo más cerca posible de los períodos en que el cultivo requiere mayor presencia de magnesio.

### **Biodisponibilidad del magnesio**

La liberación de magnesio a partir de formas no intercambiables es baja y proporciona solo una pequeña parte del magnesio absorbido por los cultivos, excepto en los suelos arcillosos. El magnesio aportado, al suelo por un fertilizante, o por una enmienda, se adsorbe en gran medida en la parte intercambiable y se fija en porcentajes muy bajos en la reserva movilizable. Esto se debe al tamaño del ion magnesio; es demasiado pequeño en estado seco para ser retenido en las capas de las arcillas y demasiado grande, en estado hidratado, para lograr penetrar en los espacios entre capa y capa. En suelos muy ácidos, en presencia de aluminio soluble, el magnesio puede insolubilizarse mediante precipitación con compuestos de aluminio. Se libera tan pronto como aumenta el pH después del encalado del suelo. El magnesio en la forma intercambiable que reporta el laboratorio es un buen indicador de la biodisponibilidad de este elemento. A corto plazo, las formas no intercambiables, así como los fenómenos de Fijación/liberación tienen muy poco impacto en la nutrición de magnesio de los cultivos.

### **3.9. El azufre en el suelo**

La importancia del azufre en la nutrición vegetal ha sido subestimada durante mucho tiempo y no fue sino hasta las primeras décadas del siglo XX que los agrónomos se interesaron por su papel en la planta y su disponibilidad en el suelo. Los compuestos de azufre

presentes en el suelo son el resultado de la alteración de minerales sulfurados de origen principalmente volcánico, como las piritas. Con el tiempo, estos compuestos se han modificado profundamente bajo la acción de procesos bioquímicos y biológicos. Generalmente, las formas orgánicas predominan en los horizontes superficiales, en donde la actividad biológica es más alta, y van disminuyendo a favor de formas minerales conforme se avanza en profundidad.

### **El azufre en la atmósfera.**

La mayor parte del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) presente en el aire proviene de la combustión de carbono fósil (petróleo, lignito, etc.) que constituyen una importante fuente de energía. El  $\text{SO}_2$  se hidroliza rápidamente a ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , provocando la acidificación del agua de lluvia. ¡ Ya se han registrado lluvias ácidas con valores de 3.0!

### **Mineralización del azufre en el suelo.**

La mayor parte del azufre total de los suelos (entre 75 y 90%) 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:

- 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;
- Un proceso bioquímico, por hidrólisis enzimática
- de los ésteres de azufre que conduce a la producción directa de sulfatos a partir de las formas orgánicas del azufre.

La acción de los factores edáficos (temperatura, humedad, aeración, alimentación de glúcidos a los microorganismos) produce, en forma bastante aproximada los mismos efectos sobre los comportamientos en el suelo del azufre mineral y del nitrógeno mineral. Sin embargo, el azufre es menos sensible que el nitrógeno (N) a las fluctuaciones de estas condiciones.

### **La lixiviación del azufre.**

La elevada solubilidad de los compuestos minerales de nitrógeno hace que su precipitación en los suelos sean casos muy excepcionales. No sucede lo mismo con el azufre. En los suelos cultivados los sulfatos químicamente estables son la forma dominante. Cuando el complejo adsorbente está saturado en calcio, en función de las cantidades de sulfato presentes, el sulfato estará sea totalmente en solución bajo forma de iones sulfato, sea parcialmente precipitado bajo forma de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . El ión sulfato es muy débilmente retenido en el suelo; su movilidad es muy parecida a la de los nitratos. Las pérdidas por drenaje pueden ser importantes cuando la capacidad de intercambio catiónico es débil. Las pérdidas por lixiviación muestran una estrecha correlación entre el nivel de insumos y las pérdidas por drenaje. En suelo cultivado, cuando las aportaciones son importantes, las pérdidas son del mismo orden de tamaño que las aportaciones; las exportaciones de azufre para la mayoría de los cultivos son pequeñas y raramente superiores a algunas decenas de kilogramos por hectárea.

Esta sensibilidad a la lixiviación explica en parte que los riesgos de carencia de azufre estén ligados al tipo de suelo, en el cual los criterios de permeabilidad y de profundidad tienen un papel preponderante. Un riesgo elevado se encuentra en los suelos arcillo – calcáreos superficiales (con espesores inferiores a 50 cm), los terrenos pedregosos sobre arcillas de sílex; las tierras arenosas y las tierras de tiza con un subsuelo filtrante. Hay un riesgo moderado en suelos limosos y en los arcillo-calcáreos profundos (espesor superior a 50 cm). Muy débil en las tierras arcillosas y franco limosas.

### **Azufre: movimiento y asimilación**

Los sulfatos se mueven a la raíz principalmente por flujo de masa, cuya absorción de sulfato depende del contenido de humedad del suelo y de su disponibilidad en la zona radicular altamente influenciada por el riego y la lluvia. Las concentraciones de 3 a 5 ppm en la solución del suelo son adecuadas para la mayoría de las especies de plantas. Una vez que el sulfato está en la rizosfera, los iones de sulfato se absorben activamente gracias a un gradiente electroquímico. Generalmente, el pH del suelo y la presencia de otros nutrientes tienen

poco efecto sobre la absorción superficial. El azufre puede entrar en las hojas, a través de estomas, como dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Las concentraciones atmosféricas de dióxido de azufre oscilan entre 0,5 y 0,7 mg por metro cúbico.

(Se denominan "estomas" las células oclusivas que forman parte de la epidermis de la planta y que delimitan entre ellas un poro llamado ostiolo ; la epidermis es impermeable al agua y gases debido a la capa de cutícula que la cubre, que permiten comunicar el ambiente gaseoso del interior de la planta con el del exterior. Estas células (estomas) son uno de los participantes en la fotosíntesis y también en la respiración de las plantas, ya que por ellos transcurre el intercambio gaseoso mecánico, es decir que en este lugar sale el oxígeno y entra dióxido de carbono (en la fotosíntesis) y viceversa (durante la respiración) según qué procesos químicos ocurran en las plantas).

La relación N: S en el medio de cultivo puede ser tan importante como el azufre total solo o la relación entre sulfato-S y azufre total. Una relación N: S adecuada para la mayoría de las especies de plantas es de 15: 1; para las verduras crucíferas (col, rábano, brócoli, nabo ...) es 3: 1; para legumbres es 13: 1 y para cereales es 17: 1. Para la mayoría de los cultivos, la acumulación de azufre es similar a la del fósforo, y varía de 11 kg / ha en gramíneas a 50 kg / ha en verduras crucíferas (también conocidas como '*brasicáceas*'). Las hormonas vegetales están involucradas en la regulación de la absorción y asimilación de sulfatos, las auxinas de citoquininas están involucradas en la regulación del metabolismo del azufre.

Después de la absorción, el sulfato se traslada al brote en el xilema. El azufre se mueve en el floema principalmente en la forma reducida-SH.(Grupo *tio*). Las hojas más viejas no contribuyen en forma significativa al suministro de S de los tejidos más jóvenes, ya que el azufre tiene una movilidad limitada en las plantas una vez que entra en las células. El sulfato debe reducirse antes de incorporarse a los aminoácidos cisteína o metionina. La reducción de sulfato ocurre en las membranas de los cloroplastos, durante las horas del día, ya que la energía y el reductor de la fotosíntesis se utilizan en la asimilación del sulfato.

### Azufre y Nitrógeno.

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. Los mejores rendimientos en maíz se obtienen cuando el nitrógeno y el azufre se aplican simultáneamente.

GRAFICA 12

LA APLICACIÓN SIMULTÁNEA DE NITRÓGENO Y DE AZUFRE MEJORA LA RESPUESTA DEL MAÍZ.				
Rango Promedio de Azufre	Rangos de Nitrógeno			Rendimiento Promedio
Kg/Ha	0 Kg/Ha	75 Kg/Ha	150 Kg/Ha	Toneladas/Ha
0	3.3	7.0	8.0	6.0 Ton. /Ha
10	4.5	7.5	8.5	6.5 Ton. /Ha
20	5.0	8.0	8.5	7.0 Ton. /Ha

Fuente. Interna / West Analítica.

El nitrógeno y el S están vinculados además por el papel del S en la activación de la enzima de reductasa del nitrato, que es necesaria para la transformación del nitrato a los aminoácidos en las plantas. La baja actividad de esta enzima reduce los niveles de proteínas solubles; mientras aumenta las concentraciones de nitrato en el tejido vegetal.

Los altos niveles de nitrato, que se acumulan cuando el S es deficiente, inhiben drásticamente la formación de semillas en los cultivos sensibles como la canola. El nitrato también puede ser tóxico para los animales que consumen forrajes deficientes en S. Los niveles adecuados de S mejoran la utilización del Mg para los rumiantes mediante la reducción de los niveles de la no-proteína del N (nitrato). La relación N:S (N Total / S Total) en las plantas es una buena guía de diagnóstico para determinar una deficiencia de azufre. Niveles de 7:1, 10:1, 15:1, y otros han sido considerados. Sean o no válidas este tipo de relaciones, hay una fuerte relación entre N y S, que no puede ser ignorada cuando se evalúa la eficiencia en el uso del fertilizante de N.

El azufre también aumenta la eficiencia en el uso del N, mejorando las ganancias potenciales y reduciendo la posibilidad de lixiviación de los nitratos en las aguas subterráneas.

### **Función del Azufre en las Plantas**

La presencia o ausencia de azufre puede afectar la acumulación de nitrógeno inorgánico u orgánico no proteico en el tejido vegetal, en el área foliar, en el número de semillas por planta y en la iniciación floral. El azufre influye también en la tasa de crecimiento de la planta, en el desarrollo de las raíces, el contenido de proteínas vegetales, en la clorofila y en la fijación fotosintética de dióxido de carbono. La falta de azufre en el entorno de la planta disminuye fuertemente la eficiencia del nitrógeno.

A diferencia del Ca y el Mg, que son absorbidos por las plantas como cationes, el S es absorbido principalmente como anión de sulfato (SO<sub>4</sub>). También puede entrar en hojas de la planta desde el aire en forma de gas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El azufre es parte de todas las células vivas y es un componente de dos de los 21 aminoácidos que forman las proteínas. Otras funciones del azufre elemental (S) en la planta son:

- Ayuda a desarrollar enzimas y vitaminas.
- Estimula la nodulación para la fijación de N
- Ayuda a la producción de las semillas.
- Es necesario en la formación de clorofila
- Da el olor característico del ajo, la cebolla y la mostaza.

El azufre, como el N, es un constituyente de las proteínas, por eso los síntomas de deficiencia de S son similares a los síntomas de deficiencias del N. En el nitrógeno estos síntomas de deficiencias son más graves en las hojas viejas; esto debido a que el N es un nutriente móvil en la planta y se mueve a un nuevo crecimiento. El azufre, en cambio, es inmóvil en la planta. El crecimiento del cultivo padece, por vez primera, cuando los niveles de S no son suficientes para satisfacer las necesidades de las plantas. Cuando éstas son deficientes en S pueden ser de tallo débil y delgado.

### 3.10. Los microelementos en el suelo.

El concepto de elementos traza, utilizado en geoquímica, es el resultado de diversas consideraciones cuantitativas sobre el contenido de un elemento dentro de un mineral o de un conjunto de minerales.

En forma convencional, se consideran "*elementos traza*" a los 68 elementos minerales que constituyen la costra terrestre y cuya concentración es menor a 0.1 %. Estos elementos representan tan solo el 0.6% de la masa total, mientras que a los 12 elementos mayores ( O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P, Mn ) corresponde el 99.4 % restante. El azufre, el carbono y el nitrógeno son más abundantes en los suelos y más raros en la litósfera.

Los principales elementos en trazas ( a menudo denominados también elementos-traza metálicos o (más usual) "*metales pesados*" que se pueden encontrar en la agricultura son los siguientes: arsénico, cadmio, cromo, cobre, flúor, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc. Hablar de elementos en trazas tóxicos presupone conocer muy bien los efectos sobre los seres vivos, lo cual no siempre es el caso. Por ello se prefiere utilizar los términos de elementos minerales en trazas o bien de "*microelementos*" minerales.

El término "*oligo-elemento*" fue introducido en biología por Gabriel Bertrand a inicio del siglo XX para designar "*los elementos que se encuentran en baja proporción, pero de manera constante, en el análisis químico de los organismos vivientes animales y vegetales, independiente a la vez del tiempo y lugar, en ausencia de toda contaminación*". En el sector agrícola, los seis elementos químicos siguientes: hierro, manganeso, zinc, cobre, boro (o más precisamente el ión borato) y molibdeno, se consideran como microelementos. El cloro, el cobalto y el níquel se agregan aunque no se consideran en sí como microelementos. El selenio (Se), aunque no tiene interés para las plantas, es indispensable en ganadería y por eso conviene tenerlo presente en los forrajes. Elementos tales como el silicio, el hierro, el manganeso, considerados en ocasiones por algunos científicos como oligoelementos, pertenecen al grupo de elementos mayores debido a su presencia en la costra terrestre.

Aclaremos que las expresiones "*oligoelementos*" y "*elementos traza*" no son equivalentes. En el primer caso se hace referencia a los elementos que, aunque presentes en muy poca cantidad son, de todos

modos, indispensables para el desarrollo de plantas y animales. Los elementos del segundo caso se definen por su contenido en la litósfera. La noción de oligoelemento está por consiguiente más adecuada al campo de la fertilización de los suelos, mientras que la noción de elementos traza está más bien adaptada para su manejo en la contaminación o la polución del suelo y del agua por metales.

### **Ciclo bio-geoquímico de los microelementos.**

Los microelementos del suelo se encuentran en diferentes condiciones que se pueden resumir en áreas más o menos bien delimitadas. Tenemos ante todo la "*solución del suelo*", que hace referencia a los oligo-elementos solubles en agua. Esta solución usualmente tiene bajas concentraciones siendo permanente alimentada por intercambios más o menos reversibles a partir de las áreas siguientes;

- El área intercambiable. Que es donde están los iones ligados a las arcillas y a los compuestos húmicos. Su intensidad de fijación es tanto más fuerte cuanto más débiles son las cantidades en solución.
- El área de quelatos. Una zona que tiene un papel importante en la bio-disponibilidad de éstos elementos. Las formas quelatadas tienen solubilidades muy superiores a las formas minerales, independientemente del pH del suelo.
- El área de adsorción. Que actúa sobre los minerales secundarios arcillosos y los óxidos metálicos insolubles.
- El área de "inclusión". Integrada en la estructura de los minerales primarios y secundarios.

Hay muy numerosos factores que, en los microelementos, son esenciales para su biodisponibilidad. Se señalan a continuación los más importantes: el pH, las condiciones de óxido-reducción, la textura del suelo, el régimen hídrico, el contenido en materia orgánica y la actividad microbiana.

El pH, como se ha señalado con insistencia, es uno de los parámetros más trascendentes pues influye directamente sobre la solubilidad y , en muchos casos, sobre la bio-disponibilidad de los microelementos. En los suelos con pH elevado aparecen con gran frecuencia las carencias de hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu),

Manganeso (Mn) y Boro (B). Mientras que las carencias de molibdeno (Mo) aparecen en los suelos muy ácidos. La disminución del pH, aún en suelos desarrollados sobre un sustrato calcáreo, puede aumentar fuertemente la disponibilidad de elementos metálicos en trazas, como el níquel, el cadmio, el plomo o los metales que forman complejos muy solubles cuando entran en contacto con los carbonatos.

GRAFICA 13

RANGOS ÓPTIMOS DE PH PARA LA MÁXIMA DISPONIBILIDAD DE LOS MICROELEMENTOS.		
Microelemento	Símbolo	pH: Rango Óptimo
Boro	B	5.0 – 7.0
Cloro	Cl	No influye
Cobre	Cu	5.0 – 7.0
Hierro	Fe	4.0 – 6.5
Manganeso	Mn	5.0 – 6.5
Molibdeno	Mo	7.0 – 8.5
Zinc	Zn	5.0 – 7.0

Fuente: *Guía Agricultura Razonada.*

Las transformaciones de la materia orgánica presentan modalidades muy diversas dependiendo de la bio-disponibilidad de los microelementos:

- Como se sabe, la mineralización libera los microelementos. A continuación, los procesos de óxido-reducción hacen evolucionar los elementos metálicos sea hacia formas reducidas más solubles, sea hacia formas oxidadas menos solubles.
  - La quelación, bajo la forma de sustancias producidas por los microorganismos del suelo en las raíces, permite el transporte de los microelementos al nivel de la raíz.
  - La formación de complejos. Según las condiciones del medio y de la descomposición de las materias orgánicas, pueden generarse sea complejos insolubles, sea tener un papel importante en la descomposición de los microelementos. (Minerales primarios).

Hay varios otros factores que también pueden tener influencia sobre el comportamiento de los oligo-elementos:

- La textura del suelo. La cantidad de oligo-elementos totales aumenta con un mayor contenido de arcilla.

- El régimen hídrico y las condiciones climáticas. Un mal drenaje crea condiciones reductoras susceptibles de afectar la bio-disponibilidad de algunos oligo-elementos.
- Las interacciones. Los elementos mayores y los oligo-elementos interactúan entre sí pudiendo provocar carencias o incrementar absorciones.

GRAFICA 14

INTERACCIONES ENTRE NUTRIENTES QUE AFECTAN LA BIO-DISPONIBILIDAD DE LOS MICROELEMENTOS.		
Microelemento	Efecto de los elementos mayores	Efecto de los otros microelementos
Hierro	P : disminución , K : variable	Mn>Cu>Zn>Mo disminución
Manganeso		Fe : fuerte disminución
Zinc	P : fuerte disminución , N: de variable a disminución	
Cobre	N y P : disminución	Zn: ligera disminución
Boro	N y Ca : disminución , P : aumento , K : variable	Mn : ligera disminución , Cu (deficiente): disminución
Molibdeno	P : aumento , S : Disminución	Fe, Mn y Cu : disminución

Fuente: Guía Agricultura Razonada.

La bio-disponibilidad puede y debe servir de base para la recomendación de la fertilización en micro-elementos (que algunos autores también denominan "elementos menores ") que son aquellos elementos nutrientes que nos interesan saber aplicar correctamente .

### Microelementos: funciones vitales.

Se consideran como microelementos nutrientes a los siguientes seis elementos químicos ya mencionados: boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc . A ellos se les agrega cloro, cobalto y níquel que son indispensables a muy bajas concentraciones para algunas funciones muy específicas en determinadas plantas. Estos tres elementos son tóxicos a concentraciones un poco más elevadas. El contenido total en suelo de micronutrientes, no indica las cantidades disponibles para el crecimiento de las plantas durante la temporada agrícola, pero si proporciona buena orientación sobre la abundancia relativa y el potencial de suministro de un micronutriente específico. El pH del suelo, también en el caso de los micronutrientes, afecta muy severamente la bio-disponibilidad, la cual tiene un rango óptimo de pH para cada elemento.

GRAFICA 15

FUNCIONES VITALES DE LOS MICROELEMENTOS.						
	B	Cu	Fe	Zn	Mn	Mo
Fotosíntesis						
Crecimiento						
Fertilidad						
Síntesis de Proteínas						
Síntesis de lignina						
Fijación del nitrógeno						
Reducción de nitratos						
Respiración						
Migración de azúcares						

Fuente: Guía Agricultura Razonada.

La absorción de microelementos del suelo por la planta está también muy influenciada por las interrelaciones que existen con los demás elementos nutrientes; sean primarios ("macronutrientes"), o sean elementos secundarios (calcio, magnesio y azufre) o bien los demás elementos menores. ("micro-elementos"). Cada especie tiene exigencias diferentes y, dentro de una misma especie, hay cambios en función de las variedades. Dado que las cantidades de microelementos indispensables para el sano crecimiento de las plantas son relativamente pequeñas, los umbrales de toxicidad están siempre cercanos a los niveles de carencia. De aquí la importancia extrema que tiene cuantificar bien las aportaciones de micronutrientes al suelo y/o a la planta.

La diversidad en el contenido de micronutrientes en el suelo, aún dentro de una misma parcela, explica la gran importancia que tiene el análisis preciso de la planta. Y, sobre todo, el conocimiento de los síntomas de deficiencia, los cuales son relativamente difíciles de reconocer en forma precoz. El análisis foliar de laboratorio es aquí indispensable. La corrección de carencias en microelementos se hace en función de la especie cultivada y de la disponibilidad del elemento menor en suelo. Estas aportaciones dependen igualmente de la forma en que se presenta el producto a utilizar (orgánico, mineral, quelatos) y del modo de aportación; ya sea al suelo o bien foliar. Conviene complementar el análisis de los tejidos vegetales con mapas de suelo

que ayuden a ir identificando regiones y sistemas de cultivo donde sea factible encontrar deficiencias específicas. Estas carencias de micronutrientes pueden distinguirse como verdaderas, inducidas y ocultas.

- Carencia Verdadera: la insuficiencia de un micronutriente en el suelo. Frecuente en suelos de baja CIC.
- Carencia inducida; consecuencia de malas condiciones de asimilación. Frecuente encontrarla aún en suelos ricos.
- Carencia oculta; ya sea verdadera o inducida pero que no presenta síntomas. Perjudicial al rendimiento y la calidad.

A riesgo de ser demasiado repetitivos, queremos insistir en la necesidad de controlar los estrictamente los suelos sódicos. El sodio, como ya se ha comentado, es un elemento que juega un papel muy importante en las reacciones entre el suelo y la planta, especialmente en las regiones áridas y semiáridas de México. El sodio es un importante constituyente de los suelos alcalinos y, como tal, actúa en forma adversa para el crecimiento de las plantas, pues tiende a desplazar a otros cationes; a acumularse en la solución del suelo y a interferir internamente con la fisiología de la planta. Sin embargo, el sodio puede tener una influencia positiva en la nutrición mineral de las plantas, especialmente en suelos deficientes en potasio. El sodio puede existir en el suelo tanto como sal libre o como parte del complejo de intercambio. El sodio libre se lixivia rápidamente, mientras que el intercambiable puede ser reemplazado por otro catión, como el azufre.

El nitrógeno es un buen ejemplo de las sinergias y antagonismos que se dan entre los micronutrientes y los demás elementos. El exceso de nitrógeno favorece la asimilación de magnesio y de molibdeno, pero bloquea la asimilación del potasio, del boro y del cobre. Las cantidades relativas de micronutrientes en el suelo, especialmente metales, determina su disponibilidad pudiendo esta relación ser más importante que las cantidades absolutas de cada elemento.

En los análisis de fertilidad de suelo, se toma siempre en consideración los niveles de otros microelementos, así como, obviamente, las disponibilidades de macronutrientes y elementos secundarios. Se hace aquí enseguida una presentación más detallada de los elementos menores .

GRAFICA 16



### 3.11. El Boro en suelo y planta

La disponibilidad de boro disminuye en los suelos de textura fina y con arcillas pesadas y altos niveles de pH. Estos suelos de textura fina con un pH alto que han sido sobre encalados, es muy posible que tengan una limitada cantidad de boro. Este elemento puede ser lixiviado, principalmente en suelos de textura ligera, ácidos, arenosos y bajos en materia orgánica.

Este nutriente no es móvil en la planta y, como el calcio, está sujeto a períodos de deficiencia cuando la disponibilidad de agua es limitada y por consiguiente se restringe el movimiento del agua dentro de la planta. Usualmente los síntomas de deficiencia de boro aparecen en los nuevos brotes de la planta, aunque dichos síntomas pueden aparecer también en otras partes de la planta debido a la mencionada falta de movilidad del boro. El análisis foliar, como parte de una evaluación programada con cierta regularidad, es el mejor método para

monitorear la situación del boro. Para las pruebas foliares de boro es preferible seleccionar los nuevos brotes y las hojas jóvenes.

El boro es un nutriente esencial para la germinación de los granos de polen, para el desarrollo de las células de las paredes y el desarrollo 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. La mayoría de las legumbres, frutas y verduras son muy sensibles al boro. En cambio, los granos no lo son tanto. Hay varios factores que tienen influencia en la disponibilidad del boro en el suelo, siguiente:

- La materia orgánica. Este parámetro representa la más importante fuente de boro proveniente del suelo. En climas secos y cálidos la descomposición de la materia orgánica, que se encuentra mayoritariamente en la superficie, se ralentiza significativamente. Esta lentitud puede generar una deficiencia de boro. En climas fríos la descomposición de la materia orgánica también es lenta, es decir hay una pobre liberación de boro que afecta a los cultivos.
- Condiciones climáticas. Un clima seco restringe la actividad de las raíces en la superficie del suelo pudiendo causar deficiencias temporales de boro. Los síntomas tienden a desaparecer tan pronto la superficie del suelo recibe agua. El crecimiento de las raíces continúa pero a menudo se reduce el potencial de rendimiento.
- pH del suelo. La mejor disponibilidad de boro para el cultivo se ubica entre pH con valores de 5.0 y 7.0. Con valores más altos de pH, la absorción de boro se reduce. El encalado de suelos ácidos puede disminuir la disponibilidad de boro y mejorarla respuesta de otros fertilizantes.
- La textura del suelo. Los suelos gruesos, arenosos, compuestos en gran medida por cuarzo contienen pocos minerales con boro. Los cultivos en este tipo de suelo por lo general muestra fuertes deficiencias en boro.
- Lixiviado. El boro es móvil en el suelo y por tanto está sujeto a problemas de lixiviado. El lixiviado es frecuente en suelos arenosos y/o en áreas de alta precipitación pluvial.

Es importante que los fertilizantes de boro se apliquen en forma uniforme porque hay un rango muy estrecho entre deficiencia y

toxicidad. Los volúmenes de fertilización con boro dependen de varios importantes factores: el análisis del suelo, el contenido de boro en las plantas ( análisis foliar) , el tipo de cultivo, la rotación de los cultivos ,las condiciones climáticas , las prácticas de cultivo y el contenido de materia orgánica.

El boro puede aplicarse al suelo en banda o al voleo, o bien aplicarse en spray foliar. Los rangos de aplicación suelen variar des 0.4 kilos por hectárea hasta máximos de 3 kilos por hectárea. Muestre los resultados del laboratorio, en suelo y planta, al agrónomo de campo para que este especialista tome en cuenta los demás factores aquí señalados.

### **3.12. El microelemento Cobre.**

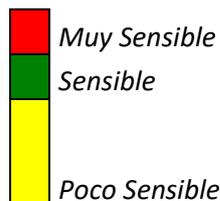
Este nutriente usualmente no está deficiente en la mayoría de las condiciones de cultivo. Si se utilizan fungicidas a base de cobre ( como por ejemplo el Kocide 35 WG de Dupont ), el cual actúa como protector contra enfermedades. Los cobres tienen un amplio espectro de acción, incluyendo acción bactericida y son muy persistentes en el suelo ya que el ion Cobre no se degrada como sucede con los productos orgánicos. La aplicación de fungicidas a base de cobre, tienen el riesgo de que interactúen con otros micronutrientes en la planta, creando deficiencias debidas al alto contenido de cobre. Para el monitoreo de este nutriente conviene establecer un programa de muestreos foliares frecuentes.

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 ricos en M.O. retienen el Cu fuertemente, disminuyendo su disponibilidad. Por ello, con frecuencia los cultivos responden bien a la aplicación de cobre en suelos con alta materia orgánica. En suelos orgánicos existe una interdependencia entre cobre y manganeso; los dos elementos son

retenidos en forma compleja y similar por la materia orgánica del suelo. Aplicaciones muy elevadas de cobre pueden dar como resultado una deficiencia de Mn, mientras que la aplicación de excesivo Mn podría evitar que el Cu forme un complejo, produciéndose una mayor absorción de Cu por las raíces de las plantas. La deficiencia de cobre en las plantas produce una reducción en la lignificación y en la acumulación de fenoles. Entre los síntomas de carencia de este elemento, está la necrosis del ápice de hojas jóvenes; necrosis que va progresando hasta perder las hojas. También las ramas y los tallos son incapaces de permanecer erguidos y la planta tiene un aspecto marchito generalizado; las hojas se tuercen, se hacen quebradizas y caen. Puede haber clorosis y otros síntomas secundarios, aunque la clorosis no siempre aparece.

GRAFICA 17

SENSIBILIDAD DE LOS CULTIVOS A LA CARENCIA DE MICRONUTRIENTES.													
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Agave	Green	Yellow	Red	Red		Yellow	Frijol	Yellow		Yellow	Yellow	Yellow	Green
Aguacate		Yellow	Red	Red		Red	Limón	Green	Yellow	Red	Red		
Ajo	Green		Green	Yellow		Yellow	Maíz	Yellow	Yellow		Red		Red
Alfalfa	Red			Green	Red	Yellow	Mango	Red	Yellow	Red	Red		Red
Arroz	Green	Green	Red	Yellow	Green	Yellow	Manzano	Red	Red	Red	Red		Red
Cafeto	Yellow	Yellow	Red	Red		Yellow	Melón	Yellow	Green			Red	
Caña Azúcar	Yellow	Yellow	Red	Red		Green	Naranja	Green	Yellow	Red	Red		Red
Cebada		Yellow		Green		Green	Papa	Green			Yellow		
Cebolla	Green		Green	Yellow		Yellow	Papayo	Yellow	Yellow	Red	Red		Green
Espárrago	Red						Plátano	Yellow	Yellow	Red	Red		Green
Fresa	Green		Green			Green							



De todos los microelementos, el Cobre es el más difícil de diagnosticar debido a la interferencia de otros elementos (P, Fe, Mo, Zn, S, etc.) Las plantaciones de cítricos y frutales, abonadas en exceso con fosfatos, con frecuencia presentan carencias de cobre. En casos de toxicidad (valores superiores en suelo a 300 mg/Kg), las alteraciones se manifiestan en las raíces. También el exceso puede originar deficiencia en hierro.

### **3.13. Los microelementos Manganeseo y Hierro.**

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 son deficientes a menos que el productor provoque un cambio significativo en el pH del medio, a través de la fertilización o del encalado. Algunos fungicidas (tipo "Maneb", cuyo ingrediente activo es un Etilen-bis-ditio-carbamato de manganeseo) al aplicarse a los cultivos, adhieren manganeseo a la superficie de las hojas

Este manganeseo adicional puede eventualmente ser absorbido y dar resultados altos de Mn en el análisis foliar, aunque tan solo una parte de este elemento esté dentro del esquema metabólico celular de la planta y el resto en su superficie de las hojas. Los cultivos que contienen Manganeseo 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 éstos micronutrientes conviene tener ya establecido un programa periódico de controles foliares.

El manganeseo 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 manganeseo acelera la germinación y la humedad, incrementando la disponibilidad de fósforo (P) y de calcio (Ca).

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más jóvenes donde se producen amarillamientos entre las venas. Las

deficiencias de manganeso ocurren con más facilidad en suelos con alta materia orgánica y con pH neutros o alcalinos.

Las deficiencias de manganeso pueden ser corregidas en diversas formas:

- Si es la cal la que provoca estas deficiencias, mantenga el pH del suelo debajo de 6.5. Esto se puede lograr disminuyendo la aportación de cal o utilizando materiales que produzcan la acidificación del suelo, incluyendo aquí el azufre elemental, micronizado o no. Tenga en mente que es mucho más sencillo y económico regular la adición de manganeso que tratar de bajar el pH del suelo.

- Mezcle sales solubles de manganeso, tales como el sulfato de manganeso ( $MnSO_4$ ), con los fertilizantes para aplicación en banda. Un fertilizante arrancador con alto fósforo ayuda a movilizar el Mn dentro de la planta. Una deficiencia en la planta puede corregirse rociando, por ejemplo, 10 Kgs por hectárea de una solución acuosa.

- En algunos suelos un pH extremadamente ácido puede causar toxicidad de Manganeso al cultivo. El suelo debe tener pH de 5.0 o menos para que se presenten estos problemas de toxicidad de manganeso. Aun así, los niveles tóxicos de Mn en las plantas se presentan a partir de pH de 5.8 en las plantas. Un adecuado encalado del suelo resuelve este problema.

El hierro (Fe) es también, como el manganeso, 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.

Las deficiencias de hierro pueden ser causadas por un desbalance con otros metales, tales como el Mo, Cu o Mn. Otros factores que pueden desencadenar deficiencias en hierro son:

- Excesivo contenido de fósforo en el suelo
- Una combinación alto carbonato y pH, suelo frío y húmedo.
- Bajos niveles de materia orgánica en el suelo.
- Problemas de orden genético en las plantas.

## GRAFICA 18

CONDICIONES DEL SUELO QUE FAVORECEN  
CARENCIAS DE MICROELEMENTOS.

Microelemento	Favorecen las deficiencias	Cultivos sensibles	Síntomas visuales de deficiencia
<b>Hierro</b>	Suelos calcáreos pH elevados Suelos ricos en P	Árboles frutales, viña Plantas ornamentales Soja, maíz, sorgo, Frijol	Clorosis inter - nerviar en hojas jóvenes.
<b>Manganeso</b>	Suelos arenosos Suelos orgánicos Suelos muy calcáreos	Cereales Soja Árboles frutales Hortalizas de hoja Remolacha-patata	Las hojas jóvenes son coloración verde pálido a amarillo. Decoloración entre los nervios.
<b>Zinc</b>	Arenas lavadas pH elevados Suelos de cretas Suelos ricos en P	Maíz, Frijol Diversas hortalizas Árboles frutales Cítricos	Las hojas jóvenes tienen bandas descoloradas (amarillas o blancas) en la parte basal de la hoja.
<b>Cobre</b>	Suelos arenosos Suelos orgánicos Suelos calizos pH elevados	Cereales Maíz, hortalizas Gramíneas forrajeras Alfalfa, trébol Árboles frutales	Las hojas jóvenes con coloración amarillo pálido. Las puntas de las hojas viejas están desecadas.
<b>Boro</b>	Suelos arenosos pH elevado, sequía Suelos muy calcáreos	Remolacha Alfalfa, girasol Hortalizas , frutales	Decaimiento Tallos huecos Caída de flores
<b>Molibdeno</b>	Suelos ácidos Suelos arenosos	Alfalfa, soja, colza Algunas hortalizas (coliflor, pepino,)	Hojas amarillas en las leguminosas (-N). Hojas alargadas, estrechas.

El hierro es también, como el manganeso, un catalizador en la formación de clorofila.

### 3.14. El microelemento Molibdeno.

Este nutriente puede ser esencial para que la planta utilice el nitrato. El molibdeno se requiere para la síntesis y la actividad del sistema enzimático nitrato-reductasa. Sin la presencia de molibdeno el nitrato de la planta no puede convertirse en el amonio que es necesario para la formación de proteínas. A menudo el molibdeno es un factor limitante en la formación y actividad de la nitrato-reductasa, en cuyo caso el nitrato se acumula en los tejidos. La deficiencia de molibdeno aparece en las plantas como síntoma de deficiencia de nitrógeno bien como quemaduras marginales en las hojas debidas a la acumulación de nitratos.

El molibdeno se requiere también en el sistema enzimático responsable de la fijación de nitrógeno por algunas bacterias, por ejemplo, *rizobium*. El pH del sustrato o del suelo tiene efecto en la solubilidad del molibdeno. En suelos ácidos con PH menores a 5.3, el molibdeno no está disponible aun cuando existan niveles apropiados de de Mo en el suelo. Sin embargo, no es posible dar por hecho que los suelos con pH de 5.3 o mayores aseguran un suministro adecuado de este nutriente. El molibdeno es uno de los nutrientes que con más frecuencia se encuentran deficientes en suelo. Independientemente de los niveles de pH. El tratamiento de las semillas es posiblemente el método más usual de corregir las deficiencias de molibdeno, ya que se requieren muy pequeñas cantidades de éste nutriente. Un contenido excesivo de molibdeno es tóxico , especialmente para los animales herbívoros.

### 3.15. El microelemento Zinc.

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 el “*Mancozeb*”, un ditiocarbamato con alto contenido de zinc, este plaguicida puede inducir deficiencias de hierro y de manganeso en el tejido vegetal de las plantas.

Estas deficiencias son muy difíciles de corregir. La mejor forma de monitorear los niveles de suficiencia del zinc es, como en los casos anteriores, mediante un programa regular de análisis foliares.

Los suelos de textura fina usualmente contienen más zinc que los suelos arenosos. Sin embargo, el contenido total de zinc en el suelo no indica cuanto elemento está disponible. Hay varios factores que afectan esta disponibilidad;

- pH del suelo. El zinc se vuelve menos disponible cuando aumenta el pH. Algunos suelos encalados arriba de pH 6.0 pueden desarrollar deficiencia de zinc , sobre todo si son suelos arenosos. Las deficiencias no ocurren en todos los suelos con pH alcalinos o cercanos a neutro.
- Suelo con alto fósforo. La deficiencia del zinc puede ocurrir en suelos con alta disponibilidad de fósforo. El pH del suelo complica aún más las interacciones entre el zinc y el fósforo.
- Materia Orgánica del suelo. Una buena parte del zinc puede estar fijado en la fracción orgánica de aquellos suelos que tienen un alto porcentaje de materia orgánica. También puede estar temporalmente inmovilizado en los micro-organismos del suelo, especialmente cuando se añaden excrementos a las parcelas. En el extremo opuesto, mucho zinc disponible en suelos minerales está asociado con materia orgánica. Un bajo nivel de materia orgánica en suelos minerales es con frecuencia indicación de una baja disponibilidad de zinc.
- Lixiviación. El zinc es adsorbido por los coloides del suelo. Esto ayuda a dar más resistencia al lixiviado y a permanecer en la superficie del suelo.
- Actividad biológica del suelo. La disponibilidad del zinc se afecta por la presencia de algunos hongos del suelo llamados micorrizas, las cuales forman relaciones simbióticas con las raíces de las plantas.

La remoción de la superficie de los suelos con el objetivo de nivelar los suelos puede remover también los hongos fito-benéficos limitando así la capacidad de las plantas para absorber el zinc.

### **3.16. El microelemento Cloro.**

El suministro de cloro al suelo proviene de la lluvia y de las sales de muchos fertilizantes. En cultivos abiertos el uso de fertilizantes que contienen cloro, como por ejemplo el cloruro de potasio, es suficiente para cubrir las necesidades de éste elemento. Los casos de deficiencia de cloro son extremadamente raros.

Sin embargo, en cultivos de invernadero si es conveniente monitorear la presencia de cloro a base de análisis foliares llevados a cabo con relativa frecuencia. El cloro disminuye los efectos de las enfermedades fúngicas de las raíces. También ayuda a controlar otras enfermedades en hojas y tallos. Se considera que el cloro compite con la absorción de nitrógeno, tendiendo a promover el uso de nitrógeno amoniacal. El cloro tiene efectos negativos en cultivos tales como tabaco, algunas variedades de soya, y patatas.

### **3.17. Los microelementos Cobalto y Níquel.**

El cobalto (Co) no parece ser esencial para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, las bacterias de los nódulos sí requieren de este elemento para fijar el nitrógeno atmosférico en las legumbres.

El níquel es un componente de la ureasa y es necesario en el metabolismo de la urea. Es también un catalizador esencial en numerosas enzimas, incluyendo la enzima "hidrogenasa" y la deshidrogenasa, así como en aquellas implicadas en la fijación del nitrógeno y en otras que van asociadas con el proceso de bacterias dentro de los nódulos que fijan el nitrógeno. La deficiencia de níquel puede provocar una acumulación de urea, haciendo que la planta sea más susceptible a las enfermedades.

La mayoría de las plantas anuales crecen bien donde el níquel está disponible en el suelo en concentraciones aproximadas de 0.6 Kg por hectárea. Los fertilizantes con níquel son especialmente importantes cuando, en los cultivos, la urea es la fuente primaria de nitrógeno. Sin embargo, el uso de cualquier fuente de nitrógeno requiere que se preste atención a la presencia de níquel.

### 3.18. Las sustancias húmicas en el suelo

Las *sustancias húmicas* juegan un papel vital en la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas, pues son una excelente fuente de energía para los organismos benéficos del suelo. 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. Se obtiene, por consiguiente, una muy superior calidad nutricional en alimentos humanos y para animales. 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. Las sustancias húmicas. Estas sustancias húmicas, así como los compuestos no húmicos (orgánicos), son las que proporcionan la energía y los minerales que requieren tanto los microorganismos como la fauna del suelo. Los organismos benéficos del suelo carecen de un aparato fotosintético que les permita capturar la energía del sol. Por lo tanto, deben sobrevivir con el carbono residual que contienen las sustancias en el suelo o sobre el suelo. La energía almacenada dentro de los enlaces de carbono sirve para llevar a cabo diversas reacciones metabólicas dentro de estos organismos: algas, levaduras, bacterias, hongos, nematodos, micorrizas y animales pequeños. Todos ellos realizan muchas y muy valiosas funciones que influyen positivamente en la fertilidad del suelo y la salud de las plantas.

La extrema variabilidad en las características moleculares de las sustancias húmicas se relaciona con los compuestos precursores y con las condiciones ambientales bajo las cuales se formaron dichas sustancias. Las sustancias húmicas se pueden subdividir en cuatro fracciones principales (1) huminas, (2) ácidos húmicos, (3) ácidos fúlvicos y (4) humatos. Estas subdivisiones se basan arbitrariamente en la solubilidad de cada fracción en agua ajustada a diferentes condiciones ácido-alcálicas. (O sea diferentes niveles de pH). Las sustancias húmicas son los componentes del *humus* y, como tales, son compuestos de alto peso molecular que, juntos, van formando los polielectrolitos hidrófilos, molecularmente flexibles, de color marrón a negro, que es lo que – precisamente- conocemos como el “humus”. Muchos de los componentes del humus son complejos orgánicos estables relativamente grandes y heterogéneos.

La función de las sustancias húmicas es dar al suelo estructura, porosidad, capacidad de retención de agua, intercambio catiónico y aniónico, participando en la quelación de elementos minerales. El análisis elemental de las sustancias húmicas revela que están compuestas principalmente de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre en complejas cadenas de carbono. (Componentes alifáticos que se estima constituyen del 40% al 50% del total).

Las *huminas* son la fracción de las sustancias húmicas insolubles en álcali (pH alto) y que no son solubles en ácido (pH bajo). Las huminas no son solubles en agua a ningún pH. La humina presente en el suelo es la más resistente a la descomposición de todas las sustancias húmicas. Algunas de sus principales funciones dentro del suelo son; mejorar la capacidad de retención de agua, mantener y/o mejorar la estructura y estabilidad del suelo, funcionar como un sistema de intercambio de cationes. Debido a todas estas funciones son un componente clave en la fertilidad del suelo.

Los *ácidos húmicos* comprenden una mezcla de alifáticos débiles (cadenas de carbono) y de ácidos orgánicos aromáticos (anillos de carbono) que no son solubles en agua en condiciones ácidas, pero si son solubles en agua en condiciones alcalinas. Los ácidos húmicos representan la fracción de sustancias que se precipitan en soluciones acuosas cuando el pH cae por debajo de 2. En promedio, el 35% de las moléculas de ácido húmico son aromáticas (anillos de carbono), mientras que los componentes restantes se encuentran en forma de moléculas alifáticas (cadenas de carbono). Los ácidos húmicos forman fácilmente sales con los microelementos inorgánicos. Estos microelementos están unidos a moléculas húmicas en forma tal que pueden ser fácilmente utilizados por varios organismos vivos. Como resultado, los ácidos húmicos funcionan como importantes sistemas de intercambio iónico y sistemas complejos de metales. (Quelatos).

Los *ácidos fúlvicos* son una mezcla de ácidos orgánicos aromáticos y alifáticos débiles que son solubles en agua en todas las condiciones de pH (ácido, neutro y alcalino). Su composición y forma es bastante variable. El tamaño de los ácidos fúlvicos es menor que los agregados húmicos. Tienen muchos grupos carboxilo (COOH) e hidroxilo (COH), por lo que los ácidos fúlvicos son mucho más reactivos químicamente. La capacidad de intercambio de los ácidos fúlvicos es

más del doble que la de los ácidos húmicos. Esta alta capacidad de intercambio se debe al número total de grupos carboxilo (COOH) presentes. Debido al tamaño relativamente pequeño de las moléculas de ácido fúlvico, pueden entrar fácilmente en la planta, raíces, tallos y hojas. A medida que ingresan a estas partes de la planta, transportan microelementos desde la superficie de las plantas hasta los tejidos vegetales. Los ácidos fúlvicos son ingredientes clave de los fertilizantes foliares de alta calidad.

Los *humatos* son sales metálicas (minerales) de ácidos húmicos o fúlvicos. Dentro de cualquier sustancia húmica hay una gran cantidad de complejas moléculas de humatos. La formación de un humato se basa en la capacidad de los grupos carboxilo (COOH) e hidroxilo (OH) (al exterior de los polímeros) para disociar (expulsar) el ion hidrógeno. Una vez que los iones de hidrógeno se han disociados, aparece un anión cargado negativamente (COO<sup>-</sup> o -CO<sup>-</sup>). Dos de estos aniones pueden unirse a cationes metálicos positivos, como hierro (Fe<sup>++</sup>), cobre (Cu<sup>++</sup>), zinc (Zn<sup>++</sup>), calcio (Ca<sup>++</sup>), manganeso (Mg<sup>++</sup>) y magnesio (Mg<sup>++</sup>). La reacción simplificada (COO<sup>-</sup> + Fe<sup>++</sup> >> COOFe<sup>++</sup> + H) procede a unir dos aniones, frecuentemente un grupo COOH y un grupo COH. La composición en humatos de cualquier sustancia húmica es específica para esa sustancia. Así que puede existir una gran variabilidad en la composición molecular de las sustancias húmicas. Los humatos procedentes de diferentes depósitos minerales tienen sus propias características únicas.

\*\*\*\*

## CAPÍTULO 4

# LA SALUD BIOLÓGICA DEL SUELO

*" La materia radicular presente en los predios determina la cantidad de nutrientes disponibles para los millones de microorganismos del suelo, determinando así la productividad de estos incansables trabajadores. Este es el valioso capital biológico, el importante legado que la naturaleza pone generosamente a disposición de los agricultores ".*

*Karl August Möbius.  
Zoólogo y ecólogo alemán. Siglo XIX.*

#### 4.1. Recapitulación.

En los tres primeros capítulos anteriores se ha señalado cuales son las principales características físicas y químicas del suelo que se consideran como “*Indicadores de Salud*” de los terrenos agrícolas. Entre estos indicadores se han descrito: las características del suelo, la facilidad de trabajar los predios, la disponibilidad de aire (oxígeno) para las raíces, la toxicidad y niveles de salinidad, la disponibilidad de elementos nutrientes, la capacidad de retención de estos nutrientes, la Relación C/N del suelo, la presencia adecuada de sustancias húmicas, entre varios otros indicadores. La FAO ha inventariado y mapeado los indicadores de salud del suelo a escala mundial. Se pueden consultar en “*FAO Sistema armonizado mundial de Base de datos del Suelo*”.

Durante los últimos 40-45 años se ha producido una profunda renovación del concepto de *humus* gracias a un mejor conocimiento de las funciones de la biomasa microbiana, la cual que juega un papel fundamental en los procesos de mineralización, inmovilización, intercambio, absorción, reserva de nutriente y productividad del suelo.

Las principales fases del ciclo del carbono se pueden aquí recordar y resumir de una forma relativamente sencilla: las plantas asimilan el carbono presente en el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y, al morir, lo devuelven al suelo como materia orgánica, proporcionando así sustratos que son degradados por los microorganismos. Durante esta transformación, las sustancias formadas o residuales se vuelven cada vez más resistentes y constituyen la materia orgánica unida al suelo. (Ver 3.11. *Sustancias húmicas*).

Como la materia orgánica no es totalmente resistente a la degradación, en un momento dado la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo es el resultado de un equilibrio entre la formación de nuevos compuestos y de su degradación. (Fase de mineralización). El clima, las condiciones del suelo y las prácticas agrícolas orientan este equilibrio hacia el contenido de materia orgánica que es característico de cada tipo de suelo y/o de cada sistema de cultivo. (Ver en Gráfica 20 el modelo de Ciclo C-N). En las siguientes páginas se muestra la mejor forma de colaborar con la naturaleza para mantener y acrecentar la inversión en capital biológico que el productor agrícola tiene a su disposición, y de la cual podría obtener un mayor rédito económico.

GRAFICA 19

FUNCIONES DE LOS DIVERSOS 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 soprofíticos y/o que se alimentan del mantillo (detritívoros), hongos, bacterias, actinomicetos y otros microorganismos
Supresión de plagas, 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 diazotrópicas, varias especies de microorganismos rizosféricos y hormigas
Control de crecimiento de las plantas (que pueden tener positivos o negativos)	<b>Efectos directos:</b> Sistemas radiculares, rizobios, micorrizas, actinomicetos, patógenos, nemátodos fitoparásitos, insectos rizófagos, microorganismos de la rizosfera, agentes que ejercen biocontrol. <b>Efectos Indirectos:</b> la mayor parte de la biota.

Fuente: FAO. Portal de biodiversidad de los suelos

## 4.2 Agro-biocenosis y capital biológico

Uno de los primeros objetivos que se busca al tratar de incrementar la productividad de un suelo agrícola es conocer la composición de la comunidad biológica (o "biótica") que existe en el predio, así como su estructura; entendiendo ésta como el conjunto de relaciones que se establecen entre las diferentes especies entre sí y con el medio en el que viven. Existen varias maneras de caracterizar una comunidad, la más adecuada sería aquella que considerase tanto la composición de especies como el número de individuos de cada una de ellas. Sin embargo, no todas las especies tienen la misma importancia dentro de una comunidad. Se pueden identificar especies-clave o dominantes, que son aquellas sobre las que se articula la **comunidad** entera. (Cf. Karl Möbius)

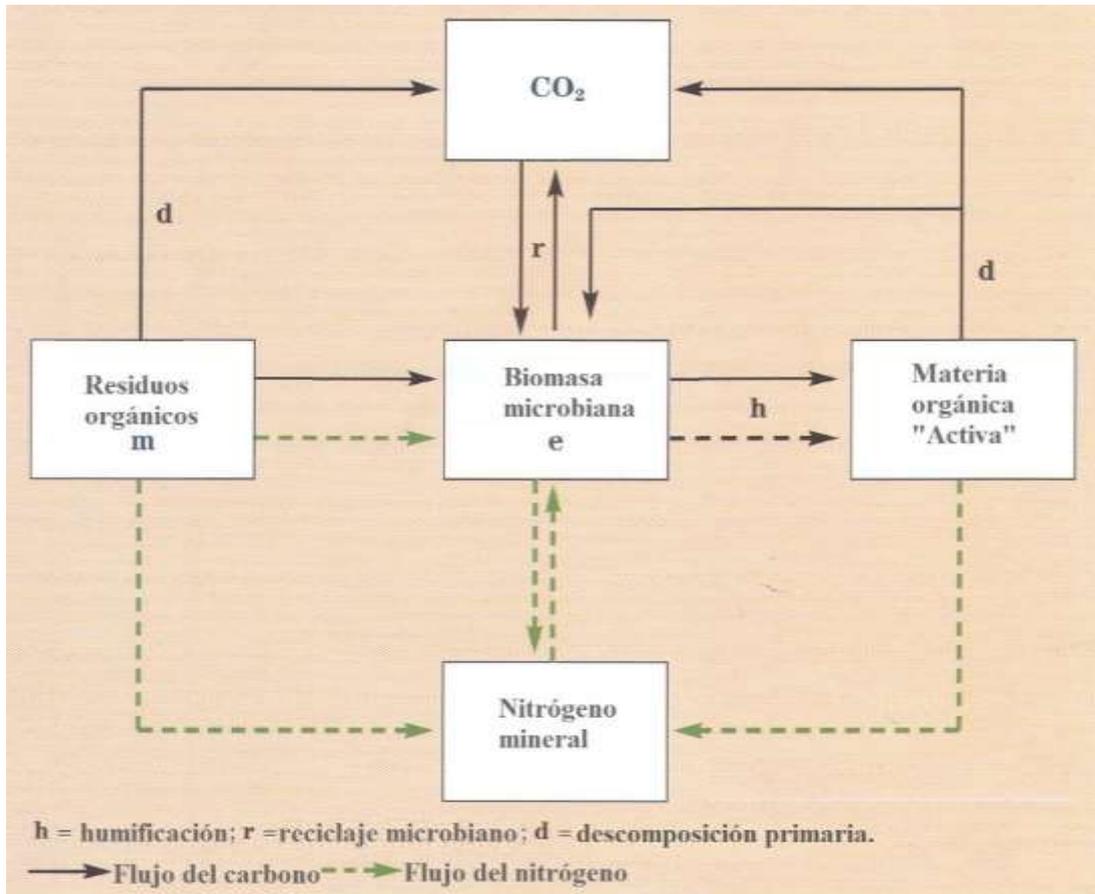
Cada especie de planta tiene un límite de tolerancia - máximo o mínimo - a cada factor de su ambiente. En las plantas la tolerancia a los venenos del suelo o del alimento puede ser muy estrecha, mientras que a las diferentes longitudes de onda del espectro que utiliza para la **fotosíntesis** es muy amplia. Los cambios de un factor más allá de los límites de tolerancia tienen como consecuencia la reducción en la productividad o la muerte de la planta; con la supervivencia de tan solo los individuos mejor adaptados; tolerantes a las condiciones alteradas o que desarrollan dicha tolerancia. La distribución de las comunidades está limitada por la suma total de influencias externas, muchas de las cuales son interdependientes.

La biodiversidad del suelo refleja la variabilidad entre los organismos vivos, incluida una mirada de organismos no visibles a simple vista, como microorganismos (por ejemplo, bacterias, hongos, protozoos y nematodos) y meso-fauna (por ejemplo, ácaros y colémbolos), así como más familiar "macrofauna" . (Por ejemplo, las

### La agro-biocenosis en ecología.

El término biocenosis fue acuñado en 1877 por el ecólogo alemán Karl Möbius, quien subrayaba así la necesidad de enfocar la atención no en el individuo sino en el conjunto de individuos, es decir, en la comunidad biológica. La biocenosis podría definirse como el conjunto de poblaciones biológicas que coexisten en un tiempo y en un espacio definido (el biotopo) el cual ofrece las condiciones ambientales indispensables para su supervivencia y desarrollo. El campo cultivado sería la agro-biocenosis que, junto con su entorno físico-químico (biotopo) forman un agro-ecosistema. (Cf. Karl Möbius)

GRAFICA 20  
 MODELO: BIOMASA MICROBIANA Y MATERIA ORGÁNICA



Fuente: Mary et Guérif, Francia Agrícola.

lombrices de tierra y termitas). Las raíces de las plantas también pueden considerarse organismos del suelo en vista de sus relaciones simbióticas e interacciones con otros componentes del suelo.

Estos diversos organismos interactúan entre sí y con las diversas plantas y animales del ecosistema formando una compleja red de actividad biológica. Los organismos del suelo contribuyen con una amplia gama de servicios esenciales a la función sostenible de todos los ecosistemas. Actúan como los principales agentes impulsores del ciclo de nutrientes, regulando la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro de carbono del suelo y la emisión de

gases de efecto invernadero , modificando la estructura física del suelo y los regímenes hídricos, mejorando la cantidad y eficiencia de la adquisición de nutrientes por la vegetación y mejorando la salud de las plantas. Estos servicios no solo son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un recurso importante para la gestión sostenible de los agro-ecosistemas.

La muy breve vida útil de los microorganismos significa que sus colonias siempre están cambiando de apariencia. Los productos de descomposición y los residuos de las colonias muertas sirven como nuevos bloques de construcción del suelo y fortalecen sus materiales aglutinantes, por lo que esta "*labranza biológica*" produce una estructura de agregados que es más o menos estable según la actividad de los organismos. Esta *labranza biológica* genera simultáneamente una estabilidad mejorada en la capa superior del suelo , la cual contribuye eficazmente a evitar los potenciales efectos dañinos del agua.

Las plantas son el primer paso hacia un buen entorno biológico. Sus raíces proporcionan nutrientes para los organismos en el suelo y, por encima del suelo, las plantas le dan sombra y protegen los procesos de maduración contra influencias que pudiesen interferir en forma negativa. A causa de esta situación de fragilidad, la creación y protección del entorno biológico más adecuado depende mucho del ciclo de vida de la población vegetal. Además, debido a la corta vida útil de los microorganismos, las condiciones nunca son estáticas, sino que están en continuo cambio mientras se acumulan y descomponen los alimentos de los microorganismos y en la superficie del suelo se mantiene una benéfica capa protectora.

Esta cooperación entre plantas superiores, microflora y microfauna se conoce como "*biocenosis*". Todos los participantes son igualmente dependientes entre sí. La cubierta vegetal proporciona el alimento para los organismos del suelo y crea las condiciones favorables del suelo necesarias para que funcionen. Los microbios y pequeños organismos en el suelo, por su parte, crean un hábitat óptimo para las raíces de las plantas. Desde un punto de vista empresarial, la agro-biocenosis representa en términos financieros el capital biológico de que dispone el emprendedor agrícola. Capital cuyos rendimientos económicos pueden incrementarse en forma significativa si es manejado en la forma adecuada.

### El buen manejo del capital biológico.

El productor agrícola debe cumplir con las siguientes tres condicionantes:

Primera:

Los agregados del suelo deben ser resistentes al agua, para que los componentes microscópicos y submicroscópicos coloidales puedan ser unidos por los microorganismos. Cuanto más grandes y voluminosos sean los agregados, más fácil será reforzarlos. Si los coloides del suelo están presentes en forma móvil, debe corregirse el suelo mediante encalado e inducir la floculación del coloide. La disolución de los coloides del suelo conduce a una ruptura de la estructura, lo que inhibe la proliferación de organismos.

Segunda.

Los organismos del suelo deben recibir suficientes nutrientes orgánicos. Estos son proporcionados por la masa de raíces del suelo, por partes de la superficie de las plantas y (muy importante) por fertilización orgánica. Si los organismos no tienen suficientes nutrientes disponibles, los resultados serán una labranza biológica deficiente y una baja calidad del suelo.

Tercera.

El clima del suelo debe estar equilibrado. El objetivo debe ser que el suelo siempre esté cubierto ya sea por vegetación o por una capa de hojarasca. Esto protege los procesos biológicos, en la capa superior del suelo, de la lluvia, la deshidratación y el arrastre por el agua. (Cf. *Karl Möbius*)

### 4.3. Densidad de enraizamiento

En una comunidad biológica (biocenosis), cada especie de planta tiene un límite de tolerancia - máximo o mínimo - a cada factor de su ambiente. En las plantas la tolerancia a los venenos del suelo o del alimento puede ser muy estrecha, mientras que a las diferentes longitudes de onda del espectro que utiliza para la **fotosíntesis** es muy amplia. Los cambios de un factor más allá de los límites de tolerancia tienen como consecuencia la reducción en la productividad o la muerte de la planta; con la supervivencia de tan solo los individuos mejor adaptados; tolerantes a las condiciones alteradas.

El núcleo de la información sobre la vida en el suelo, tal como lo descubrió Karl Möbius desde el siglo XIX, es el siguiente : el suelo y la planta forman una unidad biológica; las plantas dan y quitan del suelo. Las raíces proporcionan los nutrientes básicos a los organismos que viven en el suelo; sin las plantas , el suelo estaría desprotegido, se degradaría con facilidad. Esta verdad fundamental es difícil de reconocer cuando se estudian por separado los procesos de formación del suelo, de la nutrición de las plantas y las leyes del equilibrio de agua y aire. Si estos temas se estudian de forma aislada entre sí, es fácil que pase desapercibida la muy estrecha relación que tienen. Karl

Möbius , por ello, decidió acuñar el término "*biocenosis*" para subrayar la necesidad de estudiar las comunidades biológicas en conjunto con su ambiente físico y químico. El término, que literalmente significa 'vida en común', hace referencia a una comunidad habitada por poblaciones interdependientes de animales y plantas que viven en la misma zona, el mismo biotopo. El término se forma por la palabra bios = vida y la palabra griega 'koinosis' = el hecho de compartir. (Cf. M.Sekera. *Healthy soils, sick soils*).

El esquema general de la biocenosis se basa en el hecho de que la cantidad de materia radicular presente en el suelo determina la cantidad de nutrientes disponibles para los organismos que viven en él, determinando así la productividad de los microorganismos. Este esquema puede visualizarse como una clara ilustración de las relaciones entre los organismos vivos, la respiración del suelo, los nutrientes de las plantas y la importante presencia del humus. La ley natural que gobierna un campo agrícola es la siguiente: "*Cuanto más densas sean las raíces en el suelo, mejor será el nutriente disponible para las plantas y habrá más humus disponible*". Así de sencilla y de útil es la ley que rige el mayor o menor capital biológico del suelo.

Cualquier impedimento al desarrollo de las raíces conducirá, por tanto, a la carencia en el suelo de condiciones estructurales favorables, lo que reducirá el capital biológico disponible. La consistencia de la estructura de los agregados determina cuánto tiempo las plantas pueden disfrutar de condiciones óptimas de crecimiento. También determina si el suelo puede funcionar eficazmente como depósito de nutrientes y agua. Prácticamente no hay ningún aspecto del cultivo que no pueda considerarse desde esta perspectiva.

#### **4.4. La fatiga del suelo**

La *fatiga del suelo* es un término que por lo general se refiere a la disminución de los rendimientos de un cultivo, incluso mucho antes de que se conozcan con certeza cuales son las causas. Esta frase se emplea con cierta frecuencia haciendo referencia al agotamiento de los nutrientes en el suelo, o bien a interrupciones en el suministro de agua o, en otras ocasiones, a infecciones de plagas y reducción de los rendimientos. Si estos problemas se confirman, es posible combatirlos o remediarlos en forma rápida y eficaz. Aunque también puede suceder

que el crecimiento o florecimiento de una planta se detenga sin razón aparente. En este caso, el productor agrícola debe buscar por qué se interrumpió la productiva coexistencia de la comunidad de planta y organismos del suelo.

Como ya se ha previamente descrito, las plantas forman una comunidad biótica con los microorganismos del suelo, donde las raíces de las plantas se inmiscuyen directamente en el espacio vital de la microfauna y la microflora. Como bien lo señaló Karl Möbius, esta comunidad debe estudiarse sociológicamente en lugar de considerar a cada organismo en forma individual, ya que no son capaces de sobrevivir por separado, sino que dependen siempre de la colaboración con otras especies. (Dicho sea de paso, ocurre exactamente lo mismo con la especie humana). Desde hace casi 150 años, sabemos que las plantas forman en el suelo una organización biológica, la llamada biocenosis, con la microflora y microfauna, en la que todos los miembros aportan y reciben algo. También se sabe que es esta organización biológica la que permite que surjan suelos fértiles de la roca muerta y que incluso en los cultivos hidropónicos -lo que parece un tanto cuanto contrario a la naturaleza- las plantas coexisten con microorganismos de todo tipo.

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. La raíz está envuelta 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. Es muy probable que las plantas y los microorganismos también intercambien materiales. 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. Aunque es

inegable que una raíz sana podría hacer un mucho mejor uso del fertilizante. Se hace notar que algunos cultivos reaccionan de manera más sensible que otros a la fatiga del suelo.

Una infección es una consecuencia natural del asentamiento de un organismo con gran presencia. El hecho de que esta infección penetre en el tejido de la raíz y se propague peligrosamente desde allí, depende de la vulnerabilidad de la planta a la infección. En los predios puede ocurrir que, con cierta frecuencia se presenten condiciones favorables para los cultivos. Cada período de balance hídrico pasivo, y cada excedente de nitrógeno soluble, hace que el tejido de la raíz se cubra con aminoácidos y de productos de proteólisis (la degradación enzimática de proteínas) que sirven como una excelente fuente de carbono y de energía para los microorganismos. La planta es capaz de resistir una infección solo si se le suministra suficiente material de resistencia (antibióticos) procedente de la biocenosis en el suelo.

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 habitantes del suelo. En este caso, la planta será víctima fácil de un ataque infeccioso de los organismos del suelo.

Los productores agrícolas tienen que volver a poner en capacidad de funcionamiento la fábrica de antibióticos. Esto es posible lograrlo, a pesar incluso de un ciclo de cultivo intensivo y no diversificado, mediante el uso de cultivos intermedios y de cultivos de cobertura durante los períodos de barbecho en el ciclo del cultivo principal. Esta práctica debe – de preferencia – proporcionar al suelo mezclas de semillas en lugar de utilizar un solo tipo de semilla. Estas medidas dan al suelo al menos una comunidad biológica temporal. El objetivo es proporcionar al suelo la mayor cantidad de material orgánico, de ser posible en diversas etapas de descomposición, para restaurar así la organización de la vida en el suelo. Esto nos lleva de regreso a la formación de comunidades bióticas y vuelve a enfatizar el hecho de que tan solo este tipo de comunidad puede poner en marcha una estancada fábrica de antibióticos y remediar en esta forma la fatiga del suelo. (Ibidem. M. Sekera )

#### 4.5. El Proyecto *Liberation*

Las prácticas de gestión sostenible del suelo, como la agricultura orgánica, el cultivo sin laboreo, la rotación de cultivos y la agricultura de conservación son fundamentales para garantizar la salud de los predios y aumentar de manera sostenible la productividad agrícola. Con la adopción de un enfoque ecosistémico ( la agro biocenosis ) que tenga en cuenta los recursos de hídricos, del suelo y de los organismos vivos se busca la conservación y el fomento de la biodiversidad.

Con estos objetivos, la FAO, la Unión Europea y diversas universidades han venido financiando un proyecto de investigación denominado "*Liberación*" a través del cual se busca vincular la biodiversidad de las tierras agrícolas con los servicios de los ecosistemas, a fin de alcanzar un cada vez más eficaz impacto ecológico. La biodiversidad se relaciona con la salud de los suelos y esta se relaciona con la calidad y cantidad de los alimentos. Conservar y fomentar la biodiversidad es indispensable para mejorar la salud de los suelos y, así, garantizar un sistema alimentario productivo para mejorar los medios de vida rurales, para un medio ambiente sano y, a fin de cuentas, una alimentación saludable sin peligros de los tóxicos provenientes de los aditivos agroquímicos.

*Liberation*, es un proyecto de investigación de vanguardia en agronomía y ecología. El proyecto tiene como objetivo proporcionar la base de pruebas para la "*intensificación ecológica*". Este término se refiere a un concepto generado por investigadores de la Universidad de Nebraska en EE. UU., para definir sistemas de producción de alto rendimiento sustentables desde el punto de vista productivo, ambiental y económico. Con base en el concepto de intensificación ecológica se pretende demostrar, en los países de la Unión Europea, el efecto de la sustitución de insumos externos mediante mejores servicios en los ecosistemas agrícolas.

Dentro del proyecto *Liberation*, la FAO está a cargo de brindar divulgación y comunicación, vinculando los resultados científicos del proyecto con investigadores, formuladores de políticas y público en general. El proyecto estará posicionado para compartir métodos, desarrollar capacidades y proporcionar la base de evidencia para la gestión de la biodiversidad en las tierras agrícolas.

#### 4.6. Salud del Suelo y biodiversidad.

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos que existen en la naturaleza y uno de los hábitats más diversos de la Tierra. Contiene un sinnúmero de organismos diferentes que interactúan y contribuyen a los ciclos globales que hace posible la vida. En efecto, en ninguna otra parte de la naturaleza las especies viven tan densamente concentradas como en las comunidades de organismos del suelo: en un metro cuadrado de suelos forestales se pueden encontrar más de 1 000 especies de invertebrados. La enorme cantidad de organismos vivos presentes en el suelo está formada por bacterias, protozoarios, hongos, nematodos y artrópodos.

GRAFICA 21

<b>NÚMERO USUAL DE ORGANISMOS EN UNA PARCELA DE SUELO INALTERADO</b>	
<b>Organismo</b>	<b>Número</b>
Bacteria	200 mil millones
Protozoarios	20 millones
Hongos	100,000 metros
Nematodos	100,000
Artrópodos	50,000

Fuente: El suelo viviente. West Analítica y servicios.

Los organismos del suelo son tan 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, como lo hemos estado viendo en las páginas previas, constituyen un recurso importante para la gestión sostenible de la agro biocenosis.

Los sistemas agrícolas afectan claramente a los organismos, inclusive a sus actividades y su biodiversidad. 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). Por ejemplo, el aclareo de tierras boscosas o de pastizales para el cultivo o la utilización excesiva o incorrecta de sustancias agroquímicas afectan al entorno del suelo y reducen drásticamente el número y las especies de los organismos de suelo. La disminución del número de especies vegetales con diferentes sistemas radiculares, 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.

Los microorganismos del suelo están naturalmente activos durante ciertas épocas del año. La mayoría cuando el suelo es cálido y húmedo, como a finales de la primavera y al comienzo del verano. Si el suelo se seca durante los meses de verano, la actividad del organismo declina. Durante el otoño, si hay lluvia que humedece el suelo mientras todavía está caliente, los microorganismos pueden reanudar parcialmente su actividad. A medida que el suelo se enfría en el otoño, muchos organismos quedan inactivos. Es decir, los microorganismos estarán más disponibles en suelo tibio y húmedo, y menos disponibles en suelo frío o seco.

Los microorganismos se pueden agrupar en las siguientes tres categorías:

- Organismos que son benéficos para las plantas, directa o indirectamente;
- Organismos neutros, aquellos cuyas actividades no afectan a las plantas, y
- Organismos que son dañinos para las plantas. Los organismos dañinos a menudo se describen como *'patógenos'*, como son los hongos del suelo que causan enfermedades de marchitez. O bien, las plagas de las plantas, producidas por las larvas blancas que se alimentan de raíces.

Dentro del suelo, los organismos funcionan como parte de una red alimentaria ecológica (el más pequeño se convierte en el alimento para

el mayor) creando ciclos de nutrición a través de la biomasa del suelo. Esta red alimentaria del suelo es la base de un suelo sano y vivo. Los organismos importantes del suelo incluyen: bacterias, hongos, protozoarios y nematodos, la meso-fauna (Por ejemplo, los ácaros, y colémbolos), así como 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 los otros componentes del terreno.

Los diferentes grupos de microorganismos e invertebrados contribuyen al control biológico de plagas de los cultivos. La FAO señala que, durante miles de años, el control biológico de las plagas en los sistemas de producción del arroz se ha mantenido a través de la conservación de los enemigos naturales. Este sistema tradicional y estable de "control biológico natural" se ha trastornado en los últimos 50 años a causa de la utilización de las tecnologías de la "Revolución Verde", tales como la aplicación de multitud de insecticidas y herbicidas químicos, así como el cambio a monocultivos. (Arroz, maíz, soya etc). Después de cuatro décadas de brotes de plagas que comenzaron en el decenio de 1970 y tras haber investigado varios métodos diferentes para combatir las plagas —especialmente la lucha química y la resistencia vegetal—, los investigadores son ahora conscientes de que la mejor estrategia para combatir las plagas y evitar brotes de plagas graves en los campos de arroz es mantener el equilibrio de la fauna natural mediante la conservación de los enemigos naturales en los ecosistemas de monocultivo (como el arroz) y el medio ambiente circundante. Teniendo en cuenta que las pérdidas causadas por las plagas previas y posteriores a la cosecha pueden ser considerables, los beneficios posibles del uso de microorganismos e invertebrados como agentes de control biológico son muy amplios, pero hasta la fecha se han aprovechado solo parcialmente.

La diversidad de variedades de cultivos desempeña asimismo una importante función para reducir al mínimo el riesgo de plagas de insectos y brotes de enfermedades: si una variedad sucumbe ante el brote de una plaga, de todas formas, los agricultores pueden producir alimentos utilizando otras variedades. Sin embargo, los estudios deben investigar todavía los efectos que produce la diversidad de variedades de cultivos sobre la diversidad y abundancia de microorganismos e invertebrados en el sistema de producción de cultivos.

#### 4. 7. Micro y Macroorganismos del suelo

La biota del suelo, está definida como la fauna y flora que viven en el mismo, y en su mayoría viven la capa superficial de residuos vegetales frescos. Estos organismos constituyen la parte viva de los suelos, influyen en el desarrollo de estos. Son las plantas quienes representan mayor influencia en gran parte el desarrollo de los suelos ya que controlan la cantidad y calidad de Materia Orgánica que se agrega. Los organismos viven principalmente en esta capa de desechos (llamada "*litter*"), ya que ahí encuentran las condiciones de espacio, temperatura, humedad, ventilación y luminosidad, para satisfacer sus necesidades. En terrenos forestales, la acumulación y descomposición de la hojarasca determinan el aporte de materia orgánica al suelo e influyen en la circulación de nutrimentos. En este caso, la capa de *litter* estaría formada principalmente de hojarasca, que es muy útil para la recuperación de la foresta

La clasificación de los organismos en el suelo puede llevarse a cabo teniendo en cuenta diferentes criterios : tamaño, tiempo de permanencia y hábitat en el suelo. La clasificación por tamaño suele ser la más común. Según su tamaño, los organismos presentes en el suelo se pueden clasificar en:

- Microorganismos: organismos caracterizados por tener un tamaño inferior a 200µm.
- Meso-organismos: organismos que se encuentran en un rango de tamaño entre 200µm y 6mm.
- Macroorganismos: organismos que poseen un tamaño mayor a 6mm

Según su tiempo de residencia en el suelo, los organismos presentes en el se pueden clasificar como: *Edafóbios* ( organismos que cumplen todo su ciclo biológico en el suelo); *Edafófilos*: (organismos que prefieren vivir en el ambiente del suelo pero obligatoriamente, deben cumplir con su ciclo biológico en el suelo); *Edafóxenos*: organismos que no están adaptados para vivir en el el suelo pero no necesariamente en él).

Por ultimo los organismos se pueden clasificar según el hábitat

en el que se encuentren en el suelo: *hidrobios*: organismos que viven en el agua del suelo.(Bacterias, algas, protozoarios, nematodos); *Atmobios*: organismos que se adaptan para vivir en la atmósfera hipogea, es decir subterránea, del suelo.( Como serían los hongos, artrópodos, moluscos, vertebrados)

Los organismos de tipo micro, (tamaño inferior a 200  $\mu\text{m}$  ) presentes en el suelo, se establecen generalmente en la rizosfera (región del suelo influenciada por la raíz, con alta cantidad de carbono disponible). En este grupo están incluidos tanto la microflora como la microfauna.:

\*Microflora (vegetales): Bacterias, algas, actinomicetos, y hongos .

\*Microfauna (animales): Protozoarios, nematodos , rotíferos.

La población de microorganismos en el suelo presenta una disminución a medida que se aumenta la distancia a partir de la superficie de la raíz de la planta y la profundidad del suelo.

#### **4.8. Microflora del suelo : las bacterias.**

Bacterias: Las Bacterias influyen en la Oxidación de diferentes elementos y compuestos: Hierro (Fe), Ácido Sulfhídrico (HS), Azufre elemental(S), Mineral Pirita (FeS<sub>2</sub>) 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. La temperatura debe encontrarse entre un rango de 25°C a 35°C, para garantizar condiciones óptimas.

- pH: Al igual que la temperatura, es una condición muy estricta. El pH debe encontrarse muy cercano, o muy próximo a la neutralidad, entre 6.5 y 8.5.

De las bacterias que es muy factible encontrar en el suelo, sobresalen las *Eubacterias*, que son microorganismos que tienen células procariotas y se reproducen asexualmente. Representan un problema para la salud pública ya que se encuentran fácilmente en alimentos como carne y huevos mal cocidos. Son útiles en la preparación del vino a partir de uvas y en la fermentación de la leche para la producción del yogurt. Las eubacterias se presentan en los siguientes 11 grupos de afinidad genética:

1. *Proteobacterias*, 2. *Bacterias verdes del azufre*, 3. *Bacterias no sulfúricas*, 4. *Cianobacterias*, 5. *Planctomices/ Pirella*, 6. *Espiroquetas*, 7. *Bacterioides*. 8. *Clamidias*, 9. *Deinococcus/ Thermus* 10. *Eubacterias Gram Positivas*, y 11. *Thermotoga / Thermosifo*. De estos once grupos de afinidad genética, los cuatro más importantes en el suelo son las cianobacterias, las proteobacterias, las Eubacterias y las Arqueobacterias.

1. Las Cianobacterias : son un tipo de bacteria capaz de realizar fotosíntesis oxigénica . Que es un tipo de fotosíntesis en la que el agua es el donante primario de electrones, por lo que libera oxígeno (O<sub>2</sub>) como subproducto. En este grupo se destacan por su importancia en el suelo: *Anabaena*, *Nostoc* y *Calothrix*. La principal importancia de este tipo de bacterias es la capacidad de generar oxígeno en la actividad fotosintética, lo que hace pensar que las bacterias de este tipo fueron los organismos responsables de generar la atmósfera primitiva en el mundo. Mejoran además la calidad del suelo e incrementan el rendimiento agrícola de ciertos cultivos como el del arroz evitando la fertilización del suelo al incorporar nitrógeno atmosférico.

2. Las Proteobacterias: Son un grupo importante de bacterias ya que estas incluyen una amplia variedad de patógenos, algunas 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*, *Derxia*, entre otros.

3. Las Eubacterias Gram Positivas: 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 del suelo, por lo que son importantes en la Humificación de la materia orgánica y en la fijación del nitrógeno. Otros microorganismos de este tipo importantes en el suelo son los *Clostridium* y *Bacillus*.

4. Las Arqueobacterias: 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. Como se dijo anteriormente, 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, como el Mar Muerto. Requieren concentraciones mayores a 10% de sal, o cloruro de sodio (NaCl), para vivir, y pueden tolerar hasta 34% de NaCl. Las halófilas forman parte de un grupo de organismos conocidos como extremófilos; es decir: amantes de las condiciones extremas. No son muy importantes en el suelo.

B. Metanógenas: son anaerobias obligadas, tienen un metabolismo que puede usar el H<sub>2</sub> como fuente de energía y el CO<sub>2</sub> como fuente de carbono para su crecimiento. Se pueden encontrar en sedimentos marinos, pantanos, tracto intestinal de animales y en suelos muy profundos. Son microorganismos productores de metano (CH<sub>4</sub>). No son considerablemente importantes.

C. Termofílicas. Este tipo de organismos requieren temperaturas extremadamente altas para crecer (80°C-105°C). Ejemplos de este tipo de bacterias son los organismos vivos que se desarrollan al lado de las fumarolas o chimeneas hidrotermales en las profundidades del océano. Son 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 facultativo que respira azufre y carbono orgánico.

#### 4.9. Microflora del suelo : las algas.

Las algas son organismos eucarióticos fotoautótrofos (requieren solamente de luz, agua y dióxido de carbono para crecer), considerados por algunos como 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. Generalmente se concentran en la superficie, pueden ser encontradas en suelos, ríos lagos y en el mar.

Las algas pueden ser: *endófitas* (viven dentro de otras plantas), *epífitas* (crecen sobre las plantas), *epipélicas* (crecen en sedimentos de ríos, lagos, etc), *epilíticas* (crecen sobre superficies rocosas) y *episámmicas* (crecen sobre los granos de arena). Su importancia ecológica radica en que sirven de albergue para ciertos microorganismos, invertebrados y peces. Son importantes en el proceso de colonización del material parental, forman una capa de nutrientes sobre la roca sobre las que luego se fijan bacterias y hongos, dejando el campo abonado para la aparición de plantas superiores.

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. Esto ocurre cuando esos materiales son expuestos a las condiciones de la superficie terrestre, donde muchas rocas se vuelven inestables. Las cuatro algas más comunes en los suelos son las *Chlorophytas*, las *Chrysophytas*, las *chlorella* y las *Navículas*.

1.Las: *Chlorophytas* también llamadas algas verdes. Presentan otros pigmentos, pero estos no enmascaran el verde de la clorofila a diferencia de las algas rojas y pardas. incluye alrededor de 8.200 especies de organismos eucariotas, que en su mayoría son especies acuáticas fotosintéticas. Todas las especies contienen clorofilas *a* y *b*, almacenan  $\beta$ -caroteno y sustancias de reserva como almidón. Si bien la mayoría de las especies viven en hábitats de agua dulce y un gran número en hábitats marinos, otras especies se adaptan a una amplia

gama de entornos. Algunas especies son flageladas y tienen la ventaja de la motilidad, es tienen la habilidad de moverse espontánea e independientemente. Comúnmente se encuentran en suelos ácidos.

2.*Chrysophyta*. La división "*Chrysophyta*" incluye tres clases: las algas doradas, las algas amarillo-verdosas y las diatomeas. Son organismos unicelulares que pueden nadar libremente en ambientes de agua dulce, aunque pueden agruparse y formar estructuras filamentosas o colonias. Comunes en suelos neutros y alcalinos.

3.*Chlorella*: es un alga microscópica, género de algas verdes unicelulares del filo *Chlorophyta* de agua dulce, que existe en la Tierra. Debido a su existencia elemental y a su rápido crecimiento, la *Chlorella* contiene una gran concentración y variedad de nutrientes esenciales para la vida, principalmente proteínas, vitaminas y minerales. Lo que la convierte en la mayor fuente de clorofila que se pueda encontrar en un vegetal;

4.*Navículas*: Género de algas principalmente acuática, eucariotas, organismos fotosintéticos. Define a un grupo de algas unicelulares o una especie de diatomea (algas fosilizadas que se utilizan en forma de tierra y con distintos usos, como fertilizantes orgánicos y naturales o insecticidas ecológicos para los cultivos, entre muchos otros usos habituales), o el grupo de heteroconto muy abundante y copioso en aguas dulces y marinas, cuyo caparazón tiene una forma de navecilla, pertenece taxonómicamente al reino de los protistas.

Los Extractos de Algas. Estos productos incluyen polisacáridos como el "*laminarano*", (un polisacárido formado por unidades de glicosa que se encuentra en las algas pardas), alginatos, arragenanos 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), las betainas (aminas cuaternarias que sintetizan las plantas como respuesta adaptativa a situaciones de déficit hídrico ) y diferentes hormonas. Algunos de estos compuestos son exclusivos de su origen algal, lo que explica su interés agrícola. Junto con los demás componentes de la agro-biocenosis, forman una parte importante del capital biológico de los terrenos.

Los extractos de algas actúan sobre los suelos y sobre las plantas siendo muy eficaces como biofertilizantes para aplicación en suelo y foliar. 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. A la vez, sus compuestos poli-aniónicos ayudan a la fijación e intercambio de cationes que luego fijarán los tóxicos metales pesados. También poseen efectos positivos a través de la microflora del suelo, notoriamente las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas y antagonistas de patógenos. Sus efectos bio-estimulantes favorecen la germinación de las semillas, así como un mayor crecimiento y desarrollo de la planta debido a su acción hormonal. También hay que destacar sus efectos antiestrés al favorecer compuestos protectores como los antioxidantes y los reguladores genéticos. Por ejemplo, la aplicación en viñedos del extracto de alga marina al suelo y a la planta, aumenta el contenido de clorofila de las hojas. ( Cf. Universidad Antonio Narro. Saltillo)

Muchas de estas especies de algas marinas crecen a lo largo de las costas, por lo que su composición bioquímica depende de su localización y de las condiciones del lugar donde crecen. Por ello, su contenido en principios activos variará entre cada especie y dentro de la misma especie en función a la disponibilidad de nutrientes, luz, salinidad, profundidad, presencia de corrientes de agua dulce y, por supuesto, contaminación o contenido en metales pesados en el agua.

Las algas pardas son quizá las de mayor uso en el sector agrícola. Algunas de las algas pardas crecen siempre sumergidas en agua, no emergen en los momentos de marea baja. Dentro de este tipo podemos encontrar algas como *Laminaria digitata*, entre otras. Mientras que especies como *Fucus sp;* o *Ascophyllum nodosum* soportan periodos de inmersión y periodos donde quedan expuestas a la intemperie, siguiendo los ciclos de marea (cada 12 horas). Esta condición de desarrollo ha supuesto un fenómeno de adaptación fisiológica con consecuencias particulares en la composición bioquímica de estas algas, dado que éstas han tenido que desarrollar mecanismos de defensa frente a continuas situaciones de estrés térmico, salino e hídrico, confiriéndoles importantes propiedades para su aprovechamiento agrícola.

Las algas contienen esencialmente 4 tipos de componentes: coloides, fitohormonas, aminoácidos, nutrientes minerales, azúcares. Se intentó explicar las virtudes de las algas en base a los elementos traza; pero se ha comprobado que su contribución a las necesidades de las plantas es insignificante, en tanto que sustancias tales como el manitol y el ácido algínico (polisacárido del alga parda *Laminaria*), sí ayudan en la absorción y translocación de nutrientes gracias a sus propiedades de formar quelatos, razón por la que se agregan los productos derivados de algas a los fertilizantes foliares.

Hoy la teoría de actividad vegetal de mayor aceptación apunta a la presencia de hormonas vegetales en bajos niveles ya que se han identificado moléculas activas de dos grupos de fitohormonas, auxinas y citoquininas, en la mayoría de los productos derivados de algas. También se ha encontrado actividad de giberelinas en preparaciones de algas frescas.

#### **4.10. Microflora del suelo: 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 (estreptomocina, 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. Su número en el suelo agrícola es elevado (un millón a cien millones por gramo de tierra). Su peso medio es de una tonelada por hectárea.

Sin duda 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. Considerables cantidades de este elemento parecen estar relacionadas con formas húmicas complejas y pueden quedar sin

asimilar por las plantas superiores. 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 utilidad en el control biológico de insectos, nematodos y otros patógenos vegetales.

#### 4.11. Microflora del suelo: los hongos

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, grasas y almidones. También se conoce su gran importancia en la cadena alimenticia del suelo, especialmente para la mesofauna. En suelos agrícolas cultivados y bien aireados, los hongos representan la mayor parte de la biomasa (microorganismos) presente en este tipo de suelo. Por último, los hongos participan en la descomposición del *litter* de los suelos ácidos, así como en los procesos de humificación. (Procesos responsables de la transformación de la materia orgánica y formación del humus). 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 sus principales características:

*Botrytis (Botrytis Cinerea o Moho Gris)*: El moho gris es un hongo patógeno, capaz de atacar hasta 200 variedades de plantas (entre ellas la marihuana). Se presenta ante factores de humedad altos, ya que es

indispensable para su desarrollo, así que 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.

*Fusarium*: (*Fusarium oxysporum*) genero 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

#### 4.12. Los Hongos Micorrizas Arbusculares

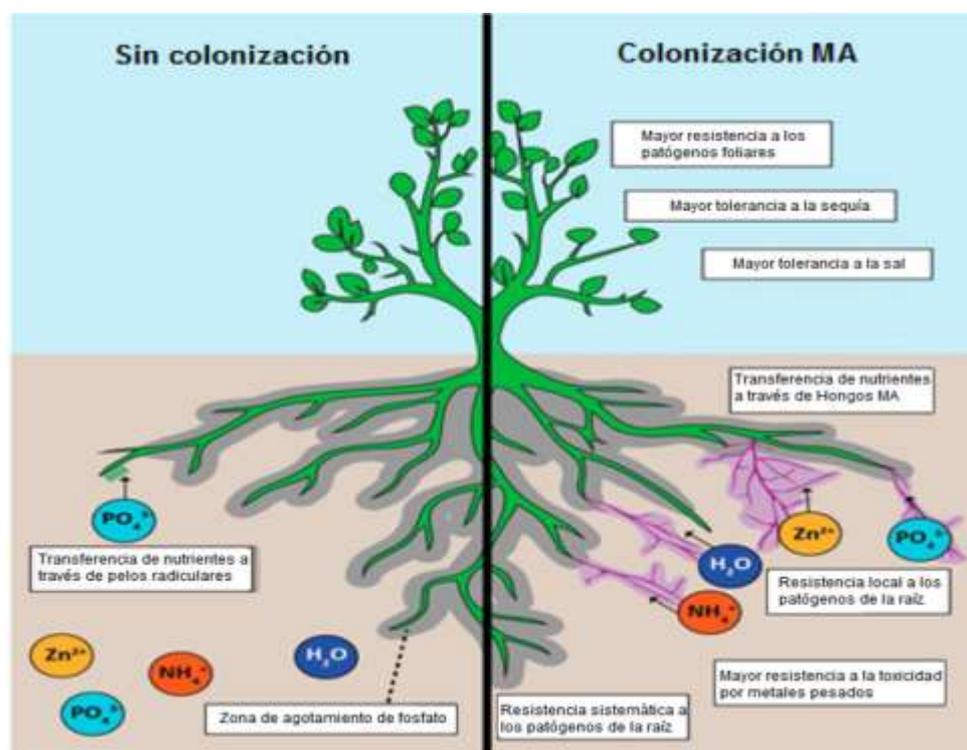
El origen etimológico del término "micorriza" proviene del griego "mykos" (hongo) y del vocablo latino "rhiza" (raíz). Se dice que las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas entre las raíces de las plantas terrestres y ciertos hongos del suelo. Su existencia se conoce desde 1885, pero fueron consideradas curiosidades excepcionales. Hoy se cree que más del 97% de especies vegetales terrestres están micorrizadas. 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, arbusculos 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 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 de micorrización 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

GRAFICA 22  
PLANTAS CON Y SIN COLONIZACIÓN DE MICORRIZAS  
ARBUSCULARES – MA



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<sup>6</sup> 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. (*Jun Wasaki*. *Ciencia del suelo y nutrición vegetal*. 2010 en línea).

Todo esto redundando en una mayor longevidad de la planta: de hecho, se ha comprobado que algunos árboles, como los pinos, pueden vivir más años que los pinos sin micorrizar. En otras especies, esta unión es tan estrecha que sin ella la planta no puede subsistir, como es el caso de las orquídeas. Las plantas cuyas semillas carecen de endosperma (que son sustancias alimenticias de reserva) dependen completamente del hongo para poder alimentarse y germinar posteriormente. La infección de la raíz por el hongo se produce a partir de propágulos presentes en el suelo. Pueden ser esporas y trozos de hifas del hongo y también raíces ya micorrizadas. Con el fin de asegurar el éxito de la empresa, la siembra de la mayoría de plantas comestibles o de decoración y las repoblaciones forestales que se llevan a cabo en la actualidad acompañan las nuevas plantas y brotes con fragmentos del hongo más adecuado para establecer asociaciones micorrízicas con cada especie que se vaya a cultivar.

La mayoría de las plantas terrestres presentan micorrizas, y lo más probable es que las restantes desciendan de plantas micorrizadas que han perdido secundariamente esta característica. En el caso de los

hongos, la mayor parte de las 5.000 especies identificadas en las micorrizas pertenece a la división *Basidiomycota*, mientras que en casos más excepcionales se observan integrantes de *Ascomycota*. La tercera división que se ha observado formando micorrizas es *Glomeromycota*, un grupo que solo se conoce en asociación micorrizógena y cuyos integrantes mueren cuando se les priva de la presencia de raíces. 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 hayas, 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 nutrimentos 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)

Las endomicorrizas (o micorrizas endotróficas): o No forman un manto fúngico ni red de Hartig en la raíz; el micelio puede ser intercelular o intracelular. Se distinguen:

♣ Micorrizas vesículo-arbusculares o 'MVA'. Que forman unas estructuras especializadas, los arbusculos, 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 arbusculos 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).

- ♣ Los hongos responsables son *glomeromicetos* (antes se incluían en zigomicetos) de la familia endogonáceos (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*).

- ♣ Micorrizas orquioideas, 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.

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

### GRAFICA 23

#### RAICES CON Y SIN MICORRIZACIÓN



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

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. (Cf. Las Micorrizas MVA. West Analítica)

### Microfauna del suelo

La microfauna se refiere 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 TNT y caucho sintético). Estos organismos suelen ser eslabones esenciales de la cadena alimentaria entre productores primarios y las especies más grandes. Por ejemplo, el zooplancton son animales microscópicos generalizadas y protistas que se alimentan de algas y detritus en el océano. Incluyen foraminifera y krill, que son la fuente primaria de alimento para incluso los animales como las ballenas. También microfauna ayudar en la digestión y otros procesos en los organismos más grandes. La microfauna incluye principalmente protozoarios, nemátodos y rotíferos . Hay autores que consideran los nematodos como parte de la mesofauna, debido a su abundancia en el suelo.

(Cf. *Microfauna. wikipedia.org*).

### 4.13. La 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.

A continuación se describen los cuatro tipos de protozoarios que más usualmente participan en la biocenosis :

**Sporozoa.** Los “*esporozoos*” son parásitos obligados de diversos grupos (protistas, animales u hongos). Viven dentro de las células de sus huéspedes (hospedadores), y pueden llegar a ser patógenos (producir enfermedades). Presentan generalmente alternancia entre fases de reproducción sexual y otras de multiplicación asexual.

**Ciliata o Ciliophora :** Filo del reino protista, son únicos entre los protozoarios, poseen dos tipos de núcleos , uno pequeño o micro-núcleo, el otro

mayor o macro núcleo; el primero con función genética, reproductora y regenerativa de las funciones del macro núcleo, éste último cumple funciones vegetativas, de nutrición, metabólica y de crecimiento.

Sarcodina: pueden ser considerados como los protozoarios más sencillos debido a que poseen relativamente pocos organitos. Los sarcodinos, también conocidos como rizópodos o clase rhizopoda, son una de las cuatro clases en las que tradicionalmente se dividía el phylum protozoarios, perteneciente al reino animal. Algunos viven en las zonas próximas a las costas.

Mastigophora: Los flagelados o mastigóforos. (Del griego mastix, látigo, y phoros, llevar) son un grupo heterogéneo de protozoos caracterizados por la presencia de uno o más flagelos largos en una o en todas las fases de su ciclo vital. Genero heterogéneo de protozoarios. Abundan en las aguas dulces y cierto número de especies están presentes en el suelo.

#### **4.14. 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. Pueden ser también parásitos, predadores y fitopatógenos. Los nematodos 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. Estos organismos se encuentran en todo tipo de suelos. 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. De esta manera, los agricultores tienen que enviar una muestra del suelo a un laboratorio especializado para que así se pueda determinar la presencia de nematodos. Desde un punto de vista técnico no resulta fácil identificar la presencia de estos gusanos en el suelo, pues los efectos que producen son similares a los provocados por las sequías, la carencia de nutrientes o el exceso de agua.

#### **4.15. La Microfauna del suelo: los rotíferos.**

Los rotíferos (*Rotifera*, del latín *rota*, "rueda" y *fera*, "los que llevan") constituyen animales pseudo celomados microscópicos (entre 0,1 y 0,5 mm) con unas 2.200 especies que habitan en aguas dulces, tierra húmeda, musgos, líquenes, hongos, e incluso en agua salada. Esta clasificación también incluye al *Acanthocephala*, el cual se clasifica actualmente en Rotifera debido a que algunos rotíferos se encuentran más emparentados con Acanthocephala que con otros rotíferos, haciendo que *Rotifera* sea un grupo monofilético.

El valor nutricional de los rotíferos está sujeto al alimento ofrecido; son considerados excelente alimento para larvas de peces marinos y algunos de agua dulce, gracias a su pequeño tamaño, constante movimiento en el agua, corto ciclo de vida para su cultivo. Los rotíferos contribuyen a conservar limpia el agua por alimentarse de detritos orgánicos y de otros organismos

#### 4.16. Meso y Macrofauna del suelo

Los principales grupos de animales pertenecientes a este grupo, son los Artrópodos, animales con un esqueleto externo endurecido que recubre todo su cuerpo y son articulados. Los principales artrópodos son: los insectos, los arácnidos, los miriápodos y los crustáceos, en los suelos se encuentran comúnmente las moscas, los cucarrones o escarabajos, las arañas, las hormigas, las termitas, los milpiés, los ciempiés, los caracoles y las babosas



Anélidos: También conocidos como lombrices de tierra. Son animales con forma de gusano (vermiforme) y de sangre fría, por lo que requiere de ambientes húmedos para regular su temperatura. Se pueden diferenciar dos tipos de anélidos según el hábitat: *epígeas* (viven en la superficie del suelo) y *endógenas* (viven en el interior del suelo). Las condiciones ambientales que facilitan el desarrollo de los anélidos son:

- Temperatura: entre 15° y 25° C.
- Humedad: indispensable para mantener su cuerpo frío, toleran la saturación del suelo pero con presencia de oxígeno.
- pH: entre 5,5 y 6,5. (Cf. Wikipedia)

### Recordatorio: Materia Orgánica y Rizobios

La materia orgánica del suelo está compuesta de una amplia variedad de sustancias orgánicas. Derivado de plantas, animales y organismos del suelo, el "grupo" de materia orgánica del suelo se puede dividir en cuatro categorías. Primero están los organismos vivos y las raíces, que constituyen menos del 5% del total del grupo. En segundo lugar, están los residuos de plantas muertas, animales y organismos del suelo que aún no han comenzado a descomponerse (<10%). El tercero es la porción que experimenta descomposición rápida (20-45%). Cuarto es la materia orgánica estabilizada (humus) que queda después de una mayor descomposición por microorganismos del suelo (50-80%).

La materia orgánica estabilizada, o *humus*, es el conjunto de materia orgánica del suelo que tiene los beneficios más duraderos para los agricultores. Después de una rápida descomposición, permanece una mezcla de compuestos orgánicos estables y complejos, que se descomponen lentamente con el tiempo (aproximadamente 3% por año). El humus es una mezcla de pequeñas partículas sólidas y compuestos solubles que son demasiado complejos químicamente para ser utilizados por la mayoría de los organismos. El humus contiene un popurrí de azúcares, gomas, resinas, proteínas, grasas, ceras y lignina. Esta mezcla juega un papel importante en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo. Como punto de aclaración, los productos comerciales en ocasiones llevan enmiendas de suelo etiquetadas como humus. Con frecuencia algunos de estos productos no cumplen con la definición de "*humus*" que hemos aquí presentado.

En el mercado nacional se pueden comprar productos destinados a introducir microorganismos en las parcelas agrícolas. Cuando la materia orgánica y el agua están disponibles, las poblaciones de microorganismos pueden aumentar rápidamente. Puede ser mejor nutrir las comunidades existentes en lugar de introducir microorganismos externos. La inoculación con rizobios generalmente no es necesaria, a menos que se esté plantando un cultivo leguminoso por primera vez. En este caso, conviene comprar el inoculante apropiado (bacteria) para la legumbre vegetal que se planta. La inoculación en los años futuros no será ya necesaria, porque los rizobios producen estructuras de supervivencia para pasar el invierno.

#### **4.17. Un ambiente favorable para su *capital biológico*.**

Un ambiente favorable para los organismos benéficos del suelo mejora la productividad de los cultivos. Algo fundamental para tener un suelo fértil y saludable que favorezca el crecimiento vegetal óptimo.

- Agregue materia orgánica al suelo. Los organismos del suelo requieren una fuente de alimento de las enmiendas del suelo (compost, residuos de los cultivos) y / o mantillo. Use mantillo orgánico: estabiliza la humedad y la temperatura del suelo, y agrega materia orgánica. Los mantillos pueden ayudar a prevenir la compactación del suelo y proteger los niveles de oxígeno del suelo que necesitan los organismos y las raíces del suelo. NOTA: El término '*mulch*' se refiere al material colocado en la superficie del suelo. Un mulch controla las malas hierbas, conserva el agua, modera la temperatura del suelo y tiene un impacto directo en la actividad de los microorganismos del suelo. La enmienda al suelo se refiere a materiales mezclados en el suelo.

- Riegue eficazmente. Los organismos del suelo requieren un ambiente húmedo (como una esponja escurrida) pero no empapado, entre 50-90 ° F. La actividad del organismo del suelo puede verse reducida debido a las condiciones de suelo seco que son comunes en el otoño y el invierno. Evite la irrigación excesiva porque los suelos inundados de agua serán dañinos para los organismos beneficiosos del suelo.

- Evite la labranza innecesaria, ya que destruirá las micorrizas y la estructura del suelo. En lugar de labrar, mantillo para controlar las malas hierbas.

- Evite las aplicaciones de pesticidas y agroquímicos. Algunos fungicidas, insecticidas y herbicidas son dañinos para varios tipos de organismos del suelo. • Evite las láminas de plástico debajo del mantillo de roca. Esta práctica desalienta la actividad de los microorganismos al reducir el movimiento del agua y el aire y prevenir la incorporación de materia orgánica.

## CAPÍTULO 5

# LAS PRUEBAS ANALÍTICAS COMO HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO.

*No hay profesión que para su exitosa práctica requiera mayor conocimiento que la agricultura, y ninguna en la que el desconocimiento real sea mayor.*

*Barón Justo von Liebig.  
Químico alemán siglo XIX.*

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

## Índice de pruebas:

1. AGUA. DIVERSAS UTILIZACIONES.
2. BIOMASA MICROBIANA EN SUELOS.
3. ANÁLISIS FOLIARES (TEJIDOS VEGETALES).
4. CAL Y YESO AGRÍCOLAS.
5. CAMPOS DE GOLF, DEPORTIVOS Y JARDINES.
6. COMPOSTAS, VERMICOMPOSTAS Y LIXIVIADOS.
7. ESTIÉRCOL Y GUANO.
8. SUELO: FERTILIDAD FÍSICO - QUÍMICA Y BIOQUÍMICA.
9. SALINIDAD Y SALES SOLUBLES.
10. FERTILIZANTES GRANULADOS, LÍQUIDOS Y MEZCLAS.
11. METALES, METALOIDES Y NO-METALES.
12. DIAGNÓSTICOS MICROBIOLÓGICOS.
13. PLAGUICIDAS. PERFILES EN VARIAS MATRICES.
14. RESTAURACIÓN AMBIENTAL.
15. SUSTRATOS PARA INVERNADERO.

## QUIENES SOMOS

*CopyLeft .*

# 1. Agua. Diversas utilizaciones.

## **1/. Agua de riego. Paquete completo A71**

Paquete de 30 parámetros. Se reportan : Na, Ca, Mg, K, NH<sub>4</sub>, Cl, Azufre, Bicarbonatos, Carbonatos, Nitratos, Fosfatos, pH, Equilibrio de la reacción, Conductividad eléctrica-CE, Sólidos Disueltos Totales-SDT, Relación Ajustada de Adsorción de Sodio (RAS a), Relación de Adsorción de Sodio-RAS, Dureza , Cu, Zn, Mn, Fe, B, Al, Mo, Fluor, (F), Dureza del agua, Aniones y Cationes, Balance iónico. .El reporte incluye gráficos y comentarios.

## **2/. Agua. Paquete microbiológico "Inocuidad"**

Se reportan 9 parámetros : Salmonella spp ; E.Coli ; Coliformes fecales ; Coliformes totales ; E. Coli Hemorrágico 0157:H7 ; Huevos de helmintos ; Shigella ; Listeria ; Staphylococcus aureus. Contáctenos para otras pruebas . ( Legionella, Streptococos, etc. )

## **3/. Agua. Paquete bacteriológico.**

Se reportan : E.Coli ; Salmonella spp ; Coliformes fecales ; Coliformes totales.

## **4/. Agua de irrigación con conteo de bacterias**

Paquete de 27 parámetros químicos más paquete bacteriológico . ( E.Coli ; Salmonella spp ; Coliformes fecales ; Coliformes totales ). Reporte con comentarios.

## **5/. Agua. Nutrientes en Solución A-73. (Lisímetro) .**

Nitrogeno-Nitrato, Nitrógeno-Amónico, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfato, Boro, Manganeso, Hierro , Cobre, Zinc. Paquete especial para muestras de chupa-tubos.

## **6/. Agua. Paquete "Aptitud ganadera "**. Indique análisis solicitados

Pruebas más usuales:

pH, Conductividad- C.E. , Sólidos Disueltos Totales ( SDT ), N-Nitrato, Calcio, Magnesio, Sodio, Cloro, Sulfato. E.Coli ; Salmonella spp ; Coliformes fecales ; Coliformes totales .

## **7/. Agua. Especial Granjas Avícolas .** Indique análisis solicitados

Pruebas más usuales:

pH, Sólidos Totales en Suspensión total (STS), Dureza, Nitrógeno-nitratos, Nitrógeno-nitritos, Calcio, Cloro, Cobre, Hierro, Plomo, Magnesio, Sodio, Sulfato, Manganeso, Zinc, E .Coli ; Salmonella spp ; Coliformes fecales ; Coliformes totales .

## **8/. Agua. Especial Estanques Piscícolas.** Indique análisis solicitados

Pruebas más usuales:

pH, calcio, magnesio, dureza del agua, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales ; turbidez. E. Coli ; Salmonella spp ; Coliformes fecales ; Coliformes totales.

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

Uso de Agua en Irrigación.  
 Salinidad y Sales solubles en suelo.

Problemas de Toxicidad en Agua de Riego. Cloro, Sodio y Boro.  
 Evaluación de la Calidad del Agua.

Reporte Completo Paquete A-71 . Ejemplo del reporte .  
 Vademecum de Eficiencia Agronómica .

## Ejemplo del Reporte de Agua:

### AGUA DE RIEGO

PÁGINA 1/3

COMPañIA :	DATOS ADICIONALES :	
------------	---------------------	--

ID de la muestra : Represa de la Hacienda Jaltitan, Ixtlahuacan del Rio

CATIONES		mg/L	meq/L	ANIONES		mg/L	meq/L
Sodio	Na <sup>+</sup>	6.21	0.27	Cloruro	Cl <sup>-</sup>	8.00	0.23
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	6.45	0.32	Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.300	0.01
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	3.61	0.30		S	0	
Potasio	K <sup>+</sup>	4.40	0.11	Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	49.3	0.81
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0	0.01	Carbonato	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0.00
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.198		Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	0.02
					NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.201	
				Fosfato	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.306	0.01
					P	0.100	
<b>SUMA DE CATIONES</b>			<b>1.01</b>	<b>SUMA DE ANIONES</b>			<b>1.08</b>
Actividad de Iones de Hidrógeno	pH		7.34	Cobre	Cu		0.005 mg/L
Equilibrio de la reacción	pHc		7.34	Zinc	Zn		0.050 mg/L
Conductividad Eléctrica	CE		0.127 dS/m	Manganeso	Mn		0.010 mg/L
Sólidos Disueltos Totales	SDT		81.3 ppm	Hierro	Fe		1.22 mg/L
Relación de Adsorción de Sodio-a	RAS-a		0.34	Boro	B		0.050 mg/L
Relación de Adsorción de Sodio	RAS		0.48	Flúor	F		0.108 mg/L
Dureza (mg/L equivalentes a CaCO <sub>3</sub> )			31.0 ppm	Aluminio	Al		2.09 mg/L
				Molibdeno	Mo		0.010 mg/L

mg/L = partes por millón de partes de agua  
 meq/L - miliequivalentes por litro  
 RAS-a = RAS Ajustado  
 1 dS/m = 1 mmho/cm  
 SDT calculado por CE \* 640

\* Interpretación de la Dureza del Agua, expresada en mg/L equivalentes a CaCO<sub>3</sub>:

Tipos de agua	mg/L
Agua blanda	<17
Agua levemente dura	<60
Agua moderadamente dura	<120
Agua dura	<180
Agua muy dura	>180

Laboratorio de microbiología.

## 2. Biomasa microbiana en suelos.

### Paquete de biomasa microbiana en suelos

Se reportan las cantidades activas de bacterias, hongos, de protozoarios y de nematodos. Estos últimos se enlistan por grupos funcionales. El reporte sirve de base para que el productor agrícola pueda crear un programa específico y detallado de salud del suelo, que proporcione las mejores condiciones para el desarrollo de su cultivo

---

### Combinaciones posibles:

#### Paquete 1.

Paquete biomasa microbiana + Análisis de Inocuidad.

#### Paquete 2.

Anterior Paquete 1 + colonización de micorrizas (VAM)

#### Paquete 3.

Anterior Paquete 1 + Paquete Fertilidad 23 parámetros

#### Paquete 4.

Anterior Paquete 1 + Físico-químico 27 parámetros.

Combinando el paquete biológico completo con los análisis de Inocuidad, se logra conocer la carga bacteriana patógena. Reuniendo éstos resultados con el análisis químico del suelo, o – mejor aún - con las características físicas y químicas del suelo, se obtiene un muy claro y conciso panorama de exactamente lo que contiene su terreno y de la mejor manera de mejorar la calidad del suelo.

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica.
- La Salud del Suelo Agrícola
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- El suelo viviente
- Viabilidad de microorganismos: su importancia
- Microorganismos patógenos
- Los hongos y su impacto
- Nemátodos en suelo
- Uso de *Trichoderma* en agricultura
- El uso de *Azospirillum* en maíz.
- El muestreo del suelo agrícola
-

## Ejemplo del Reporte Biomasa Microbiana

### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SUELO (BIOMASA MICROBIANA)

Nombre / Empresa:	Muestra: B 1	
-------------------	--------------	--

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	<b>56.00</b>	<b>350.00</b>	<b>860.00</b>	<b>4.00</b>	<b>14.00</b>	<b>2.5</b>
Comentarios	Alto	Alto	Normal	Bajo	Bajo	Ascomicetes
Rango Bajo	15	15	100	15	100	
Rango Alto	45	25	3000	25	300	

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	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>0.01</b>	
Comentario	Bajo	Normal	Normal	Bajo	<i>Se recomienda</i>
Rango Bajo	0.75	0.01	0.01	0.75	
Rango Alto	1.5	0.1	0.1	1.5	

	Protozoarios			Nematodos Totales
	Flagelados	Amibas	Ciliados	
Resultados	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>Fitobenéficos: 0.0</b> <b>Fitoparásitos: 0.0</b>
Comentarios	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Rango Bajo	10000+	10000+	50	
Rango Alto			100	

Laboratorio de Diagnósticos Foliare.

## 3. Análisis Foliar. (Tejidos Vegetales)

### 1/. Análisis Foliar. Perfil básico de Planta.

Incluye Macro y micronutrientes. Se reporta: Nitrógeno, Azufre, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio, Sodio, Boro, Zinc, Manganeseo, Hierro, Cobre, Aluminio. 10 Relaciones: N/S; N/K; P/S; P/Zn; K/Mg; K/Mn; Ca/K; Ca/Mg; Ca/B; Fe/Mn.

### 2/. Análisis Foliar. Pruebas en Pecíolo.

Nitrógeno, Azufre, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio, Sodio, Boro, Zinc, Manganeseo, Hierro, Cobre, Aluminio + **N- Nitrato**. 10 Relaciones: N/S; N/K; P/S; P/Zn; K/Mg; K/Mn; Ca/K; Ca/Mg; Ca/B; Fe/Mn. Nota: cada muestra requiere de 30 a 40 pecíolos tomados al azar.

### 3/. Análisis Foliar. Prueba de Nitratos en tallo de maíz. ("Corn stalk test")

Ver literatura: Análisis Foliar de N-Nitrato (N-NO<sub>3</sub> ppm) en tallo de maíz.

### 4/. Análisis Foliar. Cultivos sensibles al Cloro.

Perfil Básico Completo + **Cloro (Cl ppm)**. La prueba de Cloro es de relevancia específica donde se sospecha salinidad.

### 5/. Análisis Foliar. Cultivos sensibles al Molibdeno

Perfil Básico Completo + **Molibdeno. (ppm)**. La prueba de Molibdeno es de relevancia esencial para legumbres y vegetales, incluyendo *Brassica*.

### 6/. Análisis Foliar. Pruebas individuales.

**Contenidos de Cloro ( ppm), Molibdeno (ppm); y Nitratos (ppm)**

### 7/. Otros Análisis en Plantas

· **Contenido de Metales pesados en planta. ( Ver Metales, metaloides y no metales )**

· Presencia de Fito-patógenos en planta o suelo ( Ver Servicios microbiológicos )

· Presencia de Fito-benéficos en planta o suelo (Ver Servicios microbiológicos )

· Análisis de inocuidad. Cualquier matriz. ( Ver servicios microbiológicos)

· Trazas de Plaguicidas en los cultivos. Informar requerimientos individuales, o bien solicitar el paquete analítico "Multi-residuos de plaguicidas".

#### **Literatura técnica disponible por correo electrónico:**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Análisis de Tejidos vegetales.                     | <input type="checkbox"/> Maíz. Análisis foliar. Muestreo y rangos de adecuación. |
| <input type="checkbox"/> Deficiencias en Nutrición Vegetal.                 |  |
| <input type="checkbox"/> Fertilización foliar. ( Ventajas y limitaciones ). |  |

## Ejemplo del Reporte Foliar:



Comentarios:

02114) Uno o mas nutrientes están, simultáneamente, muy altos. Conviene que las verificaciones foliares sean mas frecuentes.

**Laboratorio de análisis Físico- químicos.**

## 4. Cal Agrícola y Yeso Agrícolas.

(Enmiendas, mejoradores y aditivos.)

### **Cal agrícola: Determinaciones**

<u>Código</u>	<u>Pruebas</u>
80095	Contenido de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).
80090	Ca, Mg y Valor Total de Neutralización (CaCO <sub>3</sub> ).
80240	Valor Total de Neutralización. ( Equivalente CaCO <sub>3</sub> ).
80213	Humedad de la muestra. (Estufa 105 C ).
10778	Carbonato como CaCO <sub>3</sub> . ( Análisis Cuantitativo ).
	Grado de Pureza de la Cal. (Cálculo). Sin cargo
10574	Análisis de Mallas. (Cedazos)
	30, 100, o 325 mallas. El precio se cotiza por Cedazo/Malla.
Otros análisis de elementos (Eventuales )	
	S, B, P, K, Al, Na Zn, Fe, Mn, Mg. Se cotizan a solicitud.

### **Yeso Agrícola. Análisis individuales**

<u>Código</u>	<u>Pruebas analíticas</u>
80083	Calcio total.
80440	Sulfato ( CaSO <sub>4</sub> ).
80213	Humedad. (Estufa 105 C ).
10574	Análisis de Mallas. (Cedazos)
	30, 100 o 325 mallas. Se cotiza por Cedazo/Malla
	Grado de pureza del Yeso. (Cálculo) Sin cargo
Otros análisis elementales (Eventuales ) Se cotizan a solicitud.	
	B, P, K, Al, Na Zn, Fe, Mn, Mg.

*NOTA: El yeso 100% puro es un sulfato de calcio hidratado. CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. El % de Calcio en el yeso puro es de 23.3 % ; El % de azufre en el yeso puro es de 18.6 % ; y el % de Oxígeno (sulfato) es de 37.2 El laboratorio ensaya el contenido de azufre y convierte la lectura a pureza del yeso. Porcentaje de S x 5.38 = % de yeso. Porcentaje de yeso x 0.186 = porcentaje de azufre.*

### **Enmiendas, mejoradores y aditivos.**

Cotizar a solicitud

Análisis de; Serpentina ( silicatos ), Apatita, Vermiculita, Leonardita, Piritita, Zeolitas, Diatomeas, Azufre elemental (S), entre otros.

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Encalado de suelos.
- Vademecum de Eficiencia Agronómica.
- Especificaciones de cal agrícola.
- Ejemplo de análisis de cal,
- Análisis de cal y yeso agrícola.
- Yeso y azufre como mejoradores de suelo.
- Azufre. Su aplicación en suelos alcalinos.
- Problemas de aluminio en suelos agrícolas.

• Métodos: AOAC International. Official Methods of Analysis; Fertilizer Analytical Procedures

Laboratorios de Suelos, de Microbiología y de Diagnósticos foliares.

## 5. Campos de golf, deportivos y jardines.

(Determinaciones analíticas usuales).

### 1/. Fertilidad. Paquete básico de 23 Parámetros.

1. pH del Suelo; 2. pH Tampón; 3. Materia Orgánica; 4. Nitrógeno Libre ENL; 5. Fósforo; 6. Potasio; 7. Calcio; 8. Magnesio; 9. Azufre; 10. Boro; 11. Cobre; 12. Hierro; 13. Manganeseo; 14. Sodio; 16. Capacidad Intercambio Catiónico (CIC- Meq /100 gr); 17. Saturación Catiónica de Potasio; 18. De Magnesio; 19. Calcio; 20. Sodio; 21. Hidrógeno; 22. Relación K/Mg; 23. Relación Ca/Mg

### 2/. Suelo. Paquete Físico-químico de 27 Parámetros.

Anterior paquete de 23 parámetros , agregando: 24. Conductividad Eléctrica; 25. Textura (Arcilla, Limo, Arena); 26. Densidad aparente del suelo; 27; Nitratos en suelo (N-NO<sub>3</sub>).

### 3/. Suelo. Paquete para Sistemas de Riego, 29 Parámetros.

Anterior paquete de 27 parámetros , agregando: 28. Capacidad de Campo 1/3 Bar; 29. Punto de Marchitez Permanente 15 Bar.

### Análisis Foliar. Perfil básico del césped ( "Greens")

Macro y micronutrientes. Se reporta: Nitrógeno, Azufre, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio, Sodio, Boro, Zinc, Manganeseo, Hierro, Cobre, Aluminio. 10 Relaciones: N/S; N/K; P/S; P/Zn; K /Mg; K/Mn; Ca/K; Ca/Mg; Ca/B; Fe/Mn

### 4/. Suelo. Biomasa microbiana en suelo . (Campos de golf , deportivos y jardines)

Se reportan las cantidades activas de bacterias, hongos, de protozoarios y de nematodos. Estos últimos se enlistan por grupos funcionales. El reporte sirve de base para que el asesor de campo y jardines pueda crear un programa específico y detallado de mantenimiento de los terrenos de golf , deportivos o jardines.

### 5/. Agua de riego. Paquete completo A71.

Paquete de 27 parámetros. Se reportan: Na, Ca, Mg, K, NH<sub>4</sub>, Cl, Azufre, Bicarbonatos, Carbonatos, Nitratos, Fosfatos, pH, Equilibrio de la reacción, Conductividad eléctrica-CE, Sólidos Disueltos Totales-SDT, Relación Ajustada de Adsorción de Sodio-RASa, Relación de Adsorción de Sodio-RAS, Dureza , Cu, Zn, Mn, Fe, B, Al, Mo, Fluor (F), Balance Iónico.El reporte incluye gráficos y comentarios.

### 6/. Análisis de Fitopatógenos en suelo

Hongos, Bacterias, Nematodos. Fusarium, Rhizotocnia, Verticilum, Alternaria, Rhizopus, Clavibacter, Erwinia Pseudomonas, Xanthomonas, Meloidogyne, Ditylenchus, Tylenchus, Hoplolaimus, Saprofitos, entre otros.

### 7/. Índice de Estabilidad Biológica en suelo.

Paquete de 10 microorganismos: Hongos, Actinomicetos, Estreptomicetos, Bacterias aerobias, anaerobias y fijadoras de N, Pseudomonas, Proteolíticos, Nematodos NFP y NFB

### 8/ Pruebas individuales, adicionales, a solicitud.

Aluminio Intercambiable (Al) ; Nitrógeno total (N); N- nitrato (N-NO<sub>3</sub>); N- amoniacal (N-NH<sub>4</sub>); Carbono. Walkey-Black; Sodio (Na); Materia Orgánica. (LOI Method).

**Métodos:** AOAC. International. Official Methods of Analysis

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Análisis agrícolas y de alimentos
- La Salud del Suelo Agrícola
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- Análisis de Tejidos Vegetales
- Microorganismos patógenos
- Problemas de toxicidad en agua de riego

## 6. Compostas, lombricompostas y lixiviados.

### **1/. Compostas. Perfil M5-Nutrientes en lixiviados.**

Lixiviados, Tés, Bio-sólidos, Lodos y Compostas secas . 17 parámetros. pH, C.E., N total, P, K, S, Ca, Mg, Na, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, B , humedad y materia seca en muestra.

### **2/. Composta seca o granulada. Análisis Completo.**

Se reportan 22 parámetros. pH, C.E., Ntotal, P, K, S, Ca, Mg, Na, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, B, M.O., Corg., Relación C:N ,Relación C:P, Relación C:S., Materia seca %, Humedad % .

### **3/. Composta seca o granulada. Solo Relación C/N**

Se reporta: Carbono orgánico (% Walkley Black); N total % ; Relación C / N.

### **4/. Compostas secas o líquidas. Metales Pesados.**

Se reportan 6 metales pesados : As, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni.

### **5/. Compostas secas o líquidas. Perfil Ambiental.**

Metales cuya presencia debe ser limitada o nula en productos biológicos. Se reportan 10 metales. Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Zinc.

### **6/. Compostas Paquete Bacteriológico**

Se reportan 4 parámetros. Salmonella spp; E.Coli, Coliformes fecales y totales.

### **7/. Compostas. Humificación y otros.**

Comprende: Ácidos húmicos y Fúlvicos, Densidad aparente en la muestra, Cenizas, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbonatos. Otros a solicitud

### **8/. Compostas. Análisis microbiológicos de Inocuidad.**

Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; E. Coli, ( NMP/g ) ; Coliformes fecales (NMP/g ) ; Coliformes totales ( NMP/g ) ; E. Coli hemorrágico O157:H7 ( NMP/g ) ; Huevos de Helmintos ( NMP/g ) ; Shigella, (NMP/g ) ; Listeria (NMP/g ) , Stafilococcus Áureos. Se puede analizar todo el paquete o tan solo parámetros individuales según solicitudes.

### **9/. Compostas. Residuos de Plaguicidas y herbicidas**

Contáctenos

Pruebas de 250 plaguicidas organo-nitrogenados, organo-fosforados y órgano-clorados. Incluye el insecticida y acaricida *Bifentrina*, un piretroide controlado, 2,4 5-T, 2,4-D, y Triclopyr . Y otros herbicidas ácidos de relevancia específica.

### **10/. Análisis de fitobenéficos.**

Determina principalmente lo siguiente: Nematodos: *Rhabditis sp*, *Cephalobus sp*, *Dorylaimus sp*, *Mononchus sp*, *Plectus sp*, *Aphelencus sp*, *Heterorhabditis sp*. Hongos: *Micorrizas*, *Trichoderma sp*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Actinomicetos*, *Streptomices sp*. Bacterias: *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus thuriangiensis*, *Bacillus subtilis*, *Rhizobium sp*, *Azothobacter sp*. Tamaño de la muestra: 500 gramos de suelo o de composta.

---

Nota: Contacte directamente a *Integrated Organic Services, Inc.* Tel: (045) 951-228-3386 [csmiley@integratedorganic.com](mailto:csmiley@integratedorganic.com) para certificación OMRI de materias primas y orgánicos

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Compostas y bioproductos
- La Fertilidad de los Suelos.
- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Viabilidad de microorganismos.
- Análisis agrícolas y de alimentos
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- Microorganismos patógenos

## Ejemplo del Reporte de Composta:

### ANÁLISIS DE COMPOSTA

Empresa:	Reporte N° Fecha de recepción: Fecha de entrega: Página: 1 de 1 N° de Laboratorio:
----------	--

Identificación de Muestra: "1"

PRUEBA	RESULTADO	APORTACIÓN EN KILOGRAMOS / TONELADA MÉTRICA
	EN BASE A MUESTRA SECA SIN HUMEDAD	EN BASE A MUESTRA SECA SIN HUMEDAD
Nitrógeno, N%	1.79	17.9
Fósforo, P%	0.225	5.15 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Potasio, K%	0.401	4.81 (K <sub>2</sub> O)
Azufre, S%	0.71	7.1
Magnesio, Mg%	0.146	1.46
Calcio, Ca%	0.311	3.11
Sodio, Na ppm	1200	1.2
Hierro, Fe ppm	199	0.199
Aluminio, Al ppm	81.6	0.0816
Manganeso, Mn ppm	39.5	0.0395
Cobre, Cu ppm	43.1	0.0431
Zinc, Zn ppm	175	0.175
Boro, B ppm	<40.8	<0.0408

#### PRUEBAS ADICIONALES:

PRUEBA	RESULTADO
Humedad en la Muestra, %	38.7
Materia seca en la Muestra, %	61.3
Carbono Orgánico Total, %	41.7
Materia Orgánica (Combustión), %	71.5
Relación C:N	23.2
Relación C:P*	185.3
Relación C:S*	58.7
pH	6.91
Conductividad Eléctrica, mmhos/cm	1.65

  
 Jimmy R. Ferguson  
 Analysis prepared by:  
 A&L Laboratories, Inc.

Métodos de Referencia:

RMMA Recommended Methods of Manure Analysis, Peters et al, 2002, In Press

SSSA Methods of Soil Analysis, Part 3 - Chemical Methods, 2nd Ed. Rev. Soil Science Society of America, Black, C.A et al. 1982, p. 1004-1005.

SW USEPA, SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Wastes, Physical/Chemical Methods, 3rd Ed. Current Revision.

\* Para la interpretación de los resultados de Relación C:P y Relación C:S, refiérase al documento anexo "Compostas y bioproductos", página 13 y 14. El resultado ampara solamente la muestra analizada.

Laboratorios de análisis químicos y microbiológicos.

## 7. Estiércol y guano

Materias primas orgánicas; ( Melazas, gallinaza, bio-sólidos (lodos), bagazos, rastrojo, entre otras. )

### **1/. Materias primas. Perfil M5 - Nutrientes.**

17 parámetros . Se reportan : pH, C.E., N total, P, K, S, Ca, Mg, Na, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, B, Humedad, Materia seca.

### **2/. Paquete Bacteriológico.**

Se reportan 4 parámetros. Salmonella spp; E.Coli, Coliformes fecales y totales.

### **3/. Compostas. Humificación y otros.**

Comprende: Ácidos húmicos y Fúlvicos, Densidad aparente en la muestra, Cenizas, Capacidad de Intercambio Catiónico, Carbonatos, Otros a solicitud

### **4/. Materias primas. Perfil de 6 Metales Pesados.**

Se reportan: As, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni.

### **5/. Perfil Ambiental 10 Metales .**

10 Metales cuya presencia debe ser limitada o nula en productos biológicos. Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Zinc.

### **6/. Materias minerales. Controles de calidad.**

Contenidos de metales y metaloides. Controles de Apatita (fósforo), Azufre elemental, Piritita ( Fe ), Vermiculita, Leonardita, Diatomeas, Zeolitas, Fluorita, etc.

### **7/. Pruebas microbiológicas de Inocuidad en las materias primas .**

Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; E. Coli, ( NMP/g ) ; Coliformes fecales ( NMP/g ) Coliformes totales (NMP/g ) ; E. Coli hemorrágico O157:H7 (NMP/g ) ; Huevos de Helmintos (NMP/g ) ; Shigella, (NMP/g ) ; Listeria (NMP/g ) , Legionella, (NMP/g ) , Staphylococcus Áureus, Pseudomonas fluorescens, Bacillus subtilis,, Bacillus Licheniformes, etc.

### **8/. Análisis de fitopatógenos en materias primas .**

Se reportan hongos, bacterias y nematodos dañinos. Ejemplo : Fusarium sp Rhizotocnia sp, Verticilium sp,Clavibacter, Pseudomonas,Erwinia sp, Tylenchus sp, Criconemoides sp, Meloidogyne sp, Ditylenchus sp, Saprofitos, entre otros.

### **9/. Análisis de fitobenéficos.**

**Nota:** Contacte directamente **Integrated Organic Services, Inc.** , Tel: (045) 951-228-3386 [csmiley@integratedorganic.com](mailto:csmiley@integratedorganic.com). Para la certificación OMRI de sus materias primas

Artículos técnicos. Consultar "*Información y Conocimiento*", en nuestro Portal web.

- Compostas y bioproductos
- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Análisis agrícolas y de alimentos
- Microorganismos patógenos
- La Fertilidad de los Suelos.
- Viabilidad de microorganismos.
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- La Salud del Suelo Agrícola

Laboratorios de Suelos y de Microbiología.

## 8. Suelo: Fertilidad Físico - química y Bioquímica.

### 1.Fertilidad. Paquete químico, básico, de 23 Parámetros.

1. pH del Suelo; 2. pH Tampón; 3. Materia Orgánica; 4. Nitrógeno Libre ENL; 5. Fósforo; 6. Potasio; 7. Calcio; 8. Magnesio; 9. Azufre; 10. Boro; 11. Cobre; 12. Hierro; 13. Manganeseo; 14. Sodio; 16. Capacidad Intercambio Catiónico (CIC- Meq /100 gr); 17. Saturación Catiónica de Potasio; 18. De Magnesio; 19. Calcio; 20. Sodio; 21. Hidrógeno; 22. Relación K/Mg; 23. Relación Ca/Mg

### 2.Paquete Físico y Químico. 27 Parámetros .

Al anterior paquete de 23 parámetros, se agregan: 24. N-Nitrato, 25. Conductividad **Eléctrica** 26. Textura (Arcilla%, Limo%, Arena%); Clasificación de Textura; 27. Densidad Aparente.

### 3.Paquete para Sistemas de Riego. 29 Parámetros.

Anterior paquete Físico-químico de 27 parámetros más : 28. Capacidad de Campo 1/3 Bar; 29. Punto de Marchitez Permanente 15 Bar.

### 4.Fertilidad Bioquímica con Relación C/N. 32 Parámetros.

Paquete de Riego de 29 parámetros más : 30. Nitrógeno Total; 31. Carbono Orgánico Total Walker-Black y 32. Relación C/N en suelo. (Calculada)

### 5/. Suelo. Biomasa microbiana en suelo .

Se reportan las cantidades activas de bacterias, hongos, de protozoarios y de nematodos. Estos últimos se enlistan por grupos funcionales. El reporte sirve de base para que productor agrícola pueda crear un programa específico y detallado de mantenimiento y valoración de su capital biológico . ( Ver combinaciones posibles en "2.Biomasa microbiana en suelo".

### 6.Salinidad del Suelo en Extracto de Pasta Saturada.

Este paquete reporta 17 pruebas : 1. pH; 2. Conductividad eléctrica; 3. Relación de Adsorción de Sodio ( RAS ) ; 4. Contenido de Boro ; 5. Contenido de Yeso ; 6. Grado de Efervescencia (Prueba del ácido o de Fizz); Mediciones (en Meq/L ) de : CATIONES: 7. Sodio; 8. Calcio; 9. Magnesio; 10. Potasio. ANIONES: 11. Cloruros; 12. Sulfatos; 13. Bicarbonatos; 14. Carbonatos; 15. Nitratos; 16. Fosfatos. Se muestra, además, 17. el Balance Iónico entre Cationes y Aniones. ( Muestras de suelo de 600 gramos).

### 7.Relación C/N en Suelo.

Nitrógeno total; Carbono Orgánico total Walkey-Black; Relación C/N.(Calculada)

### 8.Índice de Estabilidad Biológica en suelo.

Paquete de 10 microorganismos : Hongos, Actinomicetos, Streptomicetos, Bacterias aerobias, anaerobias y fijadoras de N, Pseudomonas, Proteolíticos, Nematodos NFP y NFB.

### 9. Análisis de humificación del suelo

Contenido de ácido húmico y fúlvico en suelo.

### 10. Pruebas individuales, adicionales, a solicitud.

Aluminio Intercambiable (Al) ; Nitrógeno total (N); N- nitrato; N- amoniacal, etc. CONTACTENOS .

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Análisis agrícolas y de alimentos
- La Salud del Suelo Agrícola y/o El Suelo viviente.
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- El muestreo de suelo agrícola.
- Microorganismos patógenos.
- Viabilidad de microorganismos

## Ejemplo del Reporte de Suelo:

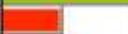
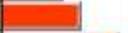
**ANÁLISIS DE SUELO**

Compañía / Empresa	Agricultor
--------------------	------------

Alt Campo ID:  
Numero Lab.

Campo ID:  
Muestra 2

Firma 

Determinaciones	Método	Resultados	CALIFICACION					Capacidad Int. catiónica
			Muy Bajo	Bajo	Medio	Optimo	Muy Alto	
pH Suelo	pH1:1	7.4						6.3 meq/100g
Indice de Encalado	SMP	6.93						Saturación Catiónica
Materia orgánica	Comb.	2.6 % ENL 93						%sat meq
Fósforo (P)	M3	4 ppm						K 4.6 0.3
Potasio (K)	M3	113 ppm						Ca 70.8 4.5
Calcio (Ca)	M3	892 ppm						Mg 21.4 1.4
Magnesio (Mg)	M3	162 ppm						H 0.0 0.0
Azufre (S-SO4)	M3	2 ppm						Na 3.0 0.2
Boro (B)	M3	0.1 ppm						K/Mg: 0.21 
Cobre (Cu)	M3	0.3 ppm						Ca/Mg: 3.31 
Hierro (Fe)	M3	31 ppm						<b>Textura</b>
Manganeso (Mn)	M3	29 ppm						%Arena %Limo %Arcilla
Zinc (Zn)	M3	0.3 ppm						54 27 19
Sodio (Na)	M3	43 ppm						Clasificación de la Textura
Conductividad	SS1:2	0.05 dS/m						Franco arenoso
Nitrógeno-Nitrato	NNO3	7 ppm						Análisis de Densidad Aparente: 1.47 g/cm3

**RECOMENDACIÓN**

Cultivo: Caña de Azúcar-Planta      Meta de Rendimiento: 120 T/Ha      Rec Unidad: KG/Ha

Yeso	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
0	216a250	119	169	0	75	2.4	5.0	7	6.0	8
Cultivo:										Rec Unidad:
Yeso	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe

## 9. Suelo. Salinidad y Sales solubles.

Este paquete reporta 17 pruebas : 1. pH; 2. Conductividad eléctrica; 3. Relación de Adsorción de Sodio ( RAS ) ; 4. Contenido de Boro ; 5. Contenido de Yeso ; 6. Grado de Efervescencia (Prueba del ácido o de Fizz); Mediciones (en Meq/L ) de : CATIONES: 7. Sodio; 8. Calcio; 9. Magnesio; 10. Potasio. ANIONES: 11. Cloruros; 12. Sulfatos; 13. Bicarbonatos; 14. Carbonatos; 15. Nitratos; 16. Fosfatos. Se muestra, además, 17. el Balance Iónico entre Cationes y Aniones. (La prueba se lleva a cabo en el extracto de Pasta saturada). Se muestran dos tipos de formatos. El segundo incluye análisis físico -químico.

### Ejemplo del Reporte de Salinidad:

RESULTADOS DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN			Efecto Sobre el Crecimiento de las Plantas				
Prueba	Resultado	Insignificante	Restringido a Cultivos Sensibles	Restringido a Muchos Cultivos	Satisfactorio Solo a Cultivos Tolerantes	Pocos Cultivos Sobreviven	
Calcio (Ca)	2.7 meq/L						
Magnesio (Mg)	13.8 meq/L						
Sodio (Na)	8.7 meq/L						
Rel. Adsorción de Sodio (RAS)	3.03						
Potasio (K)	1.0 meq/L						
Cloruro (Cl)	4.7 meq/L						
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	18.5 meq/L						
Carbonato (CO <sub>3</sub> )	0 meq/L						
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	2.7 meq/L						
Fosfato PO <sub>4</sub>	0.6 meq/L						
Nitrato NO <sub>3</sub>	0.6 meq/L						
Conductividad eléctrica	1.7 dS/m						
Boro (B)	0.045 ppm						
Contenido de yeso	248.0 ppm						

\* La estructura y la infiltración del agua en los suelos minerales pueden verse negativamente afectados cuando hay valores de RAS mayores de 6.

Prueba	Resultado	Fuertemente Ácido	Moderado Ácido	Ligeramente Ácido	Neutro	Ligeramente Alcalino	Moderado Alcalino	Fuertemente Alcalino	Grado de Efervescencia
pH	7.8								Ningún

### RESULTADOS DEL BALANCE IÓNICO

CATIONES			meq/L	ANIONES			meq/L
Sodio	Na <sup>+</sup>		8.7	Cloruro	Cl		4.7
Calcio	Ca <sup>+2</sup>		2.7	Sulfato	SO <sub>4</sub>		18.5
Magnesio	Mg <sup>+2</sup>		13.8	Bicarbonato	HCO <sub>3</sub>		2.7
Potasio	K <sup>+</sup>		1.0	Carbonato	CO <sub>3</sub>		0
				Nitrato	NO <sub>3</sub>		0.6
				Fosfato	PO <sub>4</sub>		0.6
<b>SUMA DE CATIONES</b>			<b>26.2</b>	<b>SUMA DE ANIONES</b>			<b>27.1</b>

## Ejemplo del Reporte de Salinidad más Fertilidad en Suelo.

Id de Muestra: 1792314

Predio : 456

Cultivo: Maíz

Prueba	pH	Indice de Cal	Sat%	Materia Orgánica	CIC. Cationes Intercambiables	Grado de Efervescencia	Clasificación de Salinidad
Resultado	6.7 s.u. Ligeramente Ácido	6.82	59.2	3.4 %	24.5 meq/100g	Ningún	No Salino

### RESULTADOS DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

Prueba	Resultado	Efecto Sobre el Crecimiento de las Plantas				
		Insignificante	Restringido a Cultivos Sensibles	Restringido a Muchos Cultivos	Satisfactorio Solo a Cultivos Tolerantes	Poros Cultivos Sobreviven
Relación Ca/(Mg + Na)	1.44					
Calcio (Ca)	3.1 meq/L					
Magnesio (Mg)	1.4 meq/L					
Sodio (Na)	0.8 meq/L					
Rel. Adsorción de Sodio (RAS)	0.505					
Cloro (Cl)	1.4 meq/L					
Carbonato (CO3)	0 meq/L					
Bicarbonato (HCO3)	4.11 meq/L					
Conductividad eléctrica	0.5 dS/m					
Boro (B)	0.147 ppm					

\* La estructura y la infiltración del agua en los suelos minerales pueden verse negativamente afectados cuando hay valores de RAS mayores de 6.

### NUTRIENTES EN SUELO

Prueba	Resultado	Saturación Catiónica Calculada	CALIFICACIÓN DE LA PRUEBA DE SUELO				
			Muy Bajo	Bajo	Medio	Óptimo	Muy Alto
Nitrato - N-NO3	1 ppm						
Amonio - N-NH4							
Fósforo (P)	5 ppm						
Potasio (K)	118 ppm	%K 1.2					
Potasio - ext. pasta sat.	0.1 meq/L						
Calcio (Ca)	2820 ppm	%Ca 57.6					
Magnesio (Mg)	1050 ppm	%Mg 35.7					
Sodio (Na)	57.3 ppm	%Na 1.0					
Saturación de bases - %		95.5%					
Saturación de acidez - %H		4.5					
Sulfato - ext. pasta sat.	2.4 meq/L						
Cobre (Cu)	2.3 ppm						
Zinc (Zn)	0.9 ppm						
Manganeso (Mn)	17.6 ppm						
Hierro (Fe)	14 ppm						
Boro (B) - ext. pasta sat.	0.147 ppm						

K, Ca, Mg, Na: Acetato de Amonio .

P - Olsen .

Cu, Zn, Mn, Fe : DTPA .

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Clasificación Textural	en Peso de Muestra que Pasa en Malla de 2 mm			Densidad Aparente	Densidad Real g/cc	Porosidad Total a/cc
	Arena	Limo	Arcilla			

La interpretación gráfica es una guía general. Los niveles óptimos pueden variar según el cultivo y objetivos.

## 10. Fertilizantes granulados, líquidos y mezclas.

### Código

### Pruebas analíticas

80005	<b>Paquete NP</b>	Nitrógeno total y Fósforo total (P2O5)
80010	<b>Paquete NPK</b>	N total, P total (P2O5); K total (K2O)
80015	<b>Paquete PK</b>	P total, K total (K2O)
80020	<b>Paquete NK</b>	N total, K total (K2O)
Varios	<b>Paquete fertilizantes líquidos nitrogenados (UAN)</b>	Se reporta: N-nitrato; N-amoniaco; N-ureico; N total.
Varios	<b>Nitrato de Calcio (12-0-0-23CaO-0.5MgO)</b>	
Varios	<b>Fertilizantes foliares líquidos. Compatibles o no con pesticidas.</b>	
CONTÁCTENOS		
Varios	<b>Fertilizantes orgánicos, líquidos, sólidos o en suspensión.</b>	
CONTÁCTENOS		
Varios	<b>Enraizadores. A base de NPK + S (8.24.0.2S), y diversos otros.</b>	
CONTÁCTENOS		
Varios	<b>Extractos de algas marinas. Abonos o bio-estimulantes.</b>	
CONTÁCTENOS		
Varios	<b>Paquetes de Soluciones a base de azufre.</b>	
CONTÁCTENOS		
Tiosulfato de potasio (KTS); Tiosulfato de amonio (Thio-sul); Tiosulfato de Magnesio (Mag Thio); Tiosulfato de Calcio (CaTs); Polisulfuro amonio (Nitro-sul); Polifosfato de amonio 11-37-0.		

### **Análisis Individual de Elementos:**

<u>CÓDIGO</u>	<u>PRUEBAS ANALÍTICAS</u>	<u>CÓDIGO</u>	<u>PRUEBAS ANALÍTICAS</u>
80037	Insoluble en ácido	80283	Nitrógeno insoluble en agua
80105	Cloro % ( Cl )	80337	Fósforo total. ( P2O5 total )
80198	Magnesio soluble en agua	80340	Fósforo soluble en agua ( P2O5 )
80213	Humedad muestra Estufa 100 ° C	80350	Potasio soluble ( K2O soluble )
80255	Nitrógeno Amoniacal ( N-NH3 )	80425	Gravedad Específica a 25 ° C. ( ASTM 287 )
80260	Nitrógeno Nitrato ( N-NO3 )	80439	Azufre elemental ( S )
80262	Nitrógeno orgánico ( N )	80440	S- sulfato ( S-SO4 )
80265	Nitrógeno total ( N total )	80445	Azufre total ( S total )
80270	Nitrógeno ureico	80476	Zinc soluble en agua ( Zn soluble )
80280	Nitrógeno soluble en agua		

### **Métodos utilizados:**

- AOAC International. Official Methods of Analysis ; Fertilizer Analytical Procedures – The Fertilizer Institute ; American Society for Testing Materials – ASTM ; USEPA. US Environmental Protection Agency.

Laboratorio ICP para análisis de metales.

## 11. Metales, Metaloides y no-Metales.

### 1/. Paquete 6 Metales Pesados más usuales

Arsénico (As) , Cadmio (Cd) , Cromo (Cr) , Mercurio (Hg) , Plomo (Pb) , y Níquel (Ni).

### 2/. Perfil Ambiental de 10 Metales y Metaloides

Metales de presencia limitada o nula en biológicos. Se reportan: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Zinc.

### 3/. Paquete OMRI de Metales Pesados

Se reportan tres metales pesados: Arsénico, Cadmio y Plomo.

### 4/. Análisis individuales de Elementos Metálicos

*Muestras de agua, suelo, planta, compostas, lombricompostas, guanos, efluentes lixiviados, estiércoles, minerales, productos químicos, fertilizantes, enmiendas, sustratos, etc.*

*Los 21 elementos metálicos analizados son: Aluminio, Antimonio, Bario, Berilio, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Hierro, Manganeseo, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plomo, Potasio, Sodio, Tungsteno, Vanadio y Zinc.*

### 5/. Análisis de Metaloides.

*Sólidos que no conducen electricidad ni calor. Se reportan: Arsénico (As), Boro (b) Nota: el costo de las pruebas varía según la matriz. ( Planta, agua ,algas, suelo, bioproductos, compostas, fertilizantes, guanos, enmiendas, etc ).*

### 6/. Análisis de no-Metales

*Elementos gaseosos o sólidos a temperatura ambiente. No comparten características comunes con los metales. Se reportan : Azufre (S) ; Carbono (C) ; Cloro (Cl) ; Fósforo (P) ; Nitrógeno (N) ; Oxígeno O) ; Selenio (Se) .*

*Nota: el costo de las pruebas varía según la matriz. ( Planta, agua,algas, suelo, bioproductos, compostas, fertilizantes, guanos, enmiendas, etc ).*

### 7. Otros servicios de análisis.

Pruebas de metales o metaloides. Se aplican en : Planta, Fruto, Agua, Suelo, Composta, Guanos, Sustratos, Minerales, Fertilizantes, Bio-sólidos (lodos), Enmiendas, Mejoradores de suelo bio-productos, y varias otras matrices .

**Métodos:** USEPA y AOAC. International. Official Methods of Analysis

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Análisis agrícolas y de alimentos
- El Azufre en la nutrición vegetal
- Problemas de Aluminio y Cobre en suelos
- Análisis de metales, metaloides y no-metales

Laboratorio de Microbiología.

## 12. Diagnósticos Microbiológicos.

(Pruebas en diferentes matrices).

### **1/. Paquete Simple bacteriológico.** ( 2 determinaciones )

Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; Escherichia Coli, ( NMP/g )

### **2/. Paquete Básico bacteriológico.** ( 4 determinaciones )

Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; Escherichia Coli, ( NMP/g ) ; Coliformes fecales (( NMP/g ) ; Coliformes totales( NMP/g ).

### **3/. Paquete Microbiológico.** ( 6 determinaciones )

Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; Escherichia Coli, ( NMP/g ) ; Coliformes fecales (( NMP/g ) ; Coliformes totales( NMP/g ) ; E. Coli hemorrágico O157:H7 ( NMP/g ) ; Huevos de Helmintos (NMP/g ).

### **4/. Paquete completo Inocuidad.** ( 9 determinaciones )

Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; Escherichia Coli, ( NMP/g ) ; Coliformes fecales ( NMP/g ) ; Coliformes totales( NMP/g ) ; E. Coli hemorrágico O157:H7 ( NMP/g); Huevos de Helmintos (NMP/g); Shigella,(NMP/g) Listeria ( NMP/g ) ; Staphylococcus Áureus.

### **5/. Análisis de Virosis**

Contáctenos para más información

### **6/. Análisis de Fitopatógenos**

Determina: Hongos, Bacterias y Nematodos. Fusarium, Rhizotocnia, Verticilum, Alternaria, Erwinia Rhizopus, clavibacter, Pseudomonas, Xanthomonas, Meloidogyne, Ditylenchus, Tylenchus, hoplolaimus, Saprofitos.

### **7/. Análisis de Fitobeneficos**

Determina principalmente lo siguiente: Nematodos: *Rhabditis sp*, *Cephalobus sp*, *Dorylaimus sp*, *Mononchus sp*, *Plectus sp*, *Aphelencus sp*, *Heterorhabditis sp*. Hongos: *Micorrizas*, *Trichoderma sp*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Actinomicetos*, *Streptomicetes sp*. Bacterias: *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus thuriangiensis*, *Bacillus subtilis*, *Rhizobium sp*, *Azothobacter sp*. Tamaño de la muestra: 500 gramos de suelo o de composta Hongos, Bacterias, Nemátodos. Bacterias nitrificantes; bacterias aerobias y anaerobias; Relación bacterias aerobias/bacterias anaerobias; *Bacillus sp*, *Trichoderma sp*; *Pseudomonas fluorescens*; *Aspergillus sp*; *Actinomicetos*.

### **8/. Viabilidad de microorganismos en suelo**

Paquete de 10 microorganismos: Hongos, Actinomicetos, Estreptomicetos, Bacterias aerobias, anaerobias y fijadoras de N, Pseudomonas, Proteolíticos, Nematodos NFP y NFB

**Métodos:** AOAC. International. Official Methods of Analysis

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Mejore la rentabilidad de su capital biológico
- Análisis agrícolas y de alimentos
- Las enfermedades virosas
- Nematodos en suelo
- Microorganismos patógenos
- Los hongos y su impacto en los cultivos

Laboratorio de análisis químicos.

## 13. Plaguicidas. Perfiles en varias matrices.

### 1. Perfil agrícola de Residuos múltiples

Método AOAC 2007.01 para alrededor de 300 plaguicidas que incluyen moléculas de organoclorados, organofosforados, órgano-nitrogenados, y metil-carbamatos. Se aplica también en alimentos.

### 2. Perfil en Aguas y Suelo .

Se analizan más de 160 plaguicidas utilizando 4 métodos EPA: 8141B; 8081B, 8270D, 8321B.

### 3. Perfil Frutas. Nivel de Máximo Residuo.

Diseñado para clientes de frutillas ("berries") y frutas diversas. Método AOAC 2007.01

### 4. Perfil para Certificaciones Orgánicas OMRI y otros .

Cubierto por la ISO 17025. Solicite informes

### 5. Perfil Plaguicidas Halogenados.

Para aplicación en agua, suelo y productos agrícolas Se Incluyen organoclorados y los más usuales plaguicidas halogenados

### 6. Perfil Plaguicidas Organofosforados.

Para agua, suelo y productos agrícolas

### 7. Perfil Herbicidas a base de Triazina.

Ametrina, Atrazina, Hexazinona, Symetryn , entre varios otros.

### 8. Perfil N-metil carbamatos.

Aldicarb, Carbaryl, Carbofuran, Methiocarb, entre varios otros.

### 9. Perfil Fungicidas a base de Thiocarbamatos

Mancozeb, Vapam, Ziram entre varios otros.

### 10. Perfil herbicidas de Fenilurea

Diuron, Linuron, Siduron entre varios otros

### 11. Perfil Herbicidas ácido clorados

En agua, Planta , Suelo. 2,4-D, 2,4,5-T, 2,4,5-TP, Clorpyralid, Dicamba, Picloram entre varios otros

### 12. Análisis individuales y especiales.

SOLICITE INFORMES

- Perfiles específicos por cliente · Análisis individuales en Planta, Agua y Suelo
- Controles en formulaciones de plaguicidas. Más de 250 plaguicidas organoclorados, Organofosforados, Órgano-nitrogenados y n-metil carbamatos .

#### Métodos:

- AOAC International. Official Methods of Analysis; Fertilizer Analytical Procedures ; American Society for Testing Materials – ASTM: AOAC Official Method 2007.01. (Quenchers): EPA methods 81418321B (HPLC-MS).

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Análisis agrícolas y de alimentos
- Paquete de residuos de plaguicidas en suelo y compostas.
- Plaguicidas: análisis de residuos en suelo, planta y frutos.
- Tipos de herbicidas.

Laboratorios de análisis físico-químicos y de microbiología.

## 14. Restauración ambiental.

### 1/. Agua de riego. Paquete completo A71

Paquete de 30 parámetros. Se reportan : Na, Ca, Mg, K, NH<sub>4</sub>, Cl, Azufre, Bicarbonatos, Carbonatos, Nitratos, Fosfatos, pH, Equilibrio de la reacción, Conductividad eléctrica-CE, Sólidos Disueltos Totales-SDT, Relación Ajustada de Adsorción de Sodio-RASa, Relación de Adsorción de Sodio-RAS, Dureza, Cu, Zn, Mn, Fe, B, Al, Mo, Fluor (F), Dureza, Aniones, Cationes, Balance iónico. El reporte incluye gráficos y comentarios.

### 2/. Agua. Presencia de Trihalometanos

Determinación de trihalometanos totales. NOM-201-SSAI-2015

### 3/ Agua y Suelo. Plaguicidas organoclorados. . ( Ver paquetes de plaguicidas )

Método USEPA 8081 Cromatografía gaseosa: Lindano, clordano, Hexaclorobenceno, Aldrin, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Endosulfan I,II, , Dieldrin, Endrin, 4,4-DDD , 2,4- DDT, 4,4- DDT, Metoxicloro

### 4/ Agua, Presencia de hidrocarburos aromáticos.

Método USEPA 8260B. BTEX. Benceno, Etilbenceno, Tolueno Xitexo (3 isómeros)

### 5/. Plaguicidas. Residuos en suelo, agua, planta. . ( Ver paquetes de plaguicidas )

Método AOAC 2007.01. agua, suelo, frutos.

### 6/ Suelo. Caracterización de predios con riego. S3M-29

1. pH del Suelo; 2. pH Tampón; 3. Materia Orgánica; 4. Nitrógeno Libre ENL; 5. Fósforo; 6. Potasio; 7. Calcio; 8. Magnesio; 9. Azufre; 10. Boro; 11. Cobre; 12. Hierro; 13. Manganeso; 14. Sodio; 16. Capacidad Intercambio Catiónico (CIC- Meq /100 gr); 17. Saturación Catiónica de Potasio; 18. De Magnesio; 19. Calcio; 20. Sodio; 21. Hidrógeno; 22. Relación K/Mg; 23. Relación Ca/Mg; 24. Nitratos ; 25. Conductividad Eléctrica (C.E); 26 24. Conductividad 25. Nitratos, 26. Textura (Arcilla%, Limo%, Arena%); Clasificación Textural; 27. Densidad Aparente; 28 . Capacidad de campo 1/3 bar, 29. Punto de Marchitez Permanente.

### 7/ Suelo . Biomasa microbiana; Salud del suelo. ( Ver Paquete de Biomasa )

**Métodos:** USEPA. AOAC. International. Official Methods of Analysis

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Análisis de metales pesados
- La Salud del Suelo Agrícola
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- Análisis de plaguicidas y agrotóxicos.
- Microorganismos patógenos
- Problemas de toxicidad en agua de riego
- Antropoceno. La época humana.

Laboratorios de análisis físico-químicos y de microbiología.

## 15. Sustratos para Invernadero.

(Fibra de coco, Turba, y otros).

### **1/. Sustratos. Paquete S8A . Análisis completo .**

18 parámetros . Todo tipo de sustratos . pH, C.E., N-nitrato, N-amoniacal, P, K, Mg, Mn, Ca, Na, S, Al, Fe, Cu, B, Zn, Humedad %, Materia seca %

### **2/. Sustratos : Contenidos de N,P,K.**

Se reporta: %Nitrógeno Total ( N ); % Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y % Potasio (K<sub>2</sub>O).

### **3/. Sustratos . Solo Relación (C:N)**

Se reporta: % Carbono orgánico Walkley Black ; N- total %, Relación C/N (Calculada)

### **4/. Sustratos. Perfil de 6 Metales Pesados**

Se reportan: As, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni.

### **5/. Perfil Ambiental: 10 Metales y metaloides**

Diez elementos metálicos cuya presencia debe ser limitada o nula en los productos biológicos finales. Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Zinc.

### **6/. Sustratos . Análisis individuales diversos.**

CONTACTARNOS

Cloro, %, Carbonatos Aluminio %, Sodio % Hierro % , Nitrógeno total. Nitrógeno-Nitrato, Nitrógeno-Amoniacal, Humedad de la muestra, otros.

### **7/. Sustratos. Pruebas microbiológicas de Inocuidad.**

CONTACTARNOS

Se reportan 11 determinaciones . Salmonella spp, ( NMP/4g ) ; E. Coli, (NMP/g) ; Coliformes fecales ( ( NMP/g ) ; Coliformes totales( NMP/g ) ; E. Coli hemorrágico O157:H7 ( NMP/g ) ; Huevos de Helmintos ( NMP/g ) ; Shigella, ( NMP/g ) ; Listeria ( NMP/g ) , Legionella, Enterococos, Staphylococcus Áureus.

Se pueden analizar como paquete o tan solo los parámetros que se soliciten.

### **8/. Sustratos. Residuos de Plaguicidas y herbicidas.**

CONTACTARNOS

Pruebas de 250 plaguicidas organo-nitrogenados, organo-fosforados y organo-clorados. Se incluye trazas del piretroide bifentrina. ("Capture") .2,4 5-T, 2,4-D, y Triclopir ("Garlon"). Herbicidas ácidos solicitados específicamente por el cliente. Contáctenos para otros plaguicidas de relevancia específica.

Artículos técnicos. Consultar "Información y Conocimiento", en nuestro Portal web.

- Vademecum de Eficiencia Agronómica
- Sustratos en fibra de coco.
- Análisis agrícolas y de alimentos
- La Salud del Suelo Agrícola
- Mejore el rendimiento de su capital biológico
- Microorganismos patógenos

## ¿QUIÉNES SOMOS?

Laboratorios A-L de México y West analítica y Servicios, son dos empresas mexicanas con criterios éticos orientados hacia un sistema socioeconómico más solidario, equitativo y sostenible. Coincidimos con la declaración de principios de las "Empresas de Economía Solidaria", en cuanto que consideramos que el objetivo final de nuestra actividad empresarial debe ser colaborar al bienestar de las personas. Estamos convencidos que nuestro país debe encauzarse por el camino de la solidaridad, principalmente con nuestros propios conciudadanos más desprotegidos. Para ello, participamos en diversas asociaciones ambientales, nacionales e internacionales, como Campo Limpio; *Soil Capital* (Bélgica); *Terre & Humanisme*, (Francia), Germen SA de CV., entre otras.

Nuestra misión es compartir, transmitir y promover la agroecología como la mejor alternativa ética y política al servicio de la Vida. Para ello contamos con un departamento de Información y Conocimiento (el *Notitia et Cognition* medieval) en el cual editamos y hacemos difusión de técnicas relacionadas con los servicios analíticos que prestamos; información oportuna relativa a los cultivos más usuales en el campo mexicano, y documentos sobre una amplia variedad de temas agroecológicos.

Nuestros servicios de análisis de plantas, suelo, agua, insumos y materias primas agrícolas e industriales son fundamentales tanto en el sector primario, como en la industria nacional de alimentos y bebidas. Nuestras pruebas para caracterización y bio-remediación de suelos y cuerpos acuíferos son indispensables en todos los programas de restauración ambiental. Contamos con una red internacional de alianzas científicas, técnicas y comerciales lo cual facilita la continua actualización de conocimientos. West Analítica y su subsidiaria, Laboratorios A-L de México, comparten el mismo domicilio en la ciudad de Guadalajara.

LABORATORIOS A-L DE MEXICO SA de CV

WEST ANALÍTICA Y SERVICIOS SA de CV



**CopyLeft.**

Laboratorios A-L de México y West Analítica y Servicios, fomentan el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudios personales, investigación y/o docencia, o para uso en productos o servicios varios; siempre y cuando se reconozca de forma explícita a nuestras dos empresas como la fuente original del contenido informativo y titulares de los derechos de autor.

Para mayor información sobre éstos temas , envíenos un correo a [kcalderon@allabs.com](mailto:kcalderon@allabs.com), especificando nombre, empresa , dirección , email, teléfonos e información que requiere. Le agradecemos su interés en nosotros.