

El suelo como base de los agroecosistemas sostenibles.

Juan Guillermo Restrepo Arango¹

*“La palabra utilizada para denominar la tierra, hace miles de años (nadie sabe exactamente cuántos), en el origen de las lenguas indoeuropeas, era **DHGHM**. A partir de esta palabra, que no significa más que tierra, surgió la palabra **humus**, que es el resultado del trabajo de las bacterias del suelo y para darnos una lección, de la misma raíz surgió **humilde** y **humano**”.*

Lewis Thomas (1913-1993).

Introducción

Los agroecosistemas tienen sus propias características biológicas y sociales, por lo tanto la agroecología no puede ofrecer propuestas tecnológicas en forma de “paquetes tecnológicos”. El modelo agrario propuesto debe orientarse hacia la búsqueda de una agricultura y una ganadería ecológicamente apropiadas que manejen integralmente los recursos naturales en forma sostenible, **fundamentándose en los siguientes principios generales:**

- Utilización de tecnologías agropecuarias apropiadas y apropiables para y por las comunidades.
- Aprovechamiento sostenible de los recursos naturales: vegetación – agua – suelo – fauna.
- Que sean modelos productivos económicamente viables.
- Que se valore a los seres humanos como actores importantes de la protección y la recuperación del mundo natural.
- Que se promueva la justicia y la equidad sociales, fortaleciéndose la organización comunitaria. Esto podría evitar el éxodo rural hacia las grandes ciudades.

Entre los recursos naturales sobresalen el suelo y el agua, como dos elementos críticos para el desarrollo agropecuario. De su conservación y recuperación depende el futuro de la humanidad y de la vida.

Además, para poder ofrecer propuestas tecnológicas de carácter sostenible aplicables en las diversas zonas de vida del trópico debe conocerse la historia natural y social de ellas y así poder actuar respetando los mecanismos biológicos establecidos durante millones de años.

La Agroecología debe entender y respetar los cuatro principios básicos de la sostenibilidad de los ecosistemas, los cuales deben estar presentes en las propuestas de manejo de los agroecosistemas. Estos son:

¹ Médico Veterinario. Profesor de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia E - Mail: cuti@une.net.com

- I. Los ecosistemas reciclan todos los elementos de modo que transforman todos los desechos y reponen los nutrientes.
- II. Los ecosistemas aprovechan la luz solar como fuente de energía.
- III. Los ecosistemas regulan el tamaño de las poblaciones de los consumidores, evitando el pastoreo excesivo u otros consumos exagerados.
- IV. Los ecosistemas mantienen la biodiversidad.

Los suelos en el manejo de cuencas hidrográficas.

Los mayores problemas que afrontan las cuencas hidrográficas son originados por el mal uso que los seres humanos hacen de los suelos, ya que las tecnologías agrarias empleadas en muchas regiones los dejan desnudos de las cubiertas vegetales que les protegen de la acción de la fuerza del agua, lo cual ocasiona los problemas erosivos, las colmataciones de los cuerpos de agua, los derrumbes y el empobrecimiento progresivo de la tierra laborable.

Hoy se ha entendido que para manejar adecuadamente los **suelos** se debe conservar y proteger a la **vegetación**, ya que estos son dos elementos del sistema natural **interdependientes** y si hacemos mal uso de uno de estos recursos, habrá destrucción del otro.

La subsistencia de las sociedades humanas dependerá de la conservación y el adecuado manejo que haga de los recursos naturales suelo y agua. Si aprendemos a usarlos adecuadamente, habrá prosperidad económica y bienestar en nuestros campos y ciudades, pero si por el contrario hacemos un mal uso de uno de estos recursos, repercutirá necesariamente en la destrucción del otro, al estar íntimamente relacionados.

El suelo vivo como un ecosistema.

El suelo es el fundamento de los sistemas de producción agropecuaria de las sociedades. Llama la atención que la raíz lingüística del termino “cultura” sea la palabra latina “colere” lo que quiere decir “trabajar la tierra”.

El principio que sustenta la agricultura orgánica o ecológicamente apropiada es considerar el suelo como un organismo vivo que siendo dinámico, nace, madura y muere, presentándose una transición análoga al desarrollo de un organismo o comunidad biótica. Por lo tanto el suelo no puede ser reducido a un simple soporte de plantas, así como tampoco podemos utilizar una fórmula universal para cultivarlo y fertilizarlo. Este ha sido el error cometido al aplicar en los suelos tropicales, las técnicas agrícolas utilizadas en los suelos de las regiones templadas.

Revisando los principios ecológicos que permiten explicar los ciclos de la materia y las condiciones físicas para la presencia de la vida, vemos que el aire (atmósfera), el agua (hidrosfera) y el suelo (edafosfera) son los medios que sostienen la vida.

Algunas descripciones consideran la parte más superficial del suelo como la capa superficial de la corteza terrestre en donde se desarrollan las raíces de las plantas, y por eso se le ha llamado **rizosfera**. Se ha considerado esta capa como la parte fundamental del proceso productivo agrario y de la protección de los frágiles equilibrios que existen entre el suelo, el agua y la vegetación.

Pero la edafología complementa esta definición al considerar el suelo como una delgada capa superior de la corteza terrestre, donde la *litosfera*, es decir el material mineral original, ha sido transformada sustancialmente y se mezcla con la *atmósfera*, la *hidrósfera* y la *biosfera*.

Si consideramos los ecosistemas como comunidades de organismos que viven en cierto ambiente y que son capaces de perpetuarse, veremos al suelo como una forma de ecosistema por sí mismo: sus organismos viven y establecen un entorno particular. Este ecosistema depende de los detritos.

Los suelos además de su función en la producción de alimentos cumplen otras en los ecosistemas terrestres, entre las que sobresalen las funciones de:

- Actuar como hábitat para una enorme cantidad y diversidad de organismos vegetales y animales.
- Regular los ciclos del agua y el carbono.
- Intercambiar la radiación y calor con la atmósfera.

Para iniciarse en el estudio del suelo los agricultores y los técnicos deben conocer los conceptos más frecuentemente empleados en la *edafología* (estudio del suelo considerado como un ecosistema), los cuales les permitirá comprender los fenómenos que ocurren en el ecosistema suelo.

Formación del suelo.

El **Suelo** puede definirse como una mezcla de materiales orgánicos, inorgánicos, aire y agua y fundamentalmente es el producto de la descomposición gradual física y química de las rocas, lo cual se considera uno de los primeros procesos que intervienen en la formación de los suelos.

Fuerzas físicas (mecánicas): este fenómeno es conocido como *intemperismo físico* de la corteza terrestre (por ejemplo fuerzas mecánicas tales como la acción del agua, los cambios de temperatura y la acción del viento).

Fuerzas químicas: tales como las reacciones de una sustancia con otra.

Actividades bioquímicas de los seres vivos: especialmente vegetación y microorganismos tales como las bacterias, los hongos, las plantas y los pequeños animales. Lo anterior es fundamental, ya que el desgaste de las rocas por el intemperismo es demasiado lento para sostener el crecimiento dinámico de las plantas, siendo ellas alimentadas por los nutrientes procedentes sobre todo de la descomposición y la liberación (reciclado) de nutrientes de los detritos.

EL PERFIL DEL SUELO.

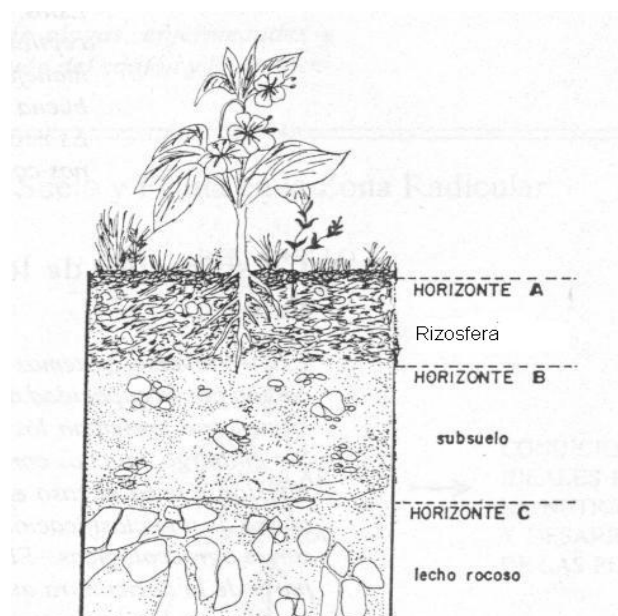
Los **horizontes** del suelo están formados por distintas capas, que ha menudo difieren de color, textura, estructura y características físicas y químicas. La secuencia de horizontes desde la superficie hacia abajo es el **perfil del suelo**.

*Entonces un suelo pasa a tener su propia individualidad, pudiéndose reconocer y diferenciar de otro, al examinar las condiciones de sus horizontes, en lo que se ha denominado **corte o perfil**.*

El horizonte superior u **horizonte A (capa superior o vegetal del suelo)** está compuesto por los cuerpos de plantas y animales reducidos a finas partículas de materia orgánica, mezcladas con arcilla, limo, arena y demás materia mineral. La fertilidad natural de todos los suelos depende, no sólo de sus minerales, sino también del **Humus** (un complejo estabilizado de materia orgánica descompuesta).

La materia orgánica y el humus protegen contra la erosión, retienen el agua y además poseen la más alta capacidad de almacenar nutrientes (CIC) de forma disponible para las plantas. Sus virtudes son prácticamente universales, pues mejorando las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, sirven para estabilizar definitivamente las correcciones tanto de los suelos ácidos como salinos, mejorar las condiciones tanto de sequía como de encharcamiento. Este horizonte, generalmente, es de color oscuro y contiene el mayor número de raíces vivas y muertas y gran cantidad de micro y mesofauna.

El clima está íntimamente ligado a la formación del suelo (pedogénesis) ya que el permite el establecimiento de la vegetación, partiendo de las formas más simples de plantas hasta las más desarrolladas que las condiciones ambientales determinen.



El segundo horizonte u **horizonte B o subsuelo** está formado por suelo mineral, en el que la materia orgánica es mineralizada (descompuesta a materia inorgánica) y mezclada de manera uniforme con materia "madre" dividida en partículas muy finas. Las sustancias solubles en el horizonte B a menudo se forman en el horizonte A y son llevadas hacia abajo

por el flujo del agua (*lixiviación*). Generalmente es más compactado que el horizonte A, siendo de coloración más clara (marrón a rojo), hay poca presencia de raíces y existe poca actividad biológica.

El tercer horizonte u **horizonte C** es la materia madre más o menos modificada, considerándose roca no consolidada y es el origen geológico del suelo. Existe una escasa presencia de raíces y ausencia de vida.

Por lo tanto la **materia madre** es el elemento geológico original que se desintegra en el lugar, lo cual forma un suelo llamado *residual* y son considerados los más antiguos que existen.

La acción combinada de las fuerzas físicas y mecánicas, origina un rompimiento progresivo y forma elementos completamente nuevos que en un principio no se encontraban en las rocas. Esto trae como consecuencia, cambios tan notables en las rocas o materiales originales, que los llevan a la constitución del suelo, entidad completamente distinta de las rocas y sedimentos geológicos que le dieron origen. En este mismo proceso de descomposición de las rocas, que se conoce con el nombre de *meteorización*, ciertos elementos minerales como el fósforo (P), el hierro (Fe), el calcio (Ca), magnesio (Mg) y manganeso (Mn) son liberados de las rocas y convertidos en formas aprovechables por las plantas.

En resumen, la meteorización de las rocas produce partículas o pedazos muy pequeños que con el tiempo se van mezclando con residuos de animales y vegetales, con el aire y con el agua, y se va formando, a través del proceso de pedogénesis, lo que conocemos como *suelo*.

COMPONENTES DE LOS SUELOS

Los componentes del suelo son sustancias sólidas, líquidas y gaseosas.

Las sustancias sólidas son de dos clases: unas son **sustancias orgánicas** y otras **sustancias inorgánicas o minerales**. Las sustancias orgánicas son las que provienen de residuos descompuestos de animales y vegetales. Las inorgánicas son las que provienen de la meteorización de las rocas.

La sustancia **líquida del suelo es el agua**, la cual es de mucha importancia porque contiene sustancias que toman las plantas para alimentarse. Recordemos que en el suelo existen un agua capilar, un agua de retención y el agua freática.

La sustancia **gaseosa del suelo es el aire**. El aire, con su concentración de oxígeno es necesario para la vida de las plantas, de los microorganismos aeróbicos y de animales muy pequeños que viven en el suelo, haciendo parte de la materia orgánica.

Los componentes de los distintos tipos de son:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Sustancias inorgánicas o material mineral. | Entre un 45 a un 50%. Promedio: 45% |
| 2. La materia orgánica del suelo. | Entre un 3 a un 7 %. Promedio: 5% |
| 3. El agua del suelo. | Entre un 20 a un 25%. Promedio: 25% |
| 4. El aire del suelo. | Entre un 20 a un 25%. Promedio: 25% |



➤ LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.

La constituyen todos los desechos o residuos de vegetales y animales: los rastrojos, las hierbas, las hojas, las ramas, los troncos, las raíces, los frutos, los desperdicios de cosechas, etc. Este componente del suelo es fundamental en la fertilidad y en las propiedades físicas del mismo.

La materia orgánica está sometida a la actividad de los microorganismos del suelo (hongos y bacterias) y además actúan la micro y la meso fauna. Todos estos seres encuentran en los tejidos vegetales alimento y energía para su desarrollo.

El carbono (C) forma el “esqueleto” de todas las sustancias orgánicas. El ciclo del carbono se interrelaciona estrechamente con los ciclos del oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y Azufre (S). Las plantas asimilan C generalmente en forma inorgánica (CO_2) y lo convierten en azúcar por medio de la fotosíntesis. Esta glucosa es luego transformada en una diversidad de compuestos orgánicos. Mediante la respiración celular de las plantas (y animales) y la descomposición de la sustancia vegetal el carbono regresa a su estado inicial de CO_2 .

Con la actividad de los microorganismos, se descompone la materia orgánica, produciendo bióxido de carbono (CO_2) y se originan una serie de sustancias simples tales como el amoníaco (NH_3) y el ión amonio (NH_4^+); también las bacterias producen nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) siendo estos últimos los más aprovechables como nutrientes por las plantas o pueden perderse fácilmente, al evaporarse o ser lavados por el agua del suelo (*lixiviación*). Este primer proceso se llama mineralización de la materia orgánica. (ver *Introducción al estudio de los ciclos biogeoquímicos*).

La materia orgánica se descompone, es decir, se pudre, se desintegra hasta convertirse en una sustancia esponjosa, liviana, de color oscuro y olor fresco, que recibe el nombre de *humus*; por otra parte, el humus es el componente principal del suelo, que le da fertilidad y vida. Todo el humus del suelo se forma de la descomposición de la materia orgánica.

El clima (humedad y temperatura) influye en la velocidad de descomposición de la materia orgánica y en la acumulación o no de humus en el suelo. En climas húmedos y calientes la descomposición es muy rápida, facilitando la volatilización y lixiviación de algunos

compuestos. En climas fríos y secos, la descomposición es más lenta y hay mayor acumulación de materia orgánica en el suelo.

En los bosques naturales, el mayor aporte de materia orgánica, se debe a la hojarasca, que al decomponerse, produce una acumulación mayor de humus en la capa más superficial del suelo. Cantidades menores de humus se hallan hacia abajo en el perfil, debidas a la descomposición de las raicillas y de los cuerpos de organismos animales.

La materia orgánica le da al suelo diferentes propiedades que ayudan al crecimiento de las plantas y por esto su cantidad es un buen indicador de su capacidad de producción.

FUNCIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA (M.O):

- Suministra compuestos orgánicos y da condiciones físicas que aumentan la actividad y población de organismos (micro y macro).
- El color negro u oscuro aumenta la capacidad de absorción de calor y el calentamiento del suelo, necesarios para la actividad biológica, fenómeno fundamental en zonas donde son frecuentes las bajas temperaturas.
- Fomenta la granulación que desarrolla estructuras del suelo favorables para la aireación y drenaje de los suelos.
- Da estabilidad a los agregados del suelo, aumenta el grado de resistencia a la erosión, a la compactación.
- Reduce la plasticidad y cohesión en los suelos arcillosos.
- Aumenta la capacidad de infiltración y retención del agua, disminuyendo lixiviación, erosión y desecamiento.
- Suministra nutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre, boro y otros elementos.
- Favorece la CIC y la capacidad tampón para regular el pH.

➤ EL AGUA Y EL AIRE DEL SUELO.

La relación aire-agua del suelo

Un suelo bueno para la agricultura, donde germinen bien las semillas y se desarrollen bien las raíces de las plantas, es necesario que tenga aire, agua y temperatura en cantidad y distribución adecuadas.

El contenido de aire y agua de un suelo depende de la cantidad y tamaño de los poros, es decir, de su *porosidad*.

El **agua** es la materia líquida contenida en el suelo, llamada también *solución del suelo*; sin ella no puede existir la vida vegetal. La cuarta parte de los componentes de un buen suelo están constituidos por agua. El agua y el aire se encuentran en el suelo en unos espacios de tamaño variable que se llaman *poros*.

El suelo fértil, productivo, es aquel que conserva la humedad conveniente de acuerdo con las necesidades de las plantas. Entre los poros, el suelo guarda el agua que facilita la nutrición

de las plantas. En el agua del suelo se encuentran disueltos los nutrientes que las plantas absorben en forma de solución o en forma líquida por medio de las raíces.

Sin el agua será imposible que una planta se alimente por más rico que sea el suelo en sustancias minerales. El agua es parte importante, también, en la savia de las plantas y el cuerpo de los animales.

El aire comparte con el agua los poros que existen entre las partículas sólidas del suelo. Existe una relación inversa, es decir, cuando el suelo se inunda el agua desplaza al aire y cuando el suelo empieza a secarse el aire desplaza al agua.

Pero, ¿para qué necesita aire el suelo? Recordemos que en el suelo viven organismos indispensables para la descomposición de la materia orgánica que necesitan oxígeno para vivir, al ser microorganismos aeróbicos. Si no encuentran oxígeno mueren y en este momento el suelo empieza a perder fertilidad, porque faltan los organismos para formar el humus.

Las raíces de las plantas y de los organismos aportan al aire del suelo anhídrido carbónico (CO_2) durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. La **respiración del suelo** es el intercambio que ocurre entre el CO_2 acumulado en el suelo y el oxígeno (O_2) atmosférico. El oxígeno que entra al suelo es utilizado por las raíces y los organismos (Microflora y micro y mesofauna. Para que ocurra este intercambio debe existir un suelo con estabilidad estructural. Cuando hay mucha cantidad de agua en el suelo, el aire desaparece, como ocurre en los terrenos inundados y las plantas que nacen allí presentan un color amarillo por falta de aire.

➤ LOS ORGANISMOS DEL SUELO.

- Bacterias, hongos y protozoos.

En el suelo existe un gran número de organismos, cuya principal acción es la de descomponer los restos vegetales que a este llegan, hasta convertirlos en materia orgánica. Fuera de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, enriquecen la biodiversidad que es una característica esencial para su fertilidad y sustentabilidad.

Según el tamaño se dividen en *microorganismos* y *macroorganismos*. Los primeros por su escaso tamaño generalmente no son vistos, sino con ayuda del microscopio. Estos seres vivientes del suelo pueden ser plantas o animales, por lo que se habla de la *microflora* y la *microfauna* del suelo.

Los organismos vegetales ocupan el primer lugar, por su gran actividad y su importancia práctica, ya que son los principales *descomponedores* del suelo y entre ellos, el primero es el grupo de las **bacterias** por su riqueza de clases y formas. Se trata de organismos pequeñísimos que alcanzan pocas milésimas de milímetro y que tienen una sola célula, son clasificados según sus características morfológicas y fisiológicas. A pesar de su pequeñez las bacterias, por su gran número, tienen la posibilidad de hacer descomposiciones de materias extraordinariamente múltiples y variadas.

Una actividad sobresaliente de los organismos del suelo es la respiración ya sea en presencia de aire o de tipo anaeróbica. Debido a esta actividad, se descomponen las materias de origen vegetal que llegan al suelo, hasta donde ellas son aptas para la

descomposición microbiana (en CO_2 , H_2O y NH_3), y los componentes minerales contenidos en las sustancias orgánicas entran de nuevo en la circulación de las materias (Ver *Introducción a los ciclos biogeoquímicos*).

En la Universidad de Wisconsin (U.S.A), se descubrió que en una cucharadita de suelo fértil se puede encontrar:

Una cucharadita de suelo fértil contiene	
Bacterias.	1.000.000.000
Actinomicetos.	20.000.000
Hongos.	1.000.000
Protozoarios.	1.000.000
Algas.	100.000
Levaduras.	1.000
Tabla Universidad de Wisconsin (USA)	

Este **proceso de la mineralización** de la materia orgánica es la fuente más importante del anhídrido carbónico que se forma en el suelo y que cubre la mayor parte de la necesidad total de CO_2 de las plantas superiores. Numerosos experimentos han dado como resultado, que la cantidad anual de CO_2 producida por la respiración microbiana es alrededor de 8.000 Kg./ha. Sin esta gran actividad de respiración de los organismos del suelo, el crecimiento de las plantas se reduciría a un mínimo, y de otro lado, se cubriría la superficie del suelo con una capa fuerte de residuos no descompuestos, que ocasionarían contaminación y probablemente enfermedades a las plantas y animales.

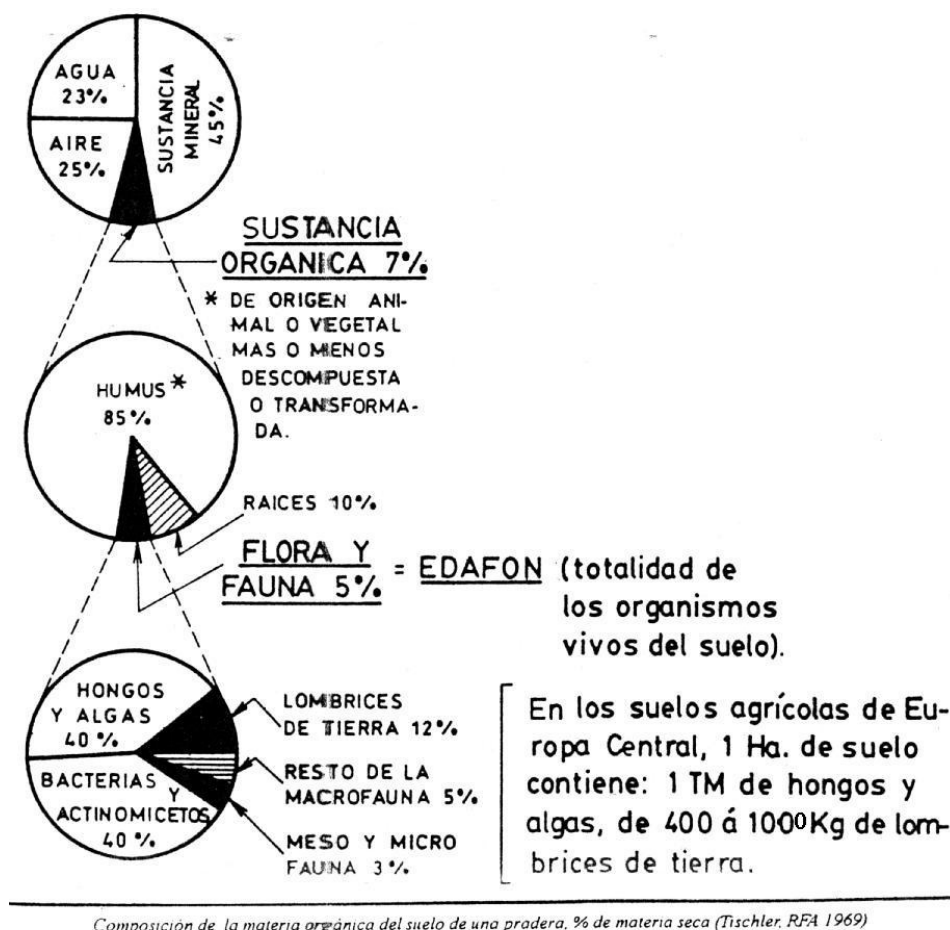
El segundo grupo importante de la microflora del suelo son los **hongos**, organismos eucariota y exclusivamente heterótrofos. Extraen energía de diversos organismos, desde bacterias y amebas, pasando por plantas superiores hasta nematodos, insectos y diversos grupos de animales. Juegan un papel importante en la descomposición de materiales ricos en Carbono (C) y pobres en nitrógeno (N). Por eso los encontramos en poblaciones numerosas en el rumen de los herbívoros. Intervienen en la formación de agregados ayudando a la estabilidad estructural del suelo. Resaltan como representantes más importantes para el suelo, los de las clases: Mucor, Penicilium y la Aspergillus los cuales son muy numerosos y penetran el suelo con su tejido de micelios, pudiendo ser visibles aun microscópicamente. Los hongos micorrizantes (*micorrizas*) ayudan a las plantas a fijar nutrientes, proceso de gran utilidad en plantaciones de árboles.

Otro grupo de organismos vegetales del suelo son las **algas eucarióticas**, pertenecientes al reino de los cromistas. Sobresalen algas azules, verdes y pardas, las cuales poseen clorofila y al igual que las cianobacterias, son fotoautótrofas. Se concentran cerca de la superficie del suelo, siendo las algas terrestres más pequeñas que las acuáticas. Como son sensibles a la falta de humedad, al secarse el suelo esta biomasa muere y se convierte en alimento para otros organismos. Se considera que son beneficiosas para estabilizar los agregados en la

superficie del suelo, permitiendo al suelo resistir el impacto de las gotas de lluvia y evitando el sellado superficial del suelo.

El grupo de los **actinomicetos**, que hoy se consideran pertenecientes a un grupo, los *Firmicutes*, de las bacterias grampositivas. Algunos de estos actinomicetos desempeñan un papel esencial en la medicina humana y veterinaria al producir antibióticos tales como la estreptomina y la terramicina. Son microorganismo aeróbicos y pueden sobrevivir con poca humedad. Participan en la descomposición de la celulosa, de la lignina, entre otros. El agradable e inconfundible “olor a tierra” que se percibe en suelos con buena cantidad de materia orgánica es causado por las excreciones de actinomicetos del género *Streptomyces*. Son muy sensibles a un manejo agrícola que provoque la compactación del suelo y a la aplicación de fertilizantes minerales químicos de síntesis, casi desapareciendo del suelo.

Dentro de la fauna del suelo ocupan el mayor número los protozoos junto con los rizópodos, los flagelados y los ciliados. Muchos desempeñan un papel fundamental en el ciclaje del N y del P. Consumen bacterias y hongos del suelo y también son saprófagos. A su vez, son consumidos por nemátodos, lombrices y artrópodos. Se debe resaltar que hacen parte de la microfauna del rumen de herbívoros.



- Meso fauna y macrofauna.

Estos son organismos eucarióticos de diversas clases (véase tabla 1). Es importante tener en cuenta que el agricultor debe proteger un equilibrio dinámico de la biodiversidad, reconociendo la importancia desempeñada por las complejas cadenas y redes tróficas presentes en el edafón.

Infortunadamente algunos sistemas agrícolas de manejo del suelo, basados en el monocultivo extremo, la alteración de su estructura, la saturación del mismo con agroquímicos y con la disminución exagerada de la materia orgánica en la rizosfera han provocado desequilibrios en la dinámica poblacional de algunas especies, convirtiéndolas en plagas de los cultivos.

Aunque todos los animales cumplen funciones específicas e importantes para la dinámica del suelo se estudiara con mayor detenimiento a los anélidos y a los colémbolos.

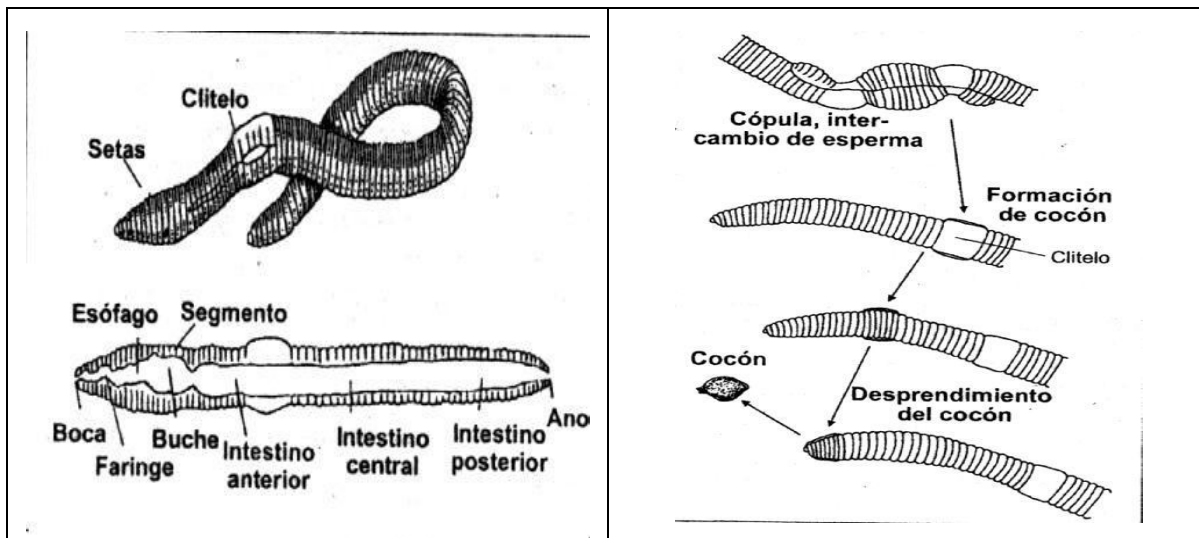
Los anélidos incluyen a las lombrices de tierra y a los enquitréidos y ambos forman parte del subclase Oligochaeta con un total de aproximadamente 7000 especies.

Las lombrices constituyen muchas veces la mayor parte de la biomasa animal de muchos suelos. En algunas regiones de Nueva Zelanda se ha determinado un peso total de lombrices de tierra, por hectárea, de hasta 2.320 kilogramos (comparar con la capacidad de carga de bovinos por hectárea).

- Nematelmíntidos: Nemátodos.
- Moluscos: Gastrópodos: Babosas y caracoles.
- Anélidos: Lombrices de tierra.
Enquitréidos.
- Artrópodos: Arácnidos: Ácaros, arañas, pseudoescorpiones.
Ciempiés.
Milpiés.
Insectos: Colémbolos, escarabajos, hormigas.

Tabla 1. Ubicación sistemática de algunos grupos de animales del suelo

Debajo de la piel, las lombrices tienen dos paquetes de músculos, uno circular y otro longitudinal. Su gran fuerza muscular les permite moverse rápido y cavar túneles aún en suelos compactados y también digerir y expulsar por medio de su tubo digestivo grandes cantidades de material orgánico, mezclado con sustancia mineral. Las lombrices son hermafroditas y los órganos masculinos se hallan en un segmento y en otro los femeninos. Generalmente los individuos intercambian espermatozoides. En el clitelo, un anillo que se observa con facilidad, se forman los cocones y en cada cocón se almacenan uno o varios huevos fecundados que luego salen del cuerpo.



En Colombia, además de las lombrices de tierra de origen europeo, que por su gran capacidad de reproducción y colonización han sido dispersadas, existe una diversidad de lombrices nativas, no estudiadas todavía, pero que habitan desde la orilla del mar hasta los Andes altos. Existen lombrices de hasta un metro de longitud.

Los beneficios de las lombrices en la salud y la productividad del suelo son múltiples y la abundancia de ellas en un terreno, ha sido utilizada como un indicador confiable para medir la fertilidad del mismo. La capacidad de estos animales para transformar la materia orgánica llama la atención ya que como ellas sólo pueden transformar entre el 0.2 al 0.6 % de energía alimenticia consumida en biomasa corporal, van repartiendo enormes cantidades de excrementos en el suelo. Una población de doce ¡12! lombrices adultas por metro cuadrado puede llegar a consumir 17 a 20 ton/hectárea/año de estiércol. El agricultor que desea proteger y aumentar la población de lombrices debe evitar invertir las capas del suelo con arados, además de protegerlo con suficiente materia orgánica, lo cual evita también la pérdida de la humedad por el viento y la insolación.

Las lombrices contribuyen en el proceso de mineralización de la materia orgánica tanto por el consumo de los desechos vegetales como también por el aumento de la población microbiana durante la digestión. Se sabe que la actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno y de las micorrizas es superior en los excrementos de las lombrices que en suelo adyacente.

El modo de vivir de todos los organismos del suelo se ajusta a las propiedades específicas del mismo. El espacio vital de vida en el suelo, es solamente posible en las cavidades que están llenas de aire o agua.

Los alimentos disponibles, las condiciones de humedad, de aeración, de temperatura y las reacciones del suelo (acidez o alcalinidad) limitan la vida y desarrollo de los organismos del suelo.

Las propiedades físicas del suelo se transforman y mejoran también por la acción de la fauna del suelo que produce un aflojamiento y una entremezcla de las capas superiores. El aflojamiento aumenta el volumen de las cavidades, mejora la aireación y la capacidad de infiltración de agua en el suelo.

La influencia de la fauna del suelo sobre el proceso de la humificación, es ante todo indirecta; los residuos orgánicos demasiado grandes se desmenuzan mecánicamente por ser mordidos y masticados, pasan al intestino de los animales y se incorporan al suelo como excrementos.

Si se observa todo el trabajo de los seres vivos del suelo, se llega a la *conclusión de que la vida del suelo y su fertilidad están estrechamente ligadas.*

¿Por qué la meso y macrofauna y los microbios del suelo se vuelven “plagas” y “enfermedades”.

El ser humano ha olvidado o desconocido los delicados equilibrios de la vida en el planeta, alterándolos. No es más que un sólo miembro del ciclo vital que rige a toda la naturaleza desde el átomo hasta las estrellas y la lucha contra la naturaleza es la lucha del ser humano contra sí mismo, ya que existe un sólo Universo.

Toda la vida sobre la tierra firme se inicia en el suelo, el cual determina la microvida (flora y fauna) y ella a su vez interviene en la formación del mismo. En un metro cuadrado de suelo de pastoreo y hasta 30 cm de profundidad (en regiones templadas) existen 619.0 gramos de animales (micro y meso).

En una cucharada de té con tierra encontramos de 100 a 200 millones de microbios. Ocupan el 0,05 del suelo y pesan aproximadamente de 1,6 t/ha a 5,7 t/ha.

Los seres vivos que están en un determinado lugar del suelo siempre son una comunidad establecida en condiciones reinantes, y nunca especímenes aislados, que están allí por casualidad.

En un suelo sano y en equilibrio dinámico hay muchas especies y cada una con pocos individuos, porque existe una gran presión interespecie. Pero en suelos degradados con modificaciones del ambiente, se modifican los equilibrios poblacionales existiendo pocas especies y muchos individuos de cada una, ya que la presión interespecie es débil.

Los seres que se transforman en plagas o patógenos no deben considerados aislados, sino pertenecientes a comunidades, las cuales pueden ser alteradas por la modificación de cualquiera de los factores del medio ambiente. Y debemos preguntarnos ¿cuál fue la condición ambiental que permitió su aparición incontrolada? Y no ¿Cómo se mata a estos organismos?

La agroecología explica la estructura y la función de los agroecosistemas (ecosistemas que han sido artificializados por la acción humana) sustentándose en los mismos principios ecológicos que rigen la dinámica de los ecosistemas naturales. Esto obliga a reconsiderar con más detalle ciertos aspectos de la estructura biótica de los ecosistemas para comprender los aciertos y errores de las prácticas utilizadas en el manejo, en la nutrición y en la sanidad de los agroecosistemas agropecuarios y descubrir la repercusión de estas sobre la salud vegetal, animal y humana.

COOPERACIÓN Y MUTUALISMO.

Durante una época posterior a la difusión de la teoría de la evolución sustentada por Charles Darwin se popularizó la concepción de que la naturaleza era el escenario de una guerra permanente entre asesinos y víctimas, sobreviviendo únicamente el más fuerte y apto. Por lo tanto la biología enfatizó únicamente en el estudio de las relaciones de competencia y depredación olvidándose de una gran cantidad de interacciones fundamentadas en el beneficio mutuo.

Fue en el año de 1902 cuando el luchador social y revolucionario ruso Pedro Kropotkin escribió un libro titulado: *Ayuda mutua: un factor de evolución*. En el se le criticaba a Darwin el haber puesto un énfasis excesivo en una selección natural basada en una "sangrienta batalla" y recopiló las muchas formas en que la supervivencia de las especies es favorecida por la ayuda, muchas veces dependiendo totalmente de esta, de un individuo a otro o de una especie a otra para beneficio mutuo.

Fritjof Capra en "La Trama de la Vida" argumenta que el reconocimiento de la simbiosis como fuerza evolutiva mayor tiene implicaciones filosóficas profundas. Todos los organismos mayores, incluyéndonos a nosotros mismos, son testimonios de que las prácticas destructivas no funcionan a la larga. Al final, los agresores acaban por destruirse a sí mismos, dando paso a otros que saben como cooperar y llevarse bien. La vida es mucho menos una lucha competitiva por la supervivencia que el triunfo de cooperación y la creatividad. Efectivamente, desde la aparición de las primeras células nucleadas, la naturaleza ha ido evolucionando por medio de una intrincada red de cooperación.

Mutualismo.

Esta forma de interacción positiva está presente en diversos tipos de asociaciones presentes en los agroecosistemas agropecuarios. En muchas de ellas la relación es tan íntima que puede llegar a resultar vital o necesaria para la supervivencia de ambas o aún de múltiples especies involucradas y por eso se simboliza como ++ / ++ para resaltar la relación obligatoria.

Así muchos pares o grupos mayores de especies viven juntas para beneficio mutuo, ninguna pudiendo vivir por sí sola. Estas relaciones no sólo benefician individuos sino que benefician al conjunto del ecosistema. Este es el caso de la relación simbiótica entre las bacterias *Rhizobium* que habitan en los nódulos especiales de las raíces de las plantas superiores conocidas como leguminosas, las cuales se beneficiarán mutuamente y además, realizan el paso del nitrógeno atmosférico hacia el depósito terrestre.

En el mutualismo generalmente participan dos especies taxonómicamente distantes, cada una de las cuales aportan funciones y sustancias vitales que la otra necesita.

La relación entre los bovinos y los microorganismos del rumen es el ejemplo de este tipo de asociación mutualista donde el bovino ofrece alojamiento a las diversas poblaciones de bacterias y protozoos, dando condiciones de temperatura, humedad, pH, asegurando la reproducción y permanencia de estos microorganismos. Las bacterias, a su vez, transforman los elementos que componen de la hierba, desdoblando la celulosa y transformándola en ácidos grasos volátiles (Acético, propiónico y butírico) los cuales entran en la circulación sanguínea del bovino y son ellos lo que suministran la energía necesaria para la realización de todas las funciones vitales del animal.

Existe otra clase de mutualismo que implica un organismo autótrofo y otro heterótrofo, conocido como la relación de las micorrizas (hongo – raíz). Estos hongos interactúan con el tejido de las raíces para formar unos “órganos” compuestos que mejoran la capacidad de una planta para extraer minerales del suelo. Delgados filamentos fungales, llamados hifas emergen del tejido combinado entre hongo y raíz y pueden extraer fósforo (P) y otros nutrientes escasos que no estarían disponibles para raíces micorrizadas.

Se conocen dos formas de micorrizas:

- ✓ Ectomicorrizas: donde el hongo forma una vaina o red alrededor de las raíces en crecimiento activo y a partir de la cual las hifas se proyectan en el suelo, muchas veces a grandes distancias. Esta asociación se aprecia especialmente en plantas coníferas y otros tipos de árboles.
- ✓ Micorrizas vesiculares – arbusculares: ellas penetran el tejido de la raíz formando estructuras parecidas a vesículas (de ahí su nombre). Las hifas se extienden por el suelo como en el caso de las ectomicorrizas. Este tipo de micorrizas coloniza casi todos los géneros de plantas - con sólo pocas excepciones – herbáceas, casi todas las plantas cultivadas por el ser humano, arbustos y árboles en todas las zonas de vida.

“El eterno movimiento que lleva a las sustancias orgánicas de la vida a la muerte, de ahí a los microbios y finalmente a constituir moléculas químicas simples que son convertidas de nuevo en vida vegetal y animal, es la manifestación física del mito del eterno retorno. . Nada se origina si no es gracias a la muerte de otra cosa y la naturaleza permanecerá siempre joven e indemne a pesar de la incansable intervención de la muerte. . Y que todas las formas de vida no son sino aspectos transitorios de una misma sustancia permanente. . .”

✓

René Dubos. *Un Dios Interior*.

ESTRUCTURA DEL SUELO.

Los componentes del suelo (minerales, sustancias orgánicas, agua, aire) se organizan en una variedad de formas estructurales denominados agregados, los cuales son unidades que dependen de la actividad *bioquímica* del suelo y del clima. La forma como estos elementos se unen y ordenan para formar un terrón se llama *estructura*.

La textura y la estructura son las características físicas más importantes, pues influyen sobre otras características de los suelos, tales como el movimiento (permeabilidad) del agua, del aire, y el crecimiento de las raíces a través del suelo. La estructura unida a la textura determina si el movimiento del agua ha de ser lento, moderado, rápido o muy rápido. Esto es igualmente válido para el movimiento del aire.

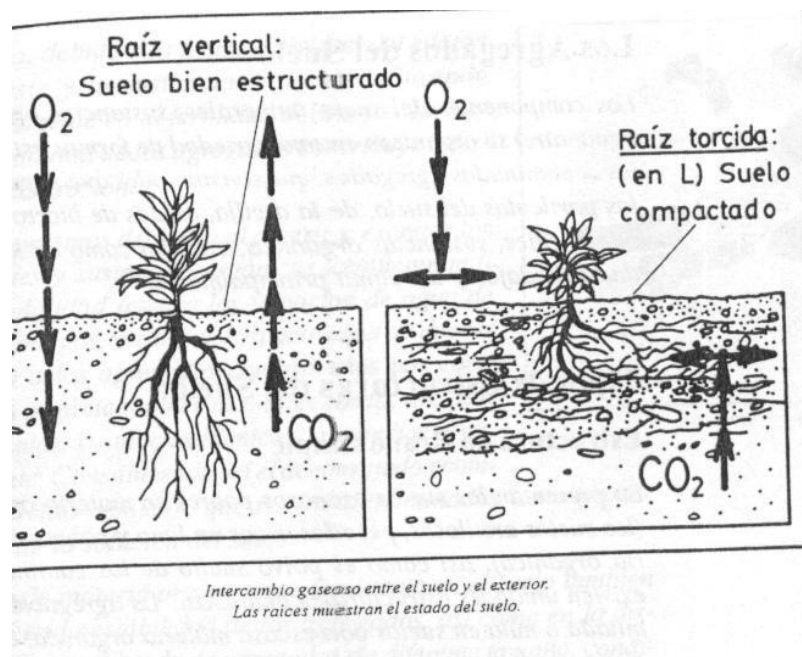
Una estructura se puede mejorar o dañar con las prácticas de manejo del suelo: quemas, aradas, inundaciones. Todo lo anterior *está correlacionado con la pérdida de la materia orgánica de la capa superficial del suelo*.

Tipos de estructuras del suelo.

Estructura de grano simple: La presentan suelos arenosos **pobres en materia orgánica**, así como el polvo de los caminos. La agregación es limitada o nula en suelos con escasa materia orgánica, al igual que su poder retentivo.

Estructura laminar, columnar y prismática.

Estas estructuras se encuentran, por lo general, en suelos pesados, **pobres en materia orgánica**, biológicamente casi inertes. No ofrecen buenas condiciones para el desarrollo de las raíces de las plantas. El suelo con estructura columnar está muy seco por exceso de aeración y pérdida rápida del agua, mientras el de tipo laminar es muy húmedo, debido a su mal drenaje.



La estructura laminar se aprecia en algunos horizontes superficiales de materiales finos, arenosos, salinos y carentes de estructura definida. En este tipo de suelo el movimiento del agua es muy lento. Si además la textura del suelo es arcillosa, más lento será el movimiento del agua.

La estructura columnar y prismática se puede encontrar en algunos suelos arcillosos. En este tipo de suelo el movimiento del agua se hace más rápido, aún siendo la textura arcillosa. Se desarrolla por efectos de la desecación y contracción, formándose rajaduras en el suelo.

Estructura Granular.

Es la estructura ideal, llamada también "MIGAJÓN". Los agregados son partículas redondeadas, humosas y porosas de 1 a 10 mm de diámetro, denominándose gránulos si son mayores de 10 mm. Los suelos de estructura granular son suaves y sueltos, lo cual permite la movilización del agua y del aire, un mayor crecimiento y penetración de las raíces, siendo fáciles de trabajar. Se originan en suelos **ricos en materia orgánica**. Los organismos del suelo, al digerir y excretar los minerales y sustancias orgánicas confieren mayor estabilidad (contra los impactos de las gotas de lluvia, vientos y otros factores de degradación) a los agregados conformados por compuestos orgánicos-minerales, tales como las arcillas, los carbonatos, sustancias húmicas y sustancias orgánicas, entre otras.

Los grumos siempre tienen los bordes redondeados y están traspasados por gran cantidad de microporos. En tierra húmeda, donde pueden pegarse y formar terrones mayores, al quebrarlos siempre presentan una apariencia de ruptura muy irregular, llena de protuberancias redondeadas. **Son el producto del agrupamiento biológico, y nunca de desterronamiento mecánico.** Un suelo con buena estructura:

- Es fácil de cultivar.
- No es arrastrado fácilmente por la lluvia ni por el viento.

- El aire y el agua penetran en él.
- Las raíces de las plantas se desarrollan bien sin deformarse.

ESTABILIDAD ESTRUCTURAL.

La estabilidad estructural se refiere a la resistencia que poseen las estructuras del suelo (granular, blocosa, laminar, prismática, etc.) a desintegrarse. *Es una característica importante porque incide en la erosión de un suelo.* Mientras la estructura del suelo sea más estable, o sea más resistente a desintegrarse, el suelo será también más resistente a la erosión.

Colaboran en la formación de estructuras del suelo y su resistencia a la desintegración, factores tales como la presencia de microorganismos ya que al descomponer ellos la materia orgánica, se forman agregados o estructuras de suelo. Obviamente, **a mayor cantidad de materia orgánica que posea un suelo, se mejorarán las condiciones para la estabilidad del mismo.**

Forma de conocer la estabilidad de los agregados en el campo.

Para conocer la estabilidad de los agregados, recomiendan que en el campo pueden hacerse las siguientes pruebas:

Se coloca un terrón del tamaño de un puño sobre la mano encocada y se sumerge varias veces en recipiente con agua. Si se desagrega rápido y fácil, enturbiando el agua, indica poca estabilidad; si se conserva durante un tiempo y demora en enturbiarse el agua, tiene mediana estabilidad, y si no se desagrega fácilmente, indica alta estabilidad. También puede probarse la estabilidad dejando caer gotas de agua desde una altura de 10 a 15 cm sobre un terrón. Indicará baja estabilidad si se desmorona y enturbia el agua en pocas gotas y buena estabilidad si resiste un tiempo largo.

EROSION

Por todo lo anterior, la erosión puede ser considerada como el factor más importante en relación con la degradación de los suelos. Cuando la agricultura es practicada en suelos con ciertos grados de pendiente o declive y una cierta intensidad de lluvias, y esto aunado a las prácticas de arada y rastrillada o a las quemadas intensivas, con la consecuente denudación del suelo, se presenta la intensificación de la erosión hídrica y en regiones con fuertes vientos, a la anterior se suma la **erosión eólica.**

En el mundo se ha calculado que las pérdidas de suelo por las prácticas agrícolas oscilan entre los rangos de 10 a 60 toneladas métricas por hectárea y por año. En Brasil se descubrió que cuando una empresa agroindustrial producía una tonelada de granos, la finca perdía un promedio de 10 toneladas de suelo por efecto de la erosión. En Costa Rica se estima que por cada kilogramo de carne de novillo exportado se han perdido 2.5 toneladas de suelo (horizonte A y B).

Degradación mundial de los suelos, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 1994

- Alrededor del 70% de los suelos de América, Europa, Asia y África están afectados por algún grado de erosión con pérdida de fertilidad.
- Una cuarta parte de la superficie terrestre está sufriendo procesos de aridificación.
- El 7% del total de la superficie terrestre está salinizada como consecuencia de proyectos de riego mal manejados. La destrucción anual de suelos por salinización alcanza iguales dimensiones que las superficies incluidas en nuevos procesos de riego.
- En algunas regiones de América y África la erosión eólica es cada vez más acentuada y se ha reportado (FAO) que una hectárea de terreno puede perder hasta 150 toneladas de suelo en una hora.
 - Se calcula que por acción de la erosión hídrica las aguas arrastran cada año entre 25.000 a 35.000 toneladas de suelo que primero caen a los ríos y después a los océanos.
- 900 millones de seres humanos se encuentran directamente afectados por la desertización y se están sufriendo situaciones de hambruna.

Entonces el suelo vivo es la mayor riqueza que puede tener una nación, y si antes era catalogado como un recurso natural renovable hoy se le considera como no renovable al menos de forma inmediata.

Búsqueda de la sostenibilidad de los agroecosistemas y la salud del suelo.

Uno de los principales factores a ser considerados en relación con la sustentabilidad agroecológica es el suelo. Él es la base de la producción de alimentos para la humanidad. **Sin suelo las plantas no pueden existir y sin ellas no existe la vida animal y humana.** Por eso el destino de la humanidad depende de sí el suelo es protegido y recuperado, manteniéndose como un ecosistema saludable.

Entonces el suelo es el tercer componente de aporte vital de la biosfera y las actividades humanas están afectando este recurso vital. Haciendo un recorrido a través de los tiempos históricos se puede concluir que las civilizaciones existen mientras duren sanos sus suelos. Hay pruebas de que la decadencia de los imperios de Asia Menor, Norte de África, Roma, Grecia y de las civilizaciones de América Central fue motivada, en gran parte, por el manejo erróneo de los recursos naturales, teniendo un impacto negativo la erosión del suelo causada por la tala de sus bosques en zonas de ladera y planicies, las prácticas agrícolas de la arada del suelo, las quemas y el riego. Se calcula que para formarse un centímetro de suelo se necesitan de 100 a 400 años y se requieren de 3.000 a 12.000 años para que el suelo sea suficiente para constituir tierras que puedan producir cosechas. Pero a pesar de ser ciertos estos planteamientos, no deben convertirse en un motivo de desaliento para los

agricultores que desean recuperar sus suelos, ya que un trabajo cuidadoso de protección y recuperación de los mismos, a través de un enriquecimiento con materia orgánica, puede ofrecer resultados positivos en menos de un año.

Problemas fundamentales del suelo.

- Expansión de las tierras de cultivo y ganadería, incluso en territorios no aptos para estos fines.
- Prácticas agropecuarias intensivas y no protectoras.
- Monocultivo y sobrepastoreo que empobrece aceleradamente los suelos.
- Deforestación de grandes áreas del planeta.
- Incendios de grandes territorios.
- Fenómenos de erosión y alteración de la cubierta vegetal que están incrementando la desertificación en muchas regiones.
- Salinización de suelos agrícolas.
- Contaminación del suelo por residuos sólidos, líquidos y gaseosos.
- Proceso incontrolado de urbanización (habitaciones, industrias y turismo) ocupando, en unos lugares, tierras de gran calidad aptas para la producción agropecuaria y, en otros, tierras que no deberían despojarse de sus cubiertas vegetales.
- Construcción incontrolada de carreteras.
- Destrucción de suelos agrícolas para actividades mineras.

Características del suelo tropical.

“Lo conozco. Lo he recorrido con amor, con mis pies y manos. He navegado sus ríos y raudales...he comprobado la frondosidad de la selva en las altas arboledas. Bella y rica, pero frágil. Sus suelos sirven para los bosques. Talados éstos, se habrá consumado una catástrofe. La Tierra apenas produce una cosecha y, tal vez, nunca más crecerá un bosque”. Anónimo.

El bosque tropical era el ecosistema predominante de Colombia. Sin embargo, a partir de la conquista europea se inició su transformación sin considerar sus características biológicas. Esta intervención humana de carácter insostenible se ha incrementado a partir de los últimos cincuenta años, como consecuencia del impacto ambiental generado por los sistemas agropecuarios imperantes, además de las obras de ingeniería civil y la minería.

Uno de los mitos acerca de los trópicos es la fertilidad de sus suelos, el cual ha creado falsas expectativas en agricultores y gobiernos. Apoyados en este mito se promovieron las colonizaciones de grandes zonas de los bosques o selvas tropicales, ya fuera en las llanuras o más grave aún, en las zonas de ladera.

A pesar de la exuberancia de la selva húmeda tropical, realmente su vitalidad biológica y su grandeza están sostenidas en delicadas relaciones entre la flora y la fauna (desde las bacterias, hongos e insectos hasta los árboles, aves y mamíferos). En los bosques tropicales, miles de años de grandes precipitaciones produjeron suelos profundos, de los cuales los nutrientes han sido removidos en su mayoría. Los análisis revelan que los nutrientes contenidos en la vegetación suelen exceder en cantidad los de las capas superficiales del suelo.

Los suelos tropicales, los cuales tienen sus capas de materia orgánica muy delgadas, siendo en algunas regiones de los bosques tropicales lluviosos de tan sólo 5 a 20 centímetros de grosor, carecen de mecanismos orgánicos y bióticos de retención, de modo que cualesquiera nutrientes presentes en él son drenados rápidamente. Esto ocurre porque en estas regiones la materia orgánica que llega suelo sufre una rápida y violenta destrucción. Esto se debe a que en estos suelos tropicales la actividad de la microflora y la microfauna parece alcanzar una intensidad de cinco a diez veces mayor que en los suelos de las zonas templadas.

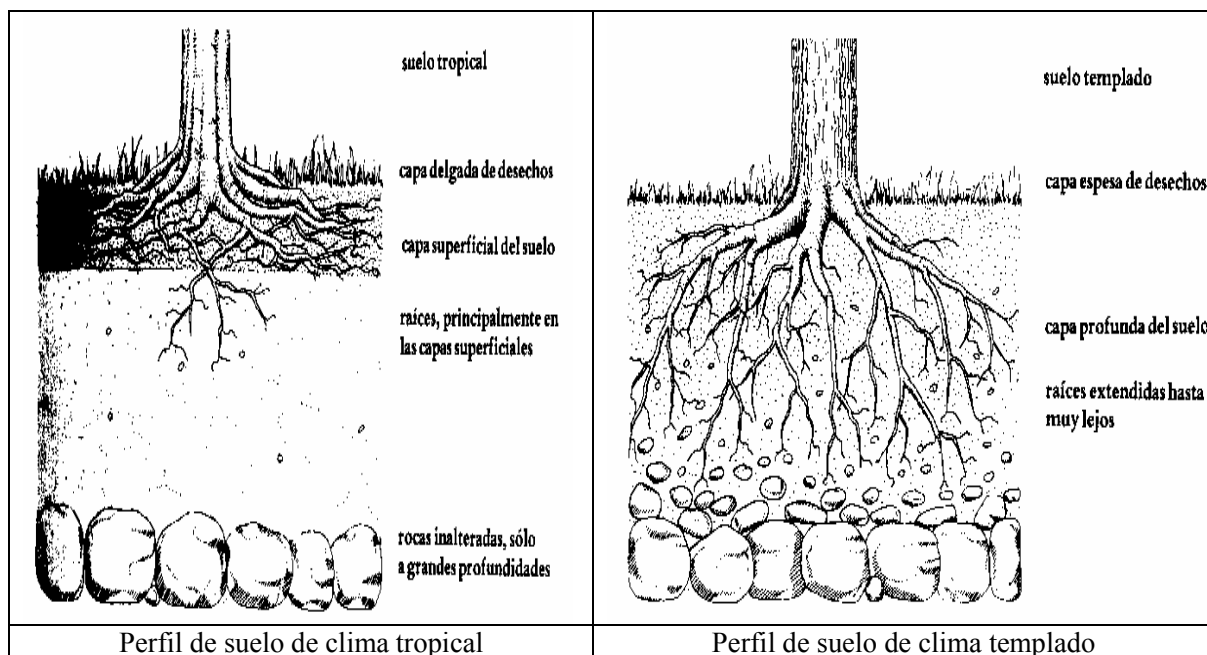
El bosque húmedo tropical sólo puede prosperar en suelos pobres, gracias a las múltiples adaptaciones mutualistas y de recirculación dentro de la biomasa de la comunidad forestal.

Todo el material vegetal que cae sobre la superficie del suelo en un bosque tropical es descompuesto con rapidez por la microflora y microfauna presente. Gran parte del desmenuzamiento inicial y de la incorporación del material vegetal muerto en el suelo es realizado por las termitas, aunque las lombrices de tierra juegan un importante papel. Los hongos, presentes en gran número, y las bacterias, son responsables de la descomposición final de la mayor parte de la materia orgánica. Se han realizado recuentos de poblaciones de microorganismos presentes en un centímetro de suelo tropical en condiciones sanas, determinándose aproximadamente **10 millones** de éstos, predominando los hongos. Muchos de ellos se asocian con las raíces de los árboles, formando las micorrizas. A través de éstas se produce una transferencia directa de los alimentos minerales liberados por las actividades de los hongos hacia las raíces, en lugar de su liberación en la solución general del suelo y la posterior incorporación por parte de las raíces.

La quema de la cobertura vegetal provoca:

- Mayor grado de erosión hídrica por escorrentía superficial.
- Erosión superficial y arrastre de humedad ambiental por el viento.
- Insolación sobre suelo desnudo.
- Muerte de la microvida ya que al quemar la materia orgánica derribada se somete la microvida a altas temperaturas, que han sido reportadas entre 67 – 310 °C en la superficie del suelo y entre 48 -199°C a un centímetro de profundidad.

Se ha comprendido que son los residuos cortados y sin quemar, en descomposición sobre el suelo, los que parecen sostener la fertilidad del suelo a través del ciclo del cultivo de hasta máximo tres años, después que las cenizas se han disuelto. Cuando se tala un bosque en los trópicos húmedos, todos los mecanismos de adaptación son destruidos.



Por lo anterior, en las selvas tropicales las raíces se hallan cerca de la superficie del suelo, ya que la mayoría de sus nutrientes se conservan en la biomasa que conforma la rizosfera y no en los horizontes profundos del mismo. La superficialidad del sistema Vegetación – Suelo se puede apreciar claramente al observar las raíces de los grandes árboles. Ellas presentan un anclaje no profundo, formando una intrincada red de raíces gruesas y delgadas que cubren el suelo, y penetran en el humus superficial lo que les permite absorber con rapidez los elementos nutrientes liberados de los restos vegetales (hojas y troncos) en descomposición, evitando que el agua de escorrentía o el viento los arrastre. Se ha determinado que hasta un 80% de los nutrientes están en la biomasa vegetal.

Son estas condiciones biológicas y físicas del suelo, las que deben determinar las prácticas agrícolas empleadas en el trópico, ya que permiten entender si éstas son o no apropiadas a las condiciones de este ecosistema.

Existe un frágil equilibrio entre la materia orgánica vegetal y animal del bosque y la estructura del suelo. La cobertura arbórea determina la humedad del agua evapotranspirada por la vegetación, la minimización del efecto del viento, la protección del suelo contra la radiación solar y el impacto de lluvias tropicales.

En cambio el suelo de las regiones con clima templado los suelos con frecuencia quedan ocultos bajo una capa de materia orgánica de hasta varios metros de espesor, con una concentración de nutrientes alta, estando el 80% de ellos en el suelo. La población de microorganismos es menor en estos suelos, alrededor de **2 millones por gramo**.

Por eso, cuando se tala una selva tropical todos los mecanismos adaptativos son destruidos y el ecosistema se transforma en potreros o cultivos deficientes e insostenibles como agrosistemas.

Ana Primavesi, apoyándose en las anteriores consideraciones argumenta que de no considerarse estas condiciones ecológicas pueden emitirse juicios apresurados ya que “al comparar el sistema agrícola de los países ubicados en las regiones templadas con el de los países del trópico y ver el fracaso de la agricultura en éstos, sin considerar otras causas, se puede afirmar que esto se origina en que los pueblos del trópico – culturas amerindias y afroamericanas - no tienen la inteligencia de la civilización europea y de los anglosajones de América. Por lo tanto los países tropicales deben importar la tecnologías desde el hemisferio norte y siempre las universidades e instituciones de investigación agropecuaria fomentan sus *cátedras de transferencia de tecnología*.”

Frente a lo anterior debemos interrogarnos: ¿Por qué el ecosistema tropical, en su estado natural, produce cinco (5) veces más biomasa que ecosistema templado, pero cuando el hombre lo interviene alterando las relaciones que existen entre el suelo, la planta y el clima, esta productividad se acaba, quedando un suelo empobrecido y con un mísera producción”.

Es aquí donde debe recordarse que los pueblos que habitaban a América (continente de Abya Yala para los indígenas) antes de la invasión europea habían aprendido, gracias a un delicado proceso de coevolución entre cultura y naturaleza, a trabajar sus tierras de acuerdo a las condiciones ecológicas.

Pero como culturas derrotadas en la guerra de la conquista y a la vez esclavizadas, debieron olvidar todos sus elementos culturales, entre ellos las maneras de trabajar los recursos naturales por medio de la agricultura, especialmente el suelo. Simultáneamente se dio el proceso masivo de transferencia de tecnología por los colonizadores europeos, proceso que continúa hasta hoy.

MANEJO AGROECOLÓGICO DEL SUELO TROPICAL.

Entendiendo la dinámica del bosque tropical y las posibles alternativas para intervenir en el ecosistema, se pueden postular los siguientes principios fundamentales, los cuales deben ser respetados. Ellos son:

- Estabilización y protección de los grumos o agregados del suelo: Mantener el suelo cubierto permanentemente con cultivos de cobertura, coberturas muertas y árboles, que generen material rico en celulosa. Esto exige cambiar las tecnologías para la preparación del suelo, no utilizando el arado de vertedera o de discos ni el rastrillo. Esta materia orgánica es el alimento de la vida del suelo, especialmente de la vida aeróbica que ayuda a formar los poros.
- No invertir las capas del suelo, ni enterrar el material vegetal, evitándose procesos de fermentación de la materia orgánica de carácter anaeróbico. Esto obliga a utilizar con sumo cuidado las prácticas y la maquinaria agrícola, para proteger la bioestructura del suelo, en especial los grumos, que se necesitan en la superficie. Este manejo del suelo evita procesos de erosión hídrica y eólica, además protege de las altas temperaturas provocadas por la radiación solar y la alta tasa de la evapotranspiración
- Recuperación y protección de la biodiversidad por medio de la rotación y la asociación de cultivos, incluyendo la diversidad de los abonos verdes.

- Proteger los cultivos del viento, haciendo cortinas rompevientos que permitan que pase un 30% del viento, lo cual deshidrata el suelo y causa la erosión eólica.

Lo anterior aumenta la capacidad de circulación y retención del agua en el suelo como consecuencia de la materia orgánica presente. Así se disminuye la necesidad de sistemas de riego, que además de ser costosos implican graves riesgos de salinización y compactación de los suelos, además de la contaminación del agua.

La aplicación de estos principios obliga a estudiar cuidadosamente el modelo agrícola basado en los cultivos de cobertura y los abonos verdes. En la medida en que se aprenda su manejo el agricultor podrá reducir la dependencia de los agroquímicos derivados del petróleo tales como herbicidas y abonos de síntesis química.

Los agricultores tropicales, muchos de los cuales poseen escasos recursos económicos, al utilizar el sistema agrícola de los abonos verdes y los cultivos de cobertura podrán ir transformando su modelo de agricultura basado en la roza, la tala y la quema. Este sistema tradicional de agricultura migratoria permite, a lo sumo, producir, una o dos cosechas de maíz o arroz o yuca, entre otras. Obtenidas éstas, el suelo se degrada, lo cual se manifiesta por la invasión de plantas **indicadoras** de la pobreza del suelo, las cuales son conocidas como malezas.

Esto obliga a dejar las tierras en rastrojo o barbecho durante unos tres a cinco años, para después volver a ser taladas y quemadas, realizando cultivos por otros dos años cuando mucho. Además cada nueva cosecha va siendo más exigua debido al empobrecimiento del suelo tropical. Esto hace que durante el período de rastrojo el agricultor continúe la tala del bosque, ampliando la mal llamada frontera agrícola, con todas las secuelas ambientales y sociales que eso conlleva.

Experiencias agrícolas realizadas en el trópico húmedo del Darién Chocoano (frontera colombo panameña) permitió reducir el período de descanso desde cuatro a cinco años a cinco meses, utilizando la leguminosa *Mucuna deeringiana* como cultivo de cobertura y abono verde.

¿QUÉ ES UN ABONO VERDE?

El concepto de **abono verde** implica cualquier planta competitiva y bien adaptada, en una determinada localidad, para la gran producción de biomasa. Debe, en lo posible, ser un cultivo de ciclo vegetativo corto que se pueda incorporar en un estado de poca lignificación. Las leguminosas (fríjoles, tréboles) son los mejores ejemplos, con la ventaja de su asociación con bacterias del género *Rizobium*, que fijan nitrógeno del aire. Los más empleados en nuestro medio son:

- ♦ Elevaciones bajas (0 a 1.500 m.s.n.m.): *Fríjol Terciopelo o Vitabosa* (*Mucuna* sp.), *Canavalia* (*Canavalia* sp.), *Dólicos* (*Dolichos lablab*), *Guandul* (*Cajanus cajan*), *Crotalarias* (*Crotalaria* Sp.), *Caupí* (*Vigna unguiculata*), Maní forrajero (*Arachis pintoi*), Kudzú (*Pueraria phaseoloides*)
- ♦ Elevaciones intermedias (1.500 a 3.000 m.s.n.m.). *Fríjol Vida o Petaco* (*Phaseolus coccineus*), *Arveja* (*Pisum sativum*) y *Vicias* (*Vicia* sp.)

- ♦ Elevaciones superiores a los 3.000 m.s.n.m.: *Tarhui* (*Lupinus mutabilis*), *Haba* (*Vicia faba*)

Sin embargo otras familias de plantas como las gramíneas (*Avena forrajera*, *maíz*), cucurbitáceas (*Ahuyama*, *Chayota o Cidra*), compuestas (*Girasol*), Crucífera (*Nabo forrajero*) y las amarantáceas (*Amaranto o Bledo*), poligonáceas (*Higuerilla*) poseen especies útiles como abonos verdes. Debe estudiarse la forma de manejo de la *Thitonia diversifolia* (*Margaritón*). Agricultores de la zona norte de Colombia, en la región Atlántica, emplean la *Ipomoea batatas* (*Batata o Camote*) como cobertura viva en sus plataneras.

Generalmente las plantas usadas como abonos verdes son potencialmente invasoras y por lo contrario, plantas invasoras pueden ser utilizadas como abono verde, dependiendo solamente de que se les dé el manejo apropiado. *Esto se basa en que las arvenses son la expresión de la defensa del suelo por cubrirse con las plantas más eficientes en un determinado momento y así comenzar a recuperar la materia orgánica perdida.*

Las **coberturas** pueden ser plantas que llegan a una mayor lignificación y, por lo general, se mantiene como mulch dada su mayor maduración (lignificación).

PRINCIPALES EFECTOS DEL USO DE LOS ABONOS VERDES Y DE LAS COBERTURAS.

➤ Aporte de materia orgánica al suelo.

Por lo general, las plantas como abono verde y cultivos de cobertura se descomponen **en y sobre** el suelo y son el alimento ideal de la vida microscópica del mismo. La materia orgánica es crucial en los suelos tropicales y subtropicales, ya que ella es el principal indicador de la fertilidad de un suelo. Un suelo con tenores altos de materia orgánica producirá mayores cosechas que un suelo de iguales condiciones pero con menor cantidad de este elemento. La materia orgánica del suelo es una de las características más importantes en relación con la calidad del mismo, debido a su influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Ya que la capacidad de intercambio catiónico de la mayoría de los suelos tropicales es muy baja, la materia orgánica tiene mayor importancia en los trópicos como almacenadora de nutrientes que en las zonas templadas. **Por lo anterior, el efecto de los fertilizantes minerales es grandemente disminuido cuando no se agrega al mismo tiempo materia orgánica.** Así mismo, debe recordarse que la materia orgánica es mineralizada cerca de cinco veces más rápidamente en los trópicos que en las regiones templadas.

El agricultor debe acumular materia orgánica a través del cultivo por estratos (árboles, arbustos, cultivos bajos y altos entremezclados) permitiendo un máximo depósito de material vegetal. El trópico presenta un alto coeficiente energético con un acelerado índice humulítico por oxidación. Por eso, **en los trópicos es más fácil la tarea de conservar la materia orgánica que se tiene, que la de reponer la materia orgánica que se pierde.**

Ana Primavesi en su texto *CARTILHA DO SOLO. Como reconhecer e sanar seus problemas* (2001) enfatiza en que la materia orgánica no es un fertilizante, sino que es el alimento para la vida *aeróbica* del suelo, y que al agregarse crea un sistema poroso donde se puede almacenar el agua necesaria para la producción vegetal.

Ana Primavesi (1982) plantea que la materia orgánica provee al ecosistema del suelo de:

- Sustancias agregantes del suelo, haciéndolo grumoso, con bioestructura estable a la acción de las lluvias.
- Ácidos orgánicos y alcoholes; durante su descomposición sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre, fijadores de nitrógeno.
- Posibilidad de vida a los microorganismos, especialmente los fijadores de nitrógenos, que producen sustancias de crecimiento, como el triptófano y el ácido-indol-acético, que tienen un efecto muy positivo sobre el desarrollo de las plantas.
- Alimento a los organismos activos en la descomposición, produciendo antibióticos que protegen a las plantas de enfermedades.

➤ Es la sustancia orgánica nutritiva para el suelo y las plantas.

Una incorporación de materia orgánica en base verde de 50 a 70 toneladas equivale a unas 10 a 15 toneladas en base seca. En el trópico húmedo este volumen constituye el nivel mínimo de materia orgánica que se necesita autogenerar para mantener los niveles de fertilidad del suelo. La sostenibilidad del agroecosistema tropical radica en la capacidad del agricultor para generar volúmenes de biomasa adecuados, a bajo costo y con un mínimo consumo de energía

Debe recordarse que la nutrición vegetal es en forma indirecta, alimentándose todo el ecosistema del suelo, para que sea, éste, el que suministre los nutrientes a la planta. Por lo tanto, se deben promover y proteger todas las formas de actividad biológica y si se necesita emplear correctivos o fertilizantes, utilizar abonos de baja solubilidad, no sintéticos, tales como la roca fosfórica, la cal dolomítica, las escorias Thomas, las cenizas de madera y la harina de huesos, entre otros, deben ir integrados con la biomasa vegetal, nunca sobre los suelos desnudos.

➤ Enriquecimiento del suelo con nutrientes mayores y elementos menores.

Los cultivos de abonos verdes y de cobertura liberan los nutrientes **en y sobre** el suelo, con esta práctica y mediante el proceso de la mineralización de la sustancia orgánica los nutrientes son puestos a disposición de las plantas. Con el uso de leguminosas (según el tipo de leguminosa y su cultivo, así como las condiciones de clima y suelo), se pueden obtener aportes mayores de 150 kilogramos por hectárea de nitrógeno puro.

➤ Mejoramiento de la estructura del suelo.

El sistema radicular fino y bien ramificado de estos cultivos descompacta al suelo. Sin embargo, se recomienda que, a aquellos suelos sobretrabajados por maquinaria pesada y arados de vertedera o de disco, realizarles una descompactación con el preparador de "cincel". Existen evidencias de recuperación de la estructura de suelos con marcada compactación provocada por sobrepastoreo, utilizando únicamente el Frijol Terciopelo o vitabosa (*Mucuna deeringianum*) como cultivo de cobertura, durante cuatro meses. Según el tipo de suelo, la penetración radicular promedio alcanzada varía entre 0.8 a 3.0 metros. Sobresalen en su capacidad de penetración la *Crotalaria juncea*, el *Cajanus cajan*, la *Mucuna deeringianum* y la *Canavalia ensiformis*

Los abonos verdes y los cultivos de cobertura contribuyen al mejoramiento de la tasa de infiltración y drenaje de los suelos, al mejorar la capilaridad y porosidad del mismo.

➤ Aumento de la actividad biológica del suelo.

Estos cultivos proporcionan alimento a los microorganismos (edafón). Mediante la descomposición de la materia orgánica a través de la actividad micro y macrobiológica se dinamizan los procesos bioquímicos de la transformación del suelo. De esta manera se libera el ácido carbónico incrementando la disponibilidad de los nutrientes, favoreciendo el desarrollo de las plantas y protegiendo el suelo de los factores atmosféricos y por ende a los microorganismos.

➤ Reducción del lavado de los nutrientes.

El abono verde y los cultivos de cobertura fijan los nutrientes fácilmente solubles, evitando su lavado por la escorrentía y la lixiviación y además aumentan la disponibilidad del agua. La presencia de ellos en el suelo reduce la fuerza de las lluvias, aumentando de esta manera la filtración.

➤ Reducción de la evaporación.

El cultivo de cobertura y los abonos verdes da sombra al suelo y reduce la cantidad de agua perdida por evaporación.

➤ Suprime el crecimiento incontrolado de arvenses o “malas hierbas”

La cobertura del suelo afecta la germinación de algunas arvenses y otras son desplazadas por el mejoramiento de la estructura del suelo y su enriquecimiento en nutrientes, lo cual inhibe su crecimiento.

➤ Aprovechamiento del abono verde y cultivos de cobertura como alimento para humanos y animales.

Muchos cultivos producen granos u otros tipos de frutos utilizados en la alimentación humana y animal. Algunos tienen follaje utilizable en la alimentación de animales, el cual, al ser pastoreado, permite que los animales aporten estiércol y orina. En estos casos la materia orgánica que queda en el suelo proviene de los restos de raíces y rastrojos. Esto debe conllevar algunas precauciones, ya que los animales pueden transportar semillas de vegetales que no se desea tener en los terrenos recuperados, por ejemplo cierto tipo de gramíneas. El guandul (*Cajanus cajan*) puede servir como grano seco para la alimentación de humanos y gallinas, el grano verde se utiliza en la preparación de ensaladas, la producción constante de follaje abona el suelo, por ser leguminosa fija nitrógeno atmosférico y las ramas gruesas se utilizan como leña.

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS ABONOS VERDES Y LOS CULTIVOS DE COBERTURA.

Se deben tener en cuenta:

- **Período disponible para el cultivo:** Especies de crecimiento rápido, para períodos cortos y especies de buena resistencia, cobertura y crecimiento prolongado, para períodos secos prolongados.
- **Capacidad de cobertura y generación de biomasa:** Tomando en cuenta la conservación y pérdida de humedad y grado de competencia con las arvenses y/o cultivos y requerimientos de materia orgánica en el suelo.
- **Efectos sobre la labranza:** Posibilidad de siembra con o sin labranza, capacidad de las raíces para el mejoramiento estructural, posibilidad de dejarlo como cobertura muerta (mulch) en la superficie y debe poder trabajarse con un machete, una guadaña manual o un rodillo cuchilla.

➤ Características de los abonos verdes y cultivos de cobertura:

- Se puedan establecer fácilmente y a bajo costo.
- Produzca semillas o material vegetativo en grandes cantidades.
- Cubra el área rápidamente.
- Sean fáciles de eliminar.
- Acumulen nutrientes rápidamente.
- Tenga raíces que descompacte el suelo para así facilitar la exploración de las raíces del cultivo en rotación.
- Puedan ser utilizados en alimentación humana y/o animal.

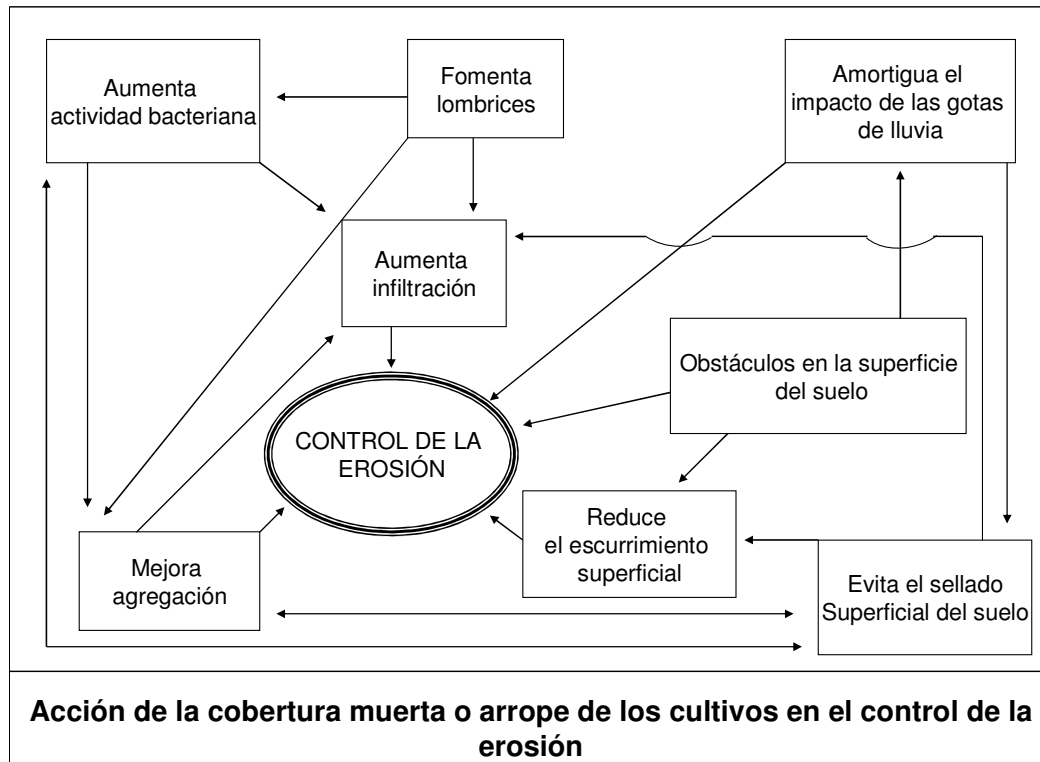
COMPOSTAJE DE SUPERFICIE Y COBERTURA (MULCH).

En la naturaleza, la tierra nunca está desnuda; una tierra desnuda expresa su enfermedad y va muriendo progresivamente. Se puede observar que las tierras que han quedado desnudas, por acción del fuego, los arados u otras causas son rápidamente recubiertas con adventicias, como si quisiera protegerse. Si esto no ocurre puede ser consecuencia de condiciones climáticas o que ese suelo está enfermo y muriéndose.

Los abonos verdes y los cultivos de cobertura pueden considerarse como un compostaje en superficie, el cual consiste en dejar que las materias orgánicas se descompongan sobre la superficie del suelo, en capas delgadas. Así, se reproduce el proceso natural que se realiza en los bosques, donde las hojas de los árboles se descomponen sobre el suelo y forman el humus característico del bosque. Se ha demostrado que el suelo se aprovecha al máximo de la vida microbiana de las materias orgánicas en descomposición cuando esta transformación ocurre sobre el mismo suelo. Por ser un compostaje de superficie debe conservar su estado altamente aeróbico, fragmentándose con el machete o rodillo cuchilla para permitir una mayor humectación y un mejor trabajo de los microorganismos. Siempre que se prepare un terreno con abonos verdes y cultivos de cobertura debe esperarse la siembra del cultivo unos 3 a 4 días para que disminuya el calor de la fermentación inicial

La práctica de la cobertura o del mulch consiste en cubrir el suelo alrededor de las plantas cultivadas, pudiendo emplearse diversos materiales como rastrojos de cultivos anteriores, follajes de árboles, abonos verdes secos, los cuales pueden emplearse apenas las plantas

hayan emergido del suelo. A medida que la actividad biológica haya transformado el material que colocamos inicialmente, se adiciona más material. Debe evitarse capas muy gruesas que puedan provocar condiciones de anaerobiós (falta de oxígeno), lo cual alteraría la vida de las bacterias y la microfauna, provocando enfermedades en las plantas. Cada agricultor debe experimentar en los suelos de su granja y con los materiales a su alcance.



BIODIVERSIDAD Y AGRICULTURA.

La agroecología debe fomentar los policultivos con asociaciones en franjas, en lotes y en rotación permanente. Los fenómenos de aleopatía favorables y adversos deben ser identificados y estudiados.

La homogenización provocada por los monocultivos debe ser evitada especialmente en las latitudes tropicales y subtropicales. En estas regiones los sistemas de producción agropecuarios deben guiarse por el modelo natural basado en la máxima **diversidad**. El modelo agrícola impuesto en el trópico después de la conquista y colonización europea está adaptado a las condiciones de menor diversidad de las regiones templadas. Se consideraba que los agroecosistemas podrían funcionar bien en estas condiciones de homogenización, pero hoy se está replanteando este criterio, pues hasta en las regiones templadas el monocultivo está provocando graves daños en el ambiente.

El sistema de producción orientado hacia el monocultivo es inapropiado. Progresivamente disminuye la materia orgánica, lo cual va deteriorando el suelo, muchos organismos

vegetales y animales se convierten en “plagas” y enfermedades y los niveles de producción van disminuyendo en cada cosecha. Analizando los efectos de un monocultivo de maíz en el espacio y en el tiempo puede apreciarse como el suelo sufre un proceso acelerado de compactación, consecuencia del enraizamiento superficial del mismo

En el Instituto Biodinámico del Brasil se está empleando el método de Mezclas de plantas para abonos verdes o descanso en barbecho de tipo intensivo, que tiene como principio básico el asociar especies de plantas de varias familias para obtener la mayor diversidad posible. Su finalidad es llegar a un ecosistema que simule el clímax de un bosque, en el cual la complejidad de las relaciones entre los cultivos fijan la estabilidad y la dinámica de las poblaciones

Existe una intensa cooperación, colaboración y, al mismo tiempo, competencia entre plantas por los factores esenciales luz, agua y nutrientes. Se trata de imitar las condiciones en las que las plantas de un bosque, en forma silvestre, se desarrollan, produciendo cada una de las especies las cualidades que las hacen sobrevivir en su medio, aportando la mayor cantidad de beneficios para el suelo, las demás plantas y el medio que las rodea. Esto evita que se genere un monocultivo de abonos verdes y cultivos de cobertura, lo cual sería perjudicial para el agroecosistema y facilitaría la presencia de poblaciones de insectos, hongos y nemátodos en forma descontrolada y perjudicial.

Utilizan una adecuación del terreno con un arado de cincel. Siembran más o menos 100 kg./ha de semillas, y si el terreno lo permite, después incorporar las semillas con una grada suave.

Las semillas utilizadas fueron de gramíneas (26%), leguminosas (62%), girasol e higuera (12%). Se utilizan el Maíz, Mucuna, Canavalia, Guandul, Girasol, Crotalaria, Higuera, Caupí, Leucaena.

La incorporación se realiza aproximadamente a los 150 días de la siembra, momento de mayor producción de biomasa del policultivo; para una mayor descomposición, la incorporación debe hacerse en un estado anterior a la floración y para una menor descomposición, en un estado posterior. Para la incorporación se utiliza el machete o el rodillo cuchilla. Previamente se recolectan los frutos de maíz y de girasol.

Las anteriores tecnologías exigen propuestas nuevas para el diseño de la maquinaria agrícola apropiada para cultivar sobre residuos de cosecha y hojarasca. El método de **SIEMBRA DIRECTA**, principio básico de la agroecología, exige conservar la biodiversidad si existe o recuperarla si ha sido destruida. El monocultivo en el espacio y el tiempo no permite manejar este sistema de siembra, ya que los desequilibrios en las poblaciones de insectos podrían convertirse en un problema. Ante esta situación, la historia de la agricultura nos aporta enseñanzas, que deben tenerse en cuenta. El hundimiento del imperio romano se inicia a partir del siglo II después de Cristo y algunos historiadores argumentan, como una de las posibles causas de ello, el manejo irracional de los recursos naturales. Frente a esta situación, un grupo de Agricultores propusieron tecnologías alternativas a los extensos monocultivos y ganaderías latifundistas que imperaban en la cuenca del mar Mediterráneo. Ellos postularon el principio agrícola de:

El Agricultor Sabio Comprende la Práctica de las Rotaciones.

La máxima la escribían tallada en la roca y se colocaba en los campos cultivados. En latín se puede leer:



La **rotación** es un conjunto de secuencias de cultivos donde ellos se suceden dentro un determinado terreno y la **asociación** consiste en la realización de arreglos en el espacio, combinando distintos cultivos.

Estas prácticas pretenden imitar el mundo natural en cuanto a la diversificación de las especies vegetales. Generalmente las rotaciones y asociaciones comprenden cultivos no perennes. Cuando se combinan árboles y arbustos con cultivos agrícolas ya sea perennes o no, se está manejando un sistema **agroforestal** y al combinar árboles y plantas forrajeras en las prenderas se maneja el sistema **silvopastoril**.

Una diversidad bien estructurada asegura un uso más eficiente del suelo, su mejor conservación, una regulación adecuada de adventicias y arvenses y prevención de enfermedades ya sean carenciales o infecciosas. Se maximiza la fijación de nitrógeno a través de leguminosas y un óptimo aprovechamiento de la energía solar.

Debe recurrirse al principio de la diversidad ordenada mediante asociaciones y rotaciones de cultivos utilizando técnicas tales como los cultivos en relevo o en siembras simultáneas, cultivos intercalados, siembras intermedias para abono verde, cultivos en callejones y cultivos de cobertura entre otros. El plan de rotación y asociación busca alternar plantas que se benefician mutuamente y para eso debe conocerse los aportes de cada cultivo a la fertilidad del suelo, y su grado o nivel extractivo, buscando la máxima capacidad de autogeneración y conservación de la fertilidad orgánica en la unidad agropecuaria.

ROTACION.

La rotación de cultivos consiste en ocupar la tierra con cultivos diferentes que se suceden en el tiempo con el fin de mantener la fertilidad y salud del suelo.

Es necesario planificar y ordenar el territorio de la finca. El área de la unidad productiva de la finca se divide en parcelas similares, por facilidad se recomienda dividir las en un número igual al número de años y determinar cuales cultivos van a sucederse y así asegurar un trabajo adecuado. Se deben alternar y suceder cultivos con sistemas radiculares y requerimientos nutritivos diferentes.

En un programa de rotación debe determinarse la ubicación del cultivo previo y del cultivo posterior, el tipo de suelo y demás aspectos que permitan determinar fechas óptimas de

siembra, períodos libres entre los cultivos previos y posteriores para una preparación adecuada del suelo. Debe tenerse en cuenta que no todos los cultivos y variedades son apropiados para determinadas ubicaciones y ambientes.

Es de mucha utilidad la elaboración de un plan utilizando gráficas donde se describan las rotaciones y asociaciones. De esta manera puede planificarse el orden en el espacio y en el tiempo, además, de poder tener en cuenta áreas, volúmenes de producción y faenas agrícolas.

ASOCIACION.

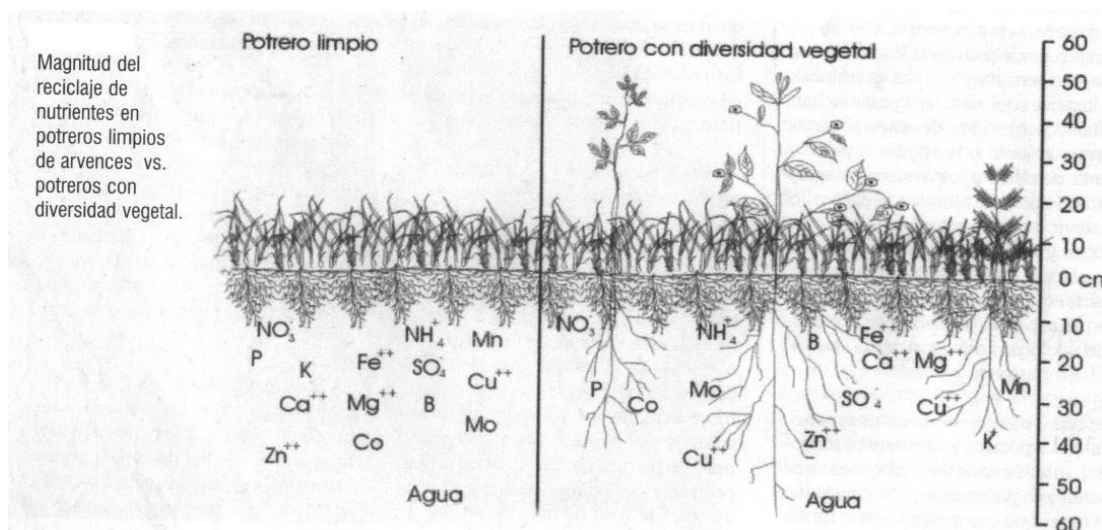
Consiste en la instalación de dos o más cultivos en un mismo campo, no establecidos necesariamente al mismo tiempo y obedeciendo a un plan de rotación.

Las asociaciones deben diseñarse basadas en el principio de la diversidad ordenada, buscando facilitar el adecuado desarrollo de las labores culturales y el incremento adecuado de la productividad. Debe ponerse máxima atención a las características de compatibilidad, beneficio mutuo, distanciamiento, características aéreas y radicales.

En lo posible, deben asociarse cultivos que presenten características vegetativas y desarrollo radicular diferentes, para aprovechar los diferentes niveles tanto en la superficie como dentro del suelo y poder utilizar mejor la existencia de nutrientes y la humedad en las diferentes capas del mismo. La parte aérea de la planta debe permitir un máximo aprovechamiento de la luz solar, así como del espacio disponible en lo vertical y en lo horizontal. El ordenamiento estructural del sistema debe buscar también una máxima cobertura del suelo.

Algunos sistemas tradicionales utilizan la asociación Maíz + Fríjol en rotación continua, lo cual no es recomendable. Una secuencia continua, año tras año, puede ser peligrosa y hasta contraproducente, porque las plantas excretan por sus raíces sustancias que estimulan a unas y reprimen a otras, lo que puede ocasionar un desequilibrio en el sistema del suelo y con ello fomentar enfermedades.

Un análisis de la tradicional asociación Maíz + Fríjol + Calabaza enseña que el maíz aprovecha la luz en la parte más alta, le sigue el fríjol en la parte media, el cual, además, usa el maíz como tutor y la calabaza, que tiene menores requerimientos de luz, se ubica en la parte inferior. Además, se observa el enraizamiento superficial del maíz; la calabaza lo hace a mediana profundidad. Esto indica que el aprovechamiento de los nutrientes se hace a diferentes niveles. Es necesario resaltar que la diversidad de excreciones de las raíces favorece una actividad diversa y equilibrada del suelo. Además, esta asociación permite fijar nitrógeno atmosférico en el suelo, aprovechar la humedad de las capas más profundas y mejorar la bioestructura del mismo con un aporte mayor de materia orgánica. En las praderas también ocurre un fenómeno similar, como se aprecia en la siguiente figura.



TIPOS DE ASOCIACION DE CULTIVOS.

- **Cultivos intercalados:** Es la siembra simultánea de dos o más cultivos en el mismo terreno, en surcos independientes pero vecinos.
- **Cultivos mixtos:** Consiste en sembrar simultáneamente dos o más cultivos en el mismo terreno, sin organización de surcos.
- **Cultivos en franjas:** Consiste en la siembra simultánea de dos o más cultivos en el mismo terreno, pero en franjas amplias. Esto permite un manejo independiente de cada cultivo.
- **Cultivos de relevo:** Consiste en la siembra de dos o más cultivos en secuencia, sembrando o transplantando el segundo antes de la cosecha del primero. Luego de la cosecha del primer cultivo, el segundo aprovecha el mayor espacio y los residuos (rastros) para su desarrollo.
- **Cultivo de relevo para abono verde:** Son cultivos, especialmente leguminosas, que pueden servir de abono verde e incluso de alimento humano y animal. Sirven de cultivos de cobertura, controlan enfermedades, "plagas" y algunas plantas mal llamadas "malezas".

Las experiencias anteriormente descritas enseñan que una agricultura basada en cultivos de cobertura, abonos verdes, rotaciones, asociaciones y la siembra directa sobre la materia orgánica exige al agricultor desarrollar su creatividad. También muestran que los cambios en la agricultura moderna no dependen tanto de inmensos recursos económicos, maquinarias, sustancias sintetizadas químicamente y manipulación genética, como sí de una conciencia que permita reconocerle a las plantas y los animales su condición de seres vivos y de la capacidad de descubrir y prevenir impactos dañinos para los ecosistemas. Además, que en

la actualidad, la anhelada transición a una agricultura sostenible y apropiada al trópico, obedece más a los cambios de actitud psicológica en nuestra relación con el mundo natural y la sociedad que de simples ajustes tecnológicos.-

LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS.

CICLO DEL NITRÓGENO.

La función ecológica de los microorganismos en el suelo debe conocerse ya que la agroecología busca proteger y utilizar las funciones naturales de éstos en los procesos de la agricultura.

Los procariotas son descomponedores ya que degradan el material orgánico a formas utilizables por las plantas (productoras primarias).

El mundo bacteriano desempeña un papel fundamental en el ciclo del nitrógeno, ya que aunque el gas nitrógeno (N_2) es el 78 % de los gases de la atmósfera terrestre, hay momentos en que el movimiento de éste se asemeja más a un mineral que a un gas.

Pero la mayor parte de los seres vivos no pueden utilizar el nitrógeno atmosférico elemental para elaborar aminoácidos y otros compuestos nitrogenados y por eso ellos dependen del nitrógeno presente en los minerales del suelo. A pesar de la gran cantidad de N_2 en la atmósfera, en el suelo suele ser un factor limitante para el crecimiento vegetal como consecuencia de su escasez.

Ya que las poblaciones de eucariotas (Plantas y animales) no pueden utilizar el nitrógeno directamente de la atmósfera, un primer paso para poder ser incorporado a los compuestos orgánicos lo deben realizar algunas especies de procariotas.

La mayoría de las plantas no pueden utilizar el nitrógeno gaseoso porque cada molécula de éste consiste de dos átomos de nitrógeno unidos por un enlace covalente triple, el cual es excepcionalmente fuerte. Este enlace debe romperse y permitir que el nitrógeno pueda combinarse con otros elementos y formar una gran diversidad de compuestos tales como las moléculas de proteínas, los ácidos nucleicos y la clorofila.

Se ha estudiado la reacción química que separa el nitrógeno molecular y une los átomos resultantes con oxígeno e hidrógeno, y se sabe que requiere mucha energía.

Por lo tanto las plantas dependen de iones que contiene hidrógeno, como es el caso del ión amonio (NH_4^+) o un oxígeno como en el caso del ión nitrato (NO_3^-).

El ciclo de este elemento, por medio del cual circula y recircula a través del mundo de los organismos y se fija en ellos, y se integra al ambiente biótico, se divide en las siguientes etapas:

Fijación biológica del nitrógeno.	Realizado por bacterias. Se convierte el nitrógeno (N ₂) atmosférico en amoníaco (NH ₃).
Nitrificación.	Realizado por bacterias. Se convierte el amoníaco en nitrito (NO ₂ ⁻) y después en nitrato (nitrógeno nítrico) (NO ₃ ⁻).
Asimilación.	Plantas Absorben directamente ión nitrato (NO ₃ ⁻), aunque algunas pueden utilizar el ión amonio (NH ₄ ⁺)
Amonificación.	Realizado por bacterias y hongos. Las sustancias nitrogenadas orgánicas son transformadas con la liberación de amoníaco y compuestos del ión amonio (NH ₄ ⁺) y recircula.
Desnitrificación.	Realizado por bacterias. Es la reducción del nitrato (NO ₃ ⁻) a nitrógeno gaseoso (N ₂)

1. Fijación biológica del nitrógeno.

Este proceso se llama fijación porque el N₂ se fija en una forma utilizable para los organismos. Para esto el nitrógeno gaseoso (N₂) se transforma en amoníaco (NH₃). La fijación biológica del nitrógeno es realizada por bacterias fijadoras de nitrógeno que habitan en el suelo y los ambientes acuáticos. Esas bacterias emplean la enzima **Nitrogenasa** para romper la molécula de nitrógeno (N₂) y combinarlo con el hidrógeno.

En todo el planeta la mayor parte de la fijación del nitrógeno es realizada por unos pocos tipos de procariontes, que incluyen formas de vida libre tales como las cianobacterias simbióticas y las bacterias heterótrofas.

Las bacterias comienzan a crecer, duplicando aproximadamente su tamaño y sintetizando un complejo enzimático llamado *nitrogenasa*. Este complejo enzimático que consta de dos polipéptidos diferentes (uno contiene hierro –Fe- y el otro molibdeno –Mo-) cataliza la siguiente reacción:



La energía necesaria para romper el fuerte enlace triple de la molécula de nitrógeno la suministra el ATP (adenosín trifosfato); aproximadamente 15 a 20 moléculas de ATP se hidrolizan a ADP (adenosín difosfato) por cada molécula de nitrógeno gaseoso que se incorpora en el amoníaco (NH₃). El amoníaco (NH₃) producido por esta reacción se combina con compuestos de carbono sintetizados por células fotosintéticas de las plantas produciéndose aminoácidos.

Aunque existen muchas especies de bacterias que fijan nitrógeno atmosférico, ahora se resaltarán las:

- Bacterias de vida libre: *Azotobacter* (Aeróbica) y *Clostridium* (anaeróbica).
- Bacterias de los nódulos simbióticos de las leguminosas: *Rhizobium*.
- Algas verdeazules llamadas cianobacterias. Estas pueden actuar en forma independiente o en simbiosis con otros organismos. Es el caso de helecho flotante *Azolla* que contiene diminutos poros llenos de algas verdeazules simbiotes (*Anabaena*) que fijan nitrógeno en una forma activa.

Una de las bacterias más común entre las simbióticas fijadoras de nitrógeno es el *Rhizobium* que invade las raíces de las leguminosas (vitabosa - *Mucuna deeringianum*, canavalia - *Canavalia ensiformis*, guandul - *Cajanus cajan*, guamo – *Inga sp*, entre otras). Su efecto benéfico se conoce desde hace siglos. En la agricultura se debe rotar o asociar un cultivo leguminoso con uno no leguminoso, como por ejemplo el maíz o el arroz con una planta leguminosa. Las leguminosas que viven en simbiosis con los *Rhizobium*, permite que estas bacterias recuperen hasta 350 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Este queda acumulado en las raíces y en las otras partes del cuerpo de las plantas y cuando estas mueren o son cortadas por los agricultores, al descomponerse reintegran al nitrógeno y a otros elementos a los ciclos biogeoquímicos.

Los rizobios penetran en los extremos de los pelos radiculares de las leguminosas cuando éstas son todavía plántulas. Las bacterias frecuentemente inducen a estas células epidérmicas a que produzcan tubos celulósicos internos o cordones de infección y es a través de éstos por donde las bacterias penetran a las células corticales de la raíz. Estos cordones de infección se ramifican dentro de la corteza, poblándose ésta con bacterias en multiplicación activa. Pronto ocurre una proliferación de las células corticales circundantes, se cree que como resultado de las hormonas liberadas durante el crecimiento de los rizobios. Los cordones de infección pasan generalmente cerca de los núcleos de las células corticales y parece que causan su degeneración o deformación. En la proximidad de los núcleos se forman vesículas, las cuales luego se rompen, liberando las bacterias en el citoplasma de las células hospedadoras.

El nitrógeno puede también fijarse en forma de nitrato (NO_3^-) como consecuencia de las descargas eléctricas en la atmósfera (rayos), erupciones volcánicas y por medios industriales, procesos que aportan la energía suficiente para separar el enlace molecular del N_2 .

2. Nitrificación

Este amoníaco es oxidado por bacterias comunes que habitan el suelo, las Nitrosomonas y las Nitrococcus. En este proceso se genera energía la cual es utilizada por las bacterias como su fuente de energía primaria.

Las bacterias oxidan el amoníaco (NH_3) a nitrito (NO_2^-) así:



Este nitrito (NO_2^-) que es tóxico para plantas (también en la salud de los animales juega un papel importante), pero es poco frecuente que se acumule. Pero es acá donde bacterias nitrificantes del género *Nitrobacter* vuelven a desempeñar un papel decisivo para evitar acumulación de nitrito (NO_2^-) y oxidan el ión nitrito (NO_2^-) a ión nitrato (NO_3^-) por la reacción:



Aunque las plantas pueden utilizar el ión amonio (NH_4^+) directamente, predomina la forma de ión nitrato (NO_3^-) para que el nitrógeno se mueva en el suelo hacia las raíces.

3. Asimilación

Cuando el nitrato (NO_3^-) entra a la célula vegetal se reduce ahí otra vez a ión amonio (NH_4^+). En este paso de asimilación se necesita una fuente de energía, obtenida a través del proceso de la fotosíntesis. Los iones de amonio (NH_4^+) otra vez formados, son transferidos a compuestos que poseen carbono para producir aminoácidos y otros compuestos orgánicos que necesitan nitrógeno y hacen parte del cuerpo vegetal (productores primarios). Los herbívoros consumen los tejidos vegetales y los transforman en tejidos animales y los consumidores secundarios al comerse a los consumidores primarios hacen otra transformación.

4. Amonificación.

Es la conversión de compuestos nitrogenados orgánicos en amoníaco. La mayor parte del nitrógeno hallado en el suelo es el resultado de la descomposición de materiales orgánicos que hayan conformado los cuerpos de los animales y plantas. El ciclo empieza cuando ellos producen sus desechos (hojarasca, troncos, ramas, heces, orina) y sus cadáveres. En este momento se encuentran como compuestos orgánicos complejos tales como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleótidos. Ellos son descompuestos o degradados a formas más simples por acción de los descomponedores procariotas (bacterias) y los hongos.

Estos microorganismos usan las proteínas y los aminoácidos para construir sus propias proteínas y liberan al ambiente abiótico el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) o de ión amonio (NH_4^+). Este proceso también se puede dar en los ambientes acuáticos.

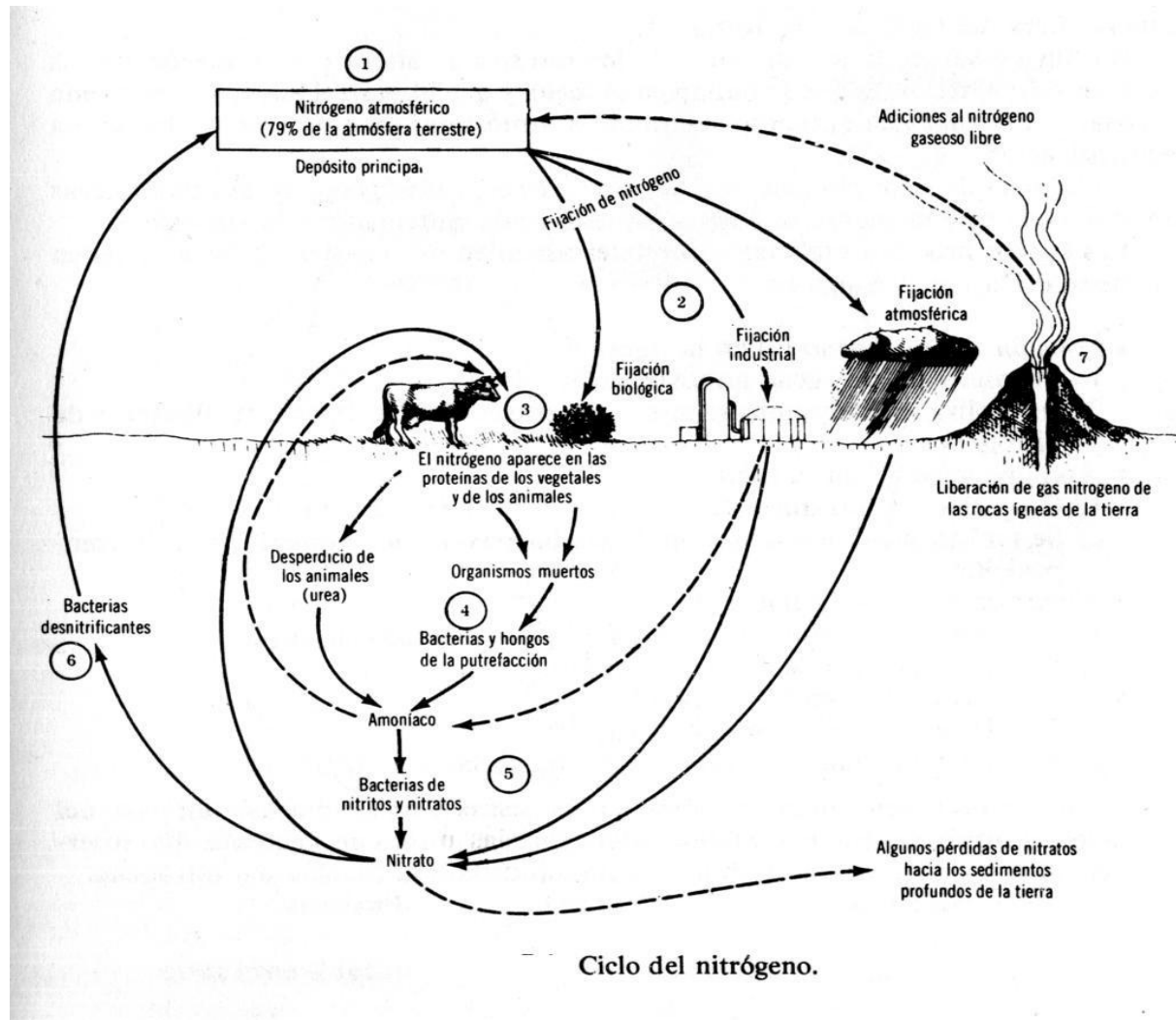
Este amoníaco producido queda nuevamente disponible para volver a entrar en los procesos de nitrificación y asimilación. Es por esto que la mayor cantidad de nitrógeno disponible en el suelo procede de la **recirculación** del nitrógeno orgánico que ocurre durante la amonificación.

También puede existir una cantidad de amoníaco (NH_3) que puede proceder de la orina de los animales y del expulsado por los volcanes.

5. Desnitrificación.

Es la reducción del nitrato (NO_3^-) a nitrógeno gaseoso (N_2) por acción de bacterias anaeróbicas. Aunque el ciclo del nitrógeno parece completo y autosostenido, el suelo pierde continuamente nitratos (NO_3^-), los cuales salen del ciclo. Esto se debe a la existencia de procesos naturales y procesos inducidos por las acciones humanas tales como la erosión. La extracción de elementos a través de las cosechas y de los cuerpos de los animales que se exportan a otras áreas, la incineración de la biomasa vegetal, el agua que se infiltra o

arrastra nutrientes ya sea por la lixiviación o la escorrentía, entre estos el nitrógeno, van reduciendo paulatinamente la cantidad de nitrato (NO_3^-) disponible para las plantas.



El manejo de prácticas erróneas de agricultura, está provocando el fenómeno de la compactación y encharcamiento de los suelos. Esto provoca una pérdida acelerada de nitratos (NO_3^-) como consecuencia de una pobre aireación del suelo. Ante la ausencia de oxígeno algunas especies de bacterias anaeróbicas degradan los nitratos, liberando nitrógeno (N_2) a la atmósfera, ya que utilizan el oxígeno para su respiración.

Si el nitrógeno perdido no se reemplazara continuamente toda la vida del planeta se extinguiría. El nitrógeno "**perdido**" regresa al suelo por medio del proceso de fijación del nitrógeno, por el cual los compuestos orgánicos nitrogenados incorporan el nitrógeno atmosférico. Se calcula que aproximadamente 250 millones de toneladas métricas de nitrógeno son añadidas al suelo cada año, de las cuales unos 200 millones de ellas son de origen biológico y los otros 50 millones de toneladas restantes, proceden principalmente de

fertilizantes químicos producidos por medio de procesos industriales, que necesitan obtener la energía para el proceso de los combustibles fósiles. Se conoce que una tonelada de fertilizante químico tipo urea consume durante el proceso de producción el equivalente de dos toneladas de petróleo.

En la agricultura convencional se calcula que una tercera parte de la cantidad de energía necesaria para establecer y recolectar un cultivo de maíz, se utiliza en la fertilización química, la cual depende del suministro y de los costes del petróleo.

El fenómeno de la eutrofización cultural ocurre porque si se fertilizan suelos con nitratos y estos son arrastrados en exceso hacia ríos y lagos, allí van a proliferar algas. Ellas al morir deben ser descompuestas por los desintegradores (bacterias descomponedoras aeróbicas) las cuales consumirán el oxígeno disuelto en el agua y también bajará la concentración de este gas porque la vegetación fotosintética disminuye.

Otra forma de desequilibrarse este ciclo es cuando hay lixiviación (los nitratos se disuelven y se infiltran) contaminando el agua subterránea y si se consume agua de pozo contaminada hay intoxicación con nitratos en niños y adultos, además de los animales.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

ALTIERI, Miguel. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. 3º ed. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo. La Habana. 1997.

AUBERT, Claude. El huerto biológico. Integral Ediciones. Barcelona. 1980.

BENZING, Albrecht. Agricultura orgánica. Fundamentos para la región andina. Witzhausen (Alemania): Neckar-Verlag: 2001

BUNCH, Rolando. Dos Mazorcas de Maíz. Una guía para el mejoramiento agrícola orientado hacia la gente. World Neighbors, Inc. (Vecinos Mundiales). Oklahoma City. 1985.

BUNCH, Rolando. El Uso de Abonos Verdes por Agricultores Campesinos: Lo que hemos aprendido hasta la fecha. En: Informe Técnico Centro Internacional de Información Sobre Cultivos de Cobertura. CIDICCO. N° 3. 2ª Ed. Tegucigalpa. Honduras. Julio de 1995.

BUNCH, Rolando. Para agricultores de escasos recursos Nuevas Posibilidades. El trabajo de EPAGRI en el estado de Santa Catarina, Brasil. En: Revista Hoja a Hoja del Maela. Año 5. N° 8. (II época), Asunción (Paraguay), Julio de 1995, pp. 11 –17.

Burkhill, I.H. A Dictionary of the economic products of the Malay Peninsular. Ed. Governments of Malaysia and Singapore. Kuala Lumpur. 1968.

COOPER, David. Cultivando Diversidad. Intermediate Technology Development Group. Comisión de Coordinación de Tecnología Andina, Lima, 1993.

DEFFUNE, Geraldo. Fundamentos y Prácticas de Agricultura Sustentable. En: Instituto Biodinámico de Desarrollo Rural. Caixa Postal 321 – 18603 – 970. Botocatu, S.P. Brasil. 12 p.

ELJK BOS, Clara Van; MORENO, Luis Alfredo; VEGA G, Luis Enrique. Recuperación de tierras invadidas por el Imperata contracta (H.B.K.) Hitch, a partir de la incorporación de la leguminosa Mucuna deeringiana (Bort) Small en Urabá – Colombia. Convenio CONIF – HOLANDA – CORPOURABA, En: Boletín CONIF INFORMA N° 8, Bogotá, Agosto 1987

HENAO S, Jesús E. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Editorial Universidad Santo Tomás. Bogotá. 1995

FAULKNER, Edward H. La Insensatez del Agricultor. Erosión un planteo ecológico. (Plowman's Folly). Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981. 138p. Este texto aparece por primera vez en los Estados Unidos de Norte América en el año de **1943**.

GUZMAN CASADO, Gloria, GONZALEZ DE MOLINA, Manuel, SEVILLA GUZMÁN, Eduardo. Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1999

KOLMANS, Enrique y VÁSQUEZ, Darwin. Manual de Agricultura Ecológica. MAELA – SIMAS. Managua, 1996.

NEBEL, Bernard, WRIGHT, Richard T. Ciencias Ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. 6º ed. Prentice Hall. México. 1999.

NEUGEBAUER, Bern. Agricultura Ecológicamente Apropiada: Manual de metodología para la promoción de una Agricultura Ecológica. 2ª ed. Oficina para el Desarrollo Internacional – DSE. Berlín, 1993

ODUM, Eugene P. Ecología. Peligra la vida. 2º ed. Editorial Interamericana – Mc Graw – Hill. México, D.F., 1995.

PASOLAC – SIMAS. Integración de leguminosas en sistemas locales de producción agropecuaria. Ed. Enlace, Managua, 1996.

PIPER, C. V. y MORSE, W. J. The Velvet Bean. En: Farmer's Bulletin N° 1276. Ed. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. **1922**

PRIMAVESI, Ana. Manejo Ecológico del Suelo: La agricultura en las regiones tropicales. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1984.

PRIMAVESI, Ana. Memorias del curso dictado en el IICA por la Dra. Ana Primavesi sobre el manejo ecológico del suelo tropical. Bogotá (Colombia), Febrero 26, 27 y 28. 2001

PRIMAVESI, Ana. Cartilha do Solo. Como reconhecer e sanar seus problemas. Fundação Mokiti Okada. Brasil. 2001

RESTREPO A. Juan Guillermo y MÁRQUEZ C. Rudecinda. Experiencia Agropecuaria. Cooperativa De Las Tribus. Gilgal. Chocó. En: Economías de las Comunidades Rurales en el Pacífico Colombiano. Quibdó 19 – 21 de octubre de 1994. Proyecto Biopacífico – Ministerio del Medio Ambiente. Santa Fé de Bogotá. 1995. Pp. 61 – 68.

RESTREPO R Jairo. El Suelo, la vida y los abonos orgánicos. Ed. Enlace - SIMAS (Servicio de información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible). Managua, 1998. 86 p.

SANCLEMENTE H, Oscar. Uso de la Vitabosa (*Mucuna deeringiana*) para la recuperación de áreas invadidas por la Vendeaguja (*Imperata contracta*). Apartadó, Programa de Economía Campesina, CONIF, 1987. 10 p.

VOISIN, André. Dinámica de los pastos. Madrid: Ed. Tecnos: 1974