

LOS CICLOS BIOGEOQUIMICOS

El organismo es un sistema de tránsito de las sustancias inorgánicas, mientras en el ecosistema esas sustancias circulan entre los organismos y el medio ambiente, por lo que se les denomina ciclos. Estos ciclos reciben la denominación de biogeoquímicos, por pasar por los seres vivos (bios = vida), el suelo (geo = tierra) y estar sujetos a reacciones químicas con uso y liberación de energía.

En los ciclos biogeoquímicos se pueden reconocer dos partes o compartimientos: la biótica y la abiótica.

- La parte biótica: Comprende la inclusión de sustancias inorgánicas en el organismo y la subsiguiente descomposición y remineralización. El intercambio de elementos es rápido, pero la cantidad de sustancias inorgánicas no es mayor. El organismo vivo toma elementos inorgánicos y al morir y descomponerse éstos son devueltos al ambiente para ser nuevamente aprovechados.

- La parte abiótica: El medio contiene gran cantidad de sustancias inorgánicas, que se descomponen con lentitud y están a disposición del organismo en forma abundante y fácil (agua, dióxido de carbono, oxígeno) o escasa y difícil (fósforo y nitrógeno, por ejemplo). En el primer caso se trata de ciclos atmosféricos con grandes reservas de materiales; en el segundo se trata de materiales sedimentarios (fósforo, hierro, azufre, magnesio, y elementos menores).

La deficiencia de alguno de estos elementos y sustancias en un ecosistema puede producir serios problemas en el proceso de producción de las plantas (producción primaria) y entre los consumidores (animales y seres humanos). Por ejemplo, la deficiencia o falta de yodo en ciertas zonas produce problemas como el bocio o coto en los seres humanos y problemas en los animales, especialmente durante la época de gestación.

La producción agrícola, ganadera y forestal moderna se basa en procesos de mejora de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes para aumentar la producción por área. Estos procesos modernos se basan en gran medida en la fertilización de los campos con fertilizantes químicos, que añaden cantidades adicionales de los elementos esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio), además de

elementos menores como magnesio, bórax, y otros compuestos químicos.

En muchas partes los suelos son deficitarios en ciertos elementos. Los casos más notables son la deficiencia del fósforo en los suelos amazónicos, y la falta de nitrógeno en los suelos muy húmedos o pantanosos.

Existen hoy técnicas de amplio uso para hacer el análisis de los suelos y determinar las necesidades de elementos para una fertilización adecuada y de acuerdo a los distintos tipos de cultivos, porque cada uno de ellos tiene exigencias especiales.

A pesar de que todos los elementos constitutivos de los seres vivos tienen ciclos, por su importancia explicaremos los ciclos biogeoquímicos de; carbono, del nitrógeno, del fósforo, del potasio y del cobre. El ciclo del agua, que es uno de los más importantes para la naturaleza y los organismos, será expuesto en el capítulo correspondiente al agua como recurso natural, porque forma parte del proceso de renovación del recurso agua.

CICLO DEL FOSFORO.

El fósforo (P4) es un elemento esencial para los seres vivos, y los procesos de la fotosíntesis de las plantas, como otros procesos químicos de los seres vivos, no se pueden realizar sin ciertos compuestos en base a fósforo. Sin la intervención de fósforo no es posible que un ser vivo pueda sobrevivir.

El ciclo del fósforo se reduce a los siguientes procesos:

- El fósforo se encuentra en la naturaleza en forma de compuestos de calcio (apatita), hierro, manganeso y aluminio conocidos como fosfatos, que son poco solubles en el agua. En los buenos suelos agrícolas el fósforo está disponible en forma de iones de fosfato ($P_2 O_5$).

- Las plantas absorben los iones de fosfato y los integran a su estructura en diversos compuestos. Sin fósforo las plantas no logran desarrollarse adecuadamente.

- Los animales herbívoros toman los compuestos de fósforo de las plantas y los absorben mediante el proceso de la digestión, y los integran a su organismo, donde juegan un rol decisivo en el metabolismo.

- Los carnívoros toman el fósforo de la materia viva que consumen y lo integran a su estructura orgánica.

En ciertas zonas de la Tierra se han formado acumulaciones de compuestos fosforados y que son ampliamente explotados para fertilizar los suelos agrícolas y mejorar su contenido en fósforo. En el Perú existen dos depósitos muy importantes de compuestos fosforados: los yacimientos de roca fosfórica de Bayóvar (Piura) y el guano de las islas.

Los yacimientos de roca fosfórica de Bayóvar son depósitos naturales y de carácter agotable, porque una vez explotados se acabarán.

- Los seres vivos (plantas y animales) al morir restituyen los compuestos de fósforo al suelo y al agua por el proceso de descomposición. Los compuestos liberados son otra vez aprovechados por las plantas para reiniciar el ciclo.
- Los compuestos de fósforo pueden ser transportados por los sedimentos de los ríos y acumulados en los suelos aluviales, o sea, aquellos que se originan por la acumulación de los sedimentos del agua, generalmente a lo largo de los ríos y en el fondo de los lagos.
- Los compuestos de fósforo pueden llegar a la atmósfera en forma de polvo, el cual al caer al suelo es depositado y reintegra esos compuestos al suelo.
- En la naturaleza la disponibilidad de fósforo se produce por la descomposición de rocas, que contienen fosfatos, y mediante la erosión natural llegan a los suelos y a las aguas (ríos, lagos y mares). En las zonas de erupciones volcánicas, pasadas o presentes, los compuestos de fósforo son depositados por las cenizas. Por esta razón los suelos de origen volcánico son ricos en compuestos de fósforo.

CICLO DEL NITROGENO

El nitrógeno (N_2) es sumamente importante para las plantas y para la producción de proteínas, esenciales para la vida de los animales y del ser humano. La carne (los músculos, por ejemplo) son proteínas. La leche y los huevos son ricos en proteína, como también el frijol, la lenteja, el pajar, el garbanzo y el arvejón, entre otros.

El ciclo del nitrógeno consiste en los siguientes procesos:

- El nitrógeno es un gas que forma el 78% del aire, siendo uno de los elementos más abundantes sobre la Tierra. El nitrógeno atmosférico no puede ser utilizado en forma normal por los seres vivos, sino que tiene que ser transformado en compuestos absorbibles por las plantas.
- Muy pocos organismos pueden aprovechar directamente el nitrógeno del aire, y la mayor parte lo hace a través de bacterias, que viven en el suelo o en las raíces de las leguminosas, formando nódulos. Estas bacterias (*Rhizobium*) fijan el nitrógeno del aire; lo transforman en compuestos aprovechables (amoníaco y nitratos), y la planta los absorbe para formar proteínas. Estas bacterias se encuentran especialmente en las raíces de las leguminosas (frijoles, alfalfa, guaba o paca, etc.). Artificialmente se puede inocular estas bacterias y aumentar la productividad de cualquier leguminosa (Rhizobiología).
- Las plantas fabrican proteínas, en reacciones químicas muy complejas (aminoácidos y proteína), que son aprovechadas por los animales herbívoros para su crecimiento y formación de carne. Los carnívoros aprovechan las proteínas a través de la carne que consumen.

Los seres vivos al morir son descompuestos por procesos de putrefacción o descomposición, en el que intervienen bacterias y hongos, y se restituyen al medio los compuestos a base de nitrógeno que contienen, para un aprovechamiento posterior por las plantas.

- Una parte de los compuestos nitrogenados de la descomposición son lavados por la lluvia y llega a las aguas de los ríos y lagos. El proceso de lavado, llamado también lixiviación, de los compuestos nitrogenados del suelo es más intenso en zonas muy lluviosas y esto empobrece los suelos, los cuales pierden su fertilidad. En un suelo fértil los compuestos nitrogenados están en la materia orgánica, o sea, la materia en descomposición. Por eso cuánto más materia orgánica tenga un suelo, más fértil será, porque contiene compuestos de nitrógeno, esenciales para el crecimiento de las plantas.

- Los animales y los humanos eliminan una parte de los compuestos nitrogenados por los excrementos y los orines, que son descompuestos y restituyen al ambiente los compuestos nitrogenados para ser aprovechados nuevamente. El guano de las islas, producido por las aves guaneras, contiene abundantes compuestos nitrogenados, que se almacenan en las islas guaneras porque no son lavados por las lluvias a causa de la aridez.

- Por procesos químicos, con intervención de bacterias, los compuestos nitrogenados pueden ser descompuestos hasta gas nitrógeno, proceso que se denomina desnitrificación. De esta forma el N_2 al final, retorna a la atmósfera, para reiniciar el ciclo.

CICLO DEL CARBONO

El ciclo del carbono (C) consiste en un proceso muy complicado, cuyos elementos principales son los siguientes:

- El carbono está almacenado en el aire, en el agua y en el suelo en forma de un gas llamado dióxido de carbono (CO_2). En el aire está presente como gas; en el agua en forma disuelta, y en el suelo, en el aire o agua del suelo. El CO_2 está disponible en cantidades abundantes en el medio.

- Las plantas toman el carbono del CO_2 del agua (plantas acuáticas), del aire o del suelo (plantas terrestres) y con la energía de la luz del Sol producen alimentos (glucosa, sacarosa, almidón, celulosa, etc.), y liberan oxígeno (O_2) al aire, al agua o al suelo. Este proceso químico se denomina fotosíntesis. En el ciclo del carbono las plantas juegan el rol más importante y una gran parte de la masa de las plantas está conformada por compuestos de carbono: azúcares, almidones, celulosa, madera o lignina y compuestos diversos. Cada planta tiene miles de compuestos orgánicos elaborados en base a la fotosíntesis y procesos celulares posteriores.

- Los animales herbívoros se alimentan de las plantas y usan los compuestos orgánicos para vivir y formar su propia materia. Los carbohidratos (azúcares, almidón, celulosa, lignina, etc.) son descompuestos por los herbívoros por procesos químicos en las células y forman el combustible de su cuerpo. Este proceso se inicia con la respiración, o sea la toma de oxígeno del aire o del agua. Con el oxígeno se descomponen los azúcares y se emite CO_2 al aire o al agua, con producción de diversas formas de energía, especialmente calor. En la naturaleza existen muchos tipos de animales herbívoros, según las partes o compuestos de las plantas de las cuales se alimentan. Los principales son los que comen

hojas (foliófagos); frutos (frugívoros); y madera (xilófagos), entre otros tipos. Para digerir las partes de las plantas estos herbívoros tienen aparatos digestivos especialmente adaptados. Por el proceso de la respiración los herbívoros emiten al aire o al agua el CO_2 .

- Los animales carnívoros toman la materia de otros animales por la alimentación. Absorben los componentes de los animales por el proceso digestivo y los descomponen en las células con ayuda del oxígeno que respiran (del aire o del agua) y emiten CO_2 al aire o al agua. Existen muchos tipos de carnívoros especializados: los que comen zooplancton o animales microscópicos del agua se denominan zooplanctívoros; los que comen insectos se denominan insectívoros; los que comen peces se denominan piscívoros, etc.

- La descomposición de las plantas y de los animales al morir restituye el carbono al medio en forma de CO_2 y materia orgánica, que son aprovechados por otras plantas para reiniciar el ciclo. Los organismos vivos, que se encargan de la descomposición, proceso también denominado putrefacción, se denominan detritívoros y están conformados esencialmente por bacterias y hongos.

El ciclo del carbono es fundamental, porque de él depende la producción de materia orgánica, que es el alimento básico de todos los seres vivos.

EL CICLO DEL AZUFRE

El azufre generalmente se encuentra en el material permeable del suelo; así también como:

Azufre cristalino.

En gas natural.

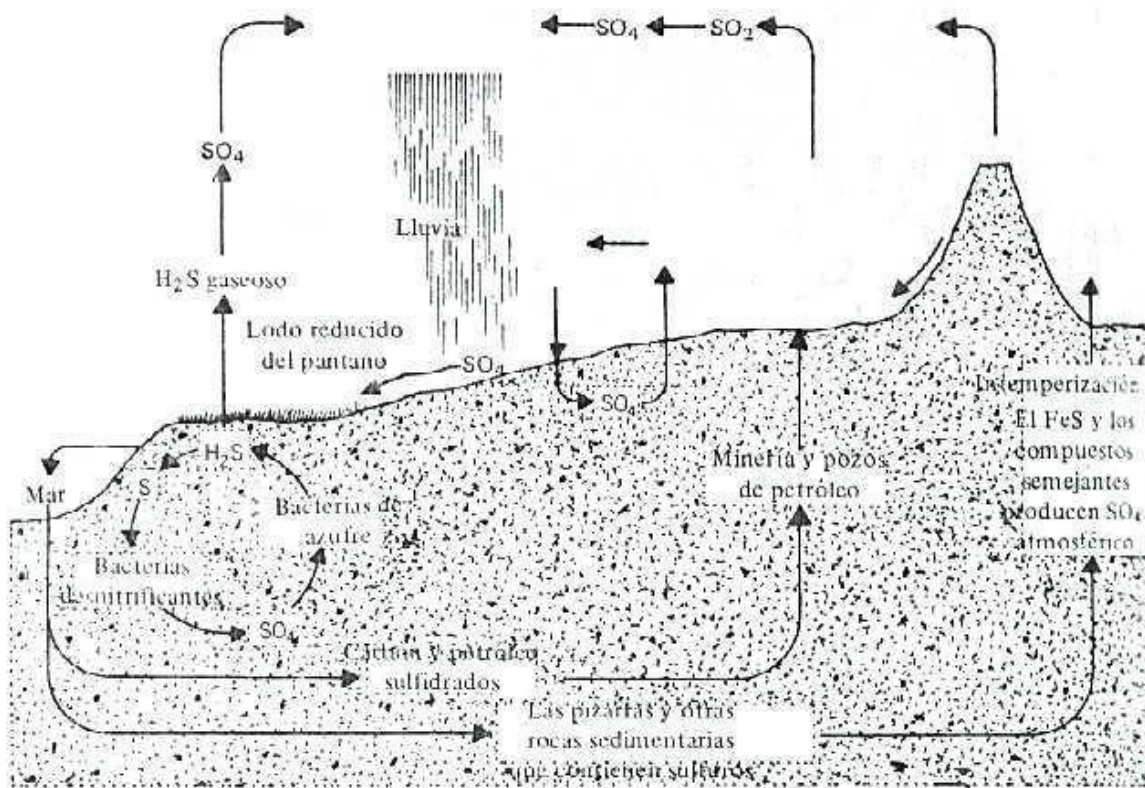
Roca madre (basalto)

En aguas y ríos.

Pirita (blenda).

La intemperización extrae sulfatos de las rocas, los que recirculan en los ecosistemas. En los lodos reducidos, el azufre recircula gracias a las bacterias reductoras del azufre que reducen sulfatos y otros compuestos similares, y a las bacterias desnitrificantes, que oxidan sulfuros.

Animales y plantas como parte de los sistemas naturales



El H₂S que regresa a la atmósfera se oxida espontáneamente es acarreado por la lluvia. Los sulfuros presentes en combustibles fósiles y rocas sedimentarias son oxidados finalmente a ser empleados como combustible por el hombre, debido a movimientos de la corteza terrestre, y a la intemperización, respectivamente.

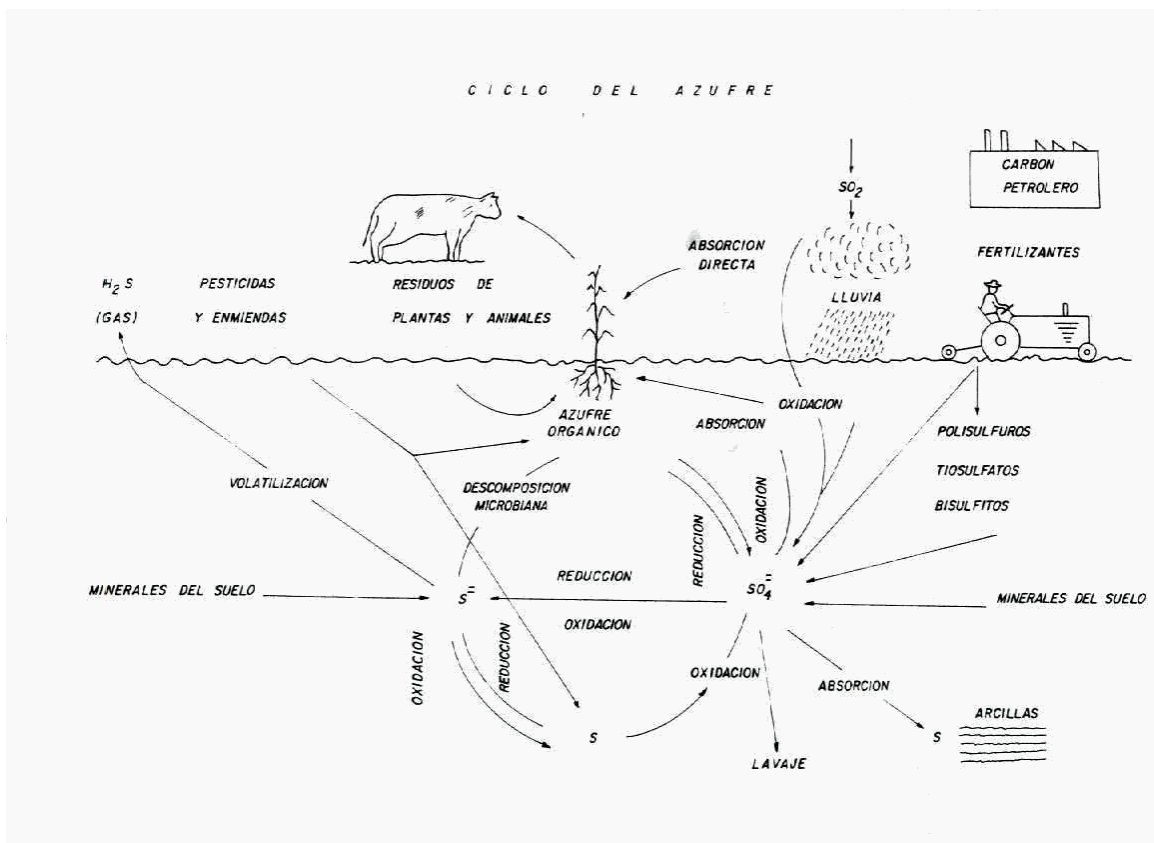
La mineralización del azufre ocurre en las capas superiores del suelo, el sulfato liberado del humus es fijado en pequeñas escala por el coloide del suelo, la fuerza de absorción con la cual son fijadas los aniones crecen en la siguiente escala:

— — — — —

El sulfato es ligado correspondientemente mucho más débilmente que el fosfato del cual pequeñas cantidades es suficiente para reemplazar el SO₄ a través de las raíces. El sulfato es la forma soluble del tratamiento del azufre en la planta donde es reducido para integrar compuestos orgánicos. La reabsorción del SO₄, depende del catión acompañante y crece en el sentido siguiente.

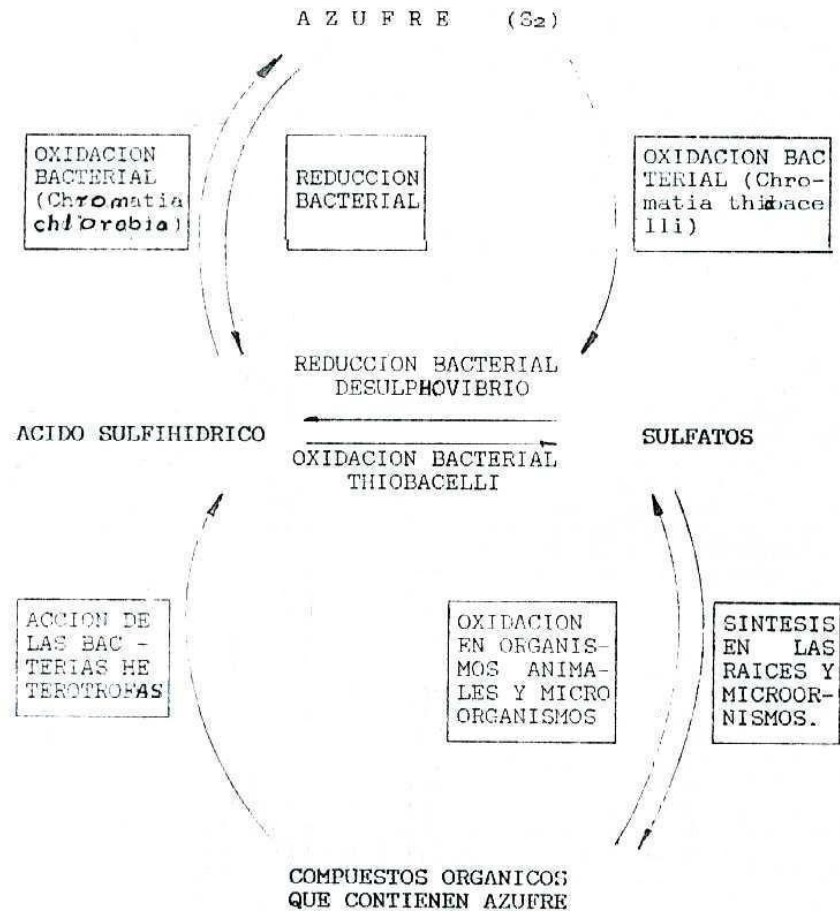
Ca < Mg. < Na < NH < K

En cantidades limitadas el azufre puede absorberse, este proceso puede ser inhibido por el cloro, por el cloro, por las partes epigeas de la planta.



Entre el azufre orgánico y le mineral, no existe una concreta relación en la planta; la concentración de S-mineral, depende en forma predominante de la concentración del azufre in situ, por la cual pueden darse notables variaciones. En cambio el azufre de la proteínas depende del nitrógeno, su concentración es aproximadamente 15 veces menos que el nitrógeno.

CICLO DEL AZUFRE



El azufre es absorbido por las plantas en su forma sulfatado, SO_4 , es decir en forma aniónica perteneciente a las distintas sales: sulfatos de calcio, sodio, potasio, etc. ($SO_4 Ca$, $SO_4 Na_2$)

El azufre no solo ingresa a la planta a través del sistema radicular sino también por las hojas en forma de gas de SO_2 , que se encuentra en la atmósfera, a donde se concentra debido a los procesos naturales de descomposición de la

materia orgánica, combustión de carburantes y fundición de metales.

El azufre en el interior de las células tiene características de poca movilidad. Cumple fisiológicamente algunas funciones importantes, además de constituir distintas sustancias vitales, éstas son:

Forma parte constituyente de las proteínas (cistina, cisteína, metionina).

Forma parte de las vitaminas (biotina).

Es constituyente de las distintas enzimas con el sulfidrilo (SH^-) como grupo activo, que actúan en el ciclo de los hidratos de carbono y en los lípidos (en la oxidación de los ácidos grasos, como la coenzima A, CoA).

Interviene en los mecanismos de óxido-reducción de las células (con el glutatión).

Interviene en la estructura terciaria de las proteínas; las proteínas se ordenan en grandes cadenas moleculares, el azufre ayuda a la constitución de estas macromoléculas además de formar parte de los aminoácidos (compuestos moleculares imprescindibles para la formación de los péptidos, que se unen a su vez para la formación de las proteínas).

Algunas especies como las crucíferas, y entre ellas las liliáceas, adsorben una gran cantidad de sulfatos, produciendo en su contenido celular gran cantidad de sulfuro de alilo que ocasiona el olor característico de algunos vegetales como la cebolla.

El contenido de azufre en las oleaginosas, y especialmente de aquellos frutos con alto contenido de aceite como la mostaza, es notablemente elevado. El azufre actúa sobre el contenido de azúcar de los frutos, a pesar de que el contenido de almidón también puede estimarse; sin embargo no puede hablarse de una elevación del contenido del almidón por la fertilización con el azufre.

El azufre es un componente insustituible de algunas grasas (mostaza y ajo), y también forma parte de las

vitaminas (tiamina y biotina). Este elemento contribuye en la formación de la clorofila, a un desarrollo más acelerado del sistema radicular y de las bacterias nodulares, que asimilan el nitrógeno atmosférico, que viven en simbiosis con las leguminosas. Parte del azufre se encuentran en las plantas en forma oxidada de compuestos inorgánicos.

Las gramíneas y la Papa requieren entre 10-15 Kg/Ha. Las coles 40-70 Kg/Ha.

La deficiencia de azufre se observa en suelos pobres en materia orgánica, suelos arenosos franco arenosos.

Una deficiencia de azufre en el suelo puede traer una disminución de la fijación de nitrógeno atmosférico que realizan las bacterias, trayendo consecuentemente una disminución de los nitratos en el contenido de aquél.

Cuando el azufre se encuentra en escasa concentración para las plantas se altera los procesos metabólicos y la síntesis de proteínas. La insuficiencia del azufre influye en el desarrollo de las plantas.

Los síntomas de deficiencia de azufre son debidos a los trastornos fisiológicos, manifestándose en los siguientes puntos:

Crecimiento lento.

Debilidad estructural de la planta, tallos cortos y pobres.

Clorosis en hojas jóvenes, un amarillamiento principalmente en los "nervios" foliares e inclusive aparición de manchas oscuras (por ejemplo, en la papa).

Desarrollo prematuro de las yemas laterales.

Formación de los frutos incompleta.

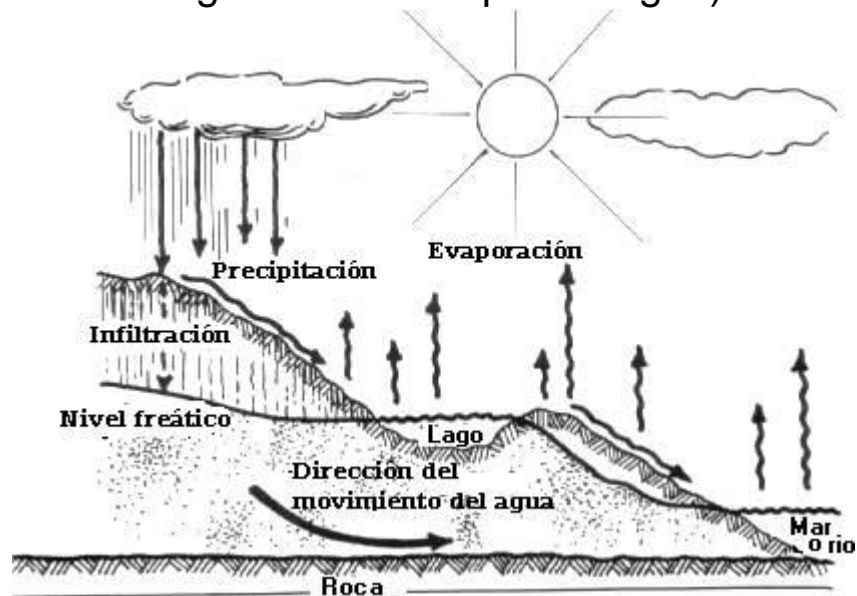
Todos los nutrientes, ya sean macro o micro elementos son necesarios para un correcto balance para la nutrición de la planta.

La ausencia de un elemento, provocaría un des balance no solo en el sistema fisiológico de la planta sino también en el sistema del suelo y medio ambiente.

EL CICLO DEL AGUA

Se pudiera admitir que la cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, se ha mantenido constante desde la aparición de la Humanidad. El agua de la Tierra - que constituye la hidrósfera - se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua - el ciclo del agua o ciclo hidrológico. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua).



La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración.

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1,000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (lluvia) o en la fase sólida (nieve o granizo). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo.

La precipitación incluye también incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, esto es penetra en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos.

La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Así, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales más regulares.

Como se dijo arriba, los procesos del ciclo hidrológico decurren en la atmósfera y en la superficie terrestre por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos ramas: aérea y terrestre.

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación.

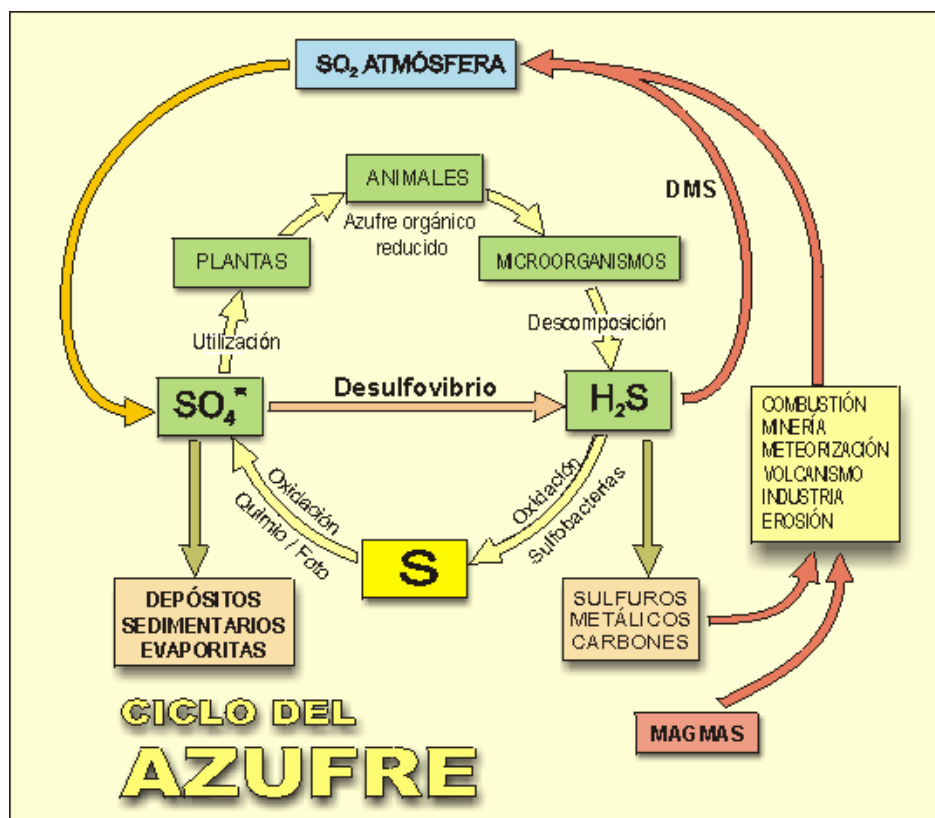
Así, la precipitación, al encontrar una zona impermeable, origina escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; este ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes.

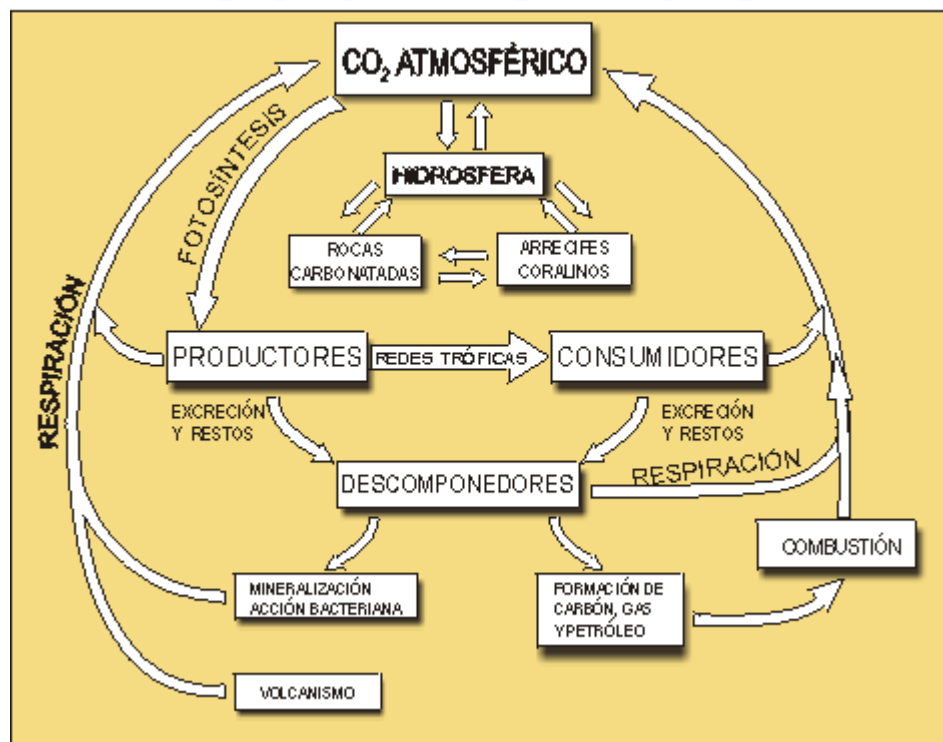
La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra.

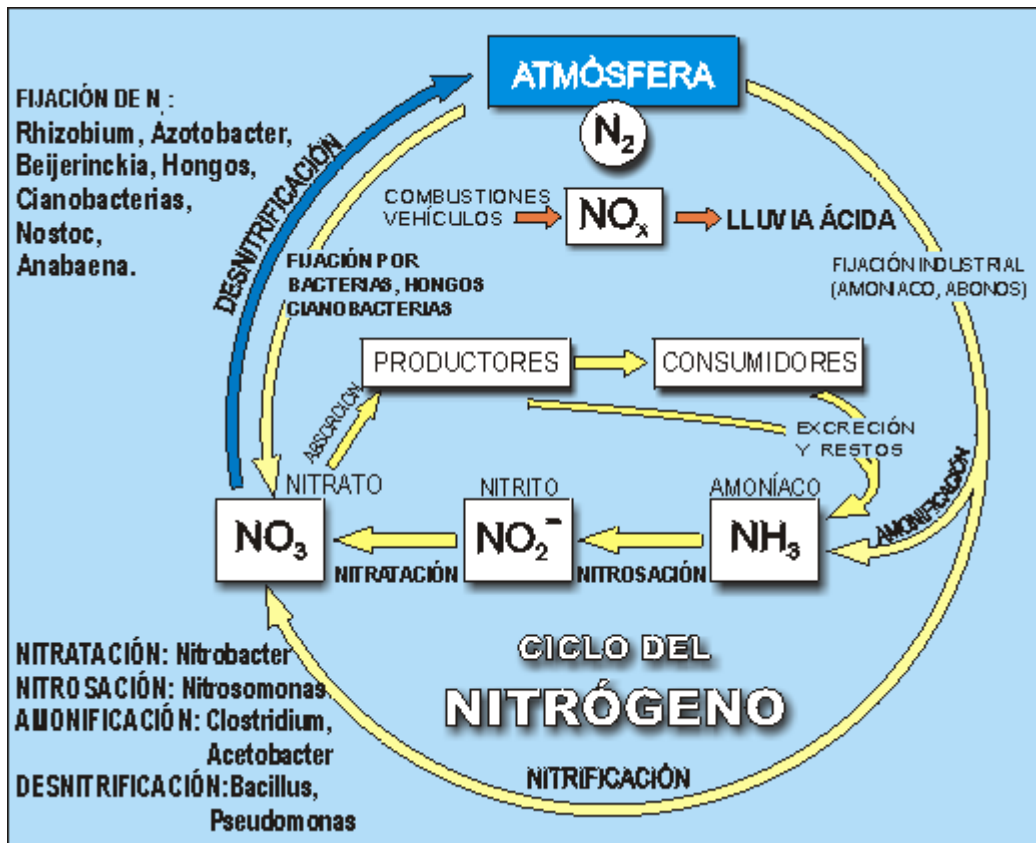
El ciclo hidrológico puede ser visto, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el Planeta. El calentamiento de las

regiones tropicales debido a la radiación solar provoca la evaporación continua del agua de los océanos, la cual es transportada bajo forma de vapor de agua por la circulación general de la atmósfera, a otras regiones. Durante la transferencia, parte del vapor de agua se condensa debido al enfriamiento y forma nubes que originan la precipitación. El regreso a las regiones de origen resulta de la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas.



CICLO DEL CARBONO





CICLO DEL FÓSFORO

