



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Escuela Nacional Preparatoria**  
**Plantel 2 “Erasmus Castellanos Quinto”**

**ANEXO 2**  
**Ciclos biogeoquímicos**

**1. CONTENIDO:**

Identificar y analizar la forma como se desarrollan los ciclos biogeoquímicos en el suelo y la importancia del ciclo del agua para la realización de algunas etapas de los mismos.

**2. DISEÑO.**

Objetivos específicos:

- Mencionar las características principales del ciclo biogeoquímico del carbono, oxígeno, nitrógeno y fósforo
- Identificar y diferenciar el ciclo gaseoso y el ciclo sedimentario.
- Identificar y describir las etapas principales del ciclo del carbono.
- Identificar y describir las etapas principales del ciclo del nitrógeno.
- Identificar y describir los pasos principales del ciclo del fósforo.
- Explicar la relación entre el flujo de la energía, el ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos.

**3. DESARROLLO.**

Durante 4,600 millones de años, las rocas y los suelos han sido continuamente creados, conservados, cambiados y destruidos por procesos físicos, químicos y biológicos. Hay cuatro tipos de ciclos responsables de esta formación y cambio: Tectónico, hidrológico, de rocas y biogeoquímico (ver la figura 1).

Cuando un compuesto químico se moviliza y es regenerado rápidamente en el ciclo por alguna actividad biológica, la transformación la domina un ciclo biogeoquímico. Hay muchos ciclos involucrados en esta categoría, diferentes elementos asocian diferentes

trayectorias, por ejemplo los ciclos sedimentarios de los metales, que no involucran fase gaseosa alguna, y los ciclos gaseosos donde participan los elementos no metálicos. Los ciclos más relevantes son: del carbono, del oxígeno, del nitrógeno, del azufre y del fósforo.

Un ciclo biogeoquímico posee las siguientes características:

- ❖ La inclusión de organismos biológicos (animales, vegetales o especialmente microorganismos), actuando en esta interfaz como nutriente.
- ❖ El ciclo es cerrado, representa el movimiento del elemento nutriente desde el ambiente hasta los organismos biológicos y su retorno a éste.
- ❖ La atmósfera o la litosfera es el depósito “geológico” del elemento. En los ciclos gaseosos, el depósito del nutriente es la atmósfera. En los ciclos sedimentarios, el depósito es la roca sedimentaria, son ciclos más lentos y tienden a ejercer una influencia limitante sobre los organismos vivos.
- ❖ Durante el desarrollo del ciclo se sucede al menos un cambio químico en el elemento.

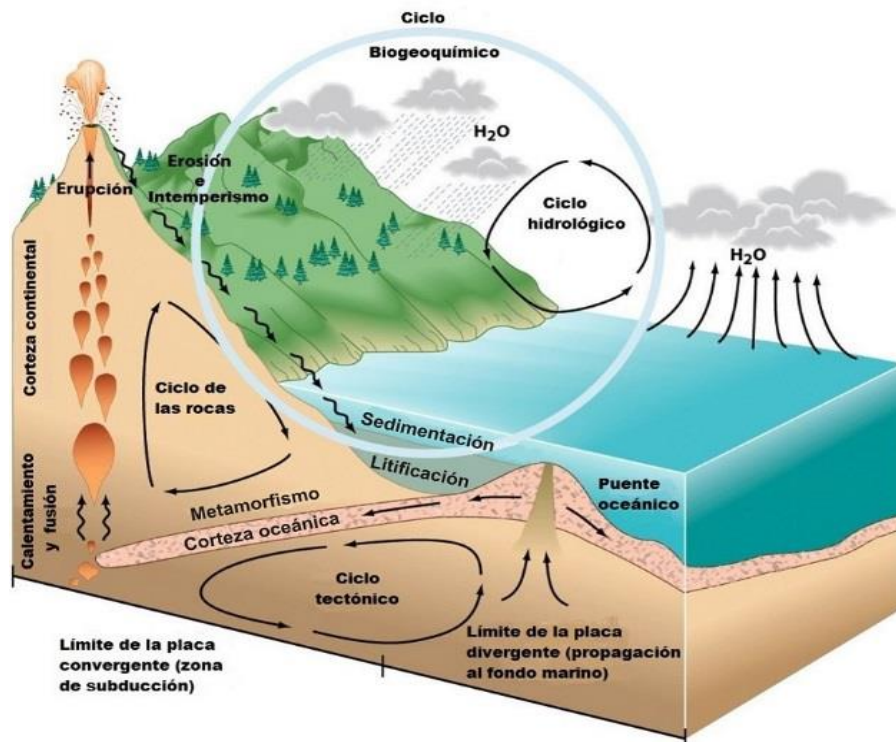


Figura 1. Ciclos de la materia de la Tierra

### 3.1 CICLO DEL CARBONO.

Frecuentemente encontramos el ciclo de este elemento en el contexto de la contaminación atmosférica, por lo que se muestran los flujos desde y hacia este depósito gaseoso, donde interactúan la fotosíntesis, la respiración de las plantas, la emisión de las industrias y la absorción en el mar, algo más o menos como lo mostrado en siguiente la figura (figura 2).

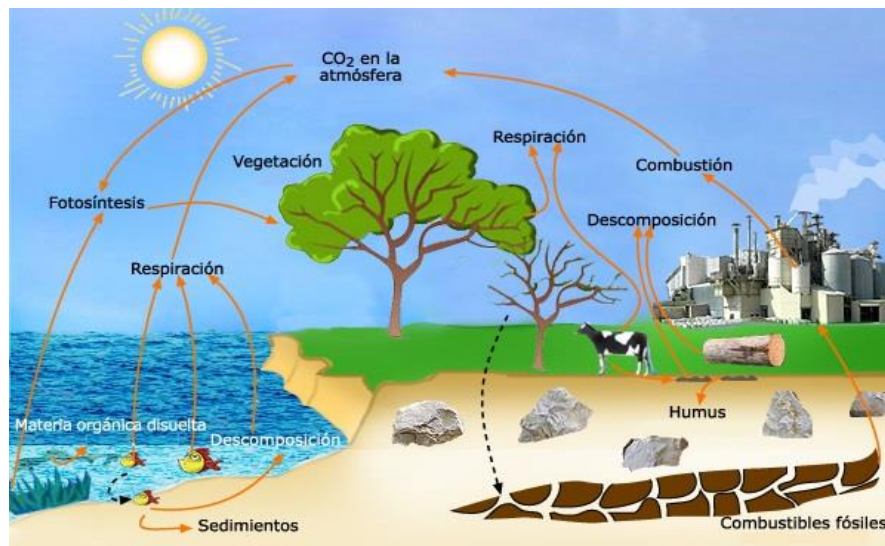


Figura 2. Ciclo global del carbono

Sin embargo, el depósito de carbono en el suelo y la biomasa viviendo directamente de los elementos en él (microorganismos, plantas y animales), es casi tres veces el valor del carbono en la atmósfera. Las interacciones entre las reservas y procesos de cambio químico que se tienen en el ciclo del carbono en esta matriz, se muestran en la figura 3. Es de resaltar que es a través de la fotosíntesis en este ciclo, que la biosfera del planeta puede fijar una importante cantidad de energía solar, y almacenarla como energía química, a la par de hacerla disponible en forma de nutrientes para la mayoría de las especies vivas (quimiotrofas).

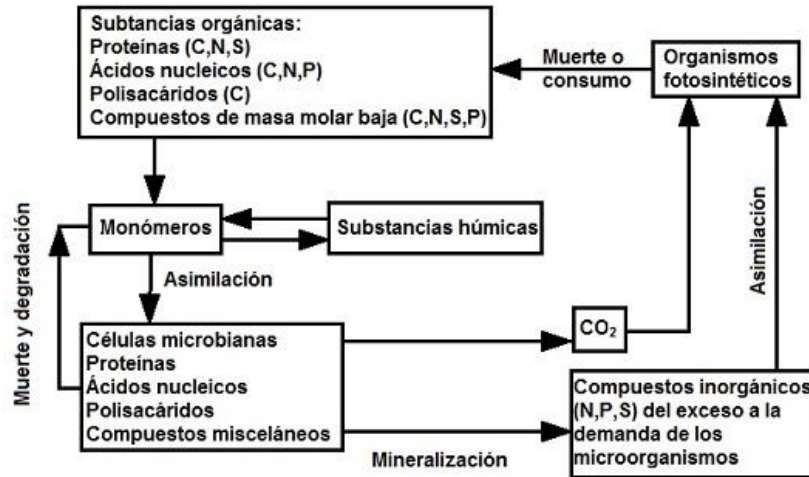
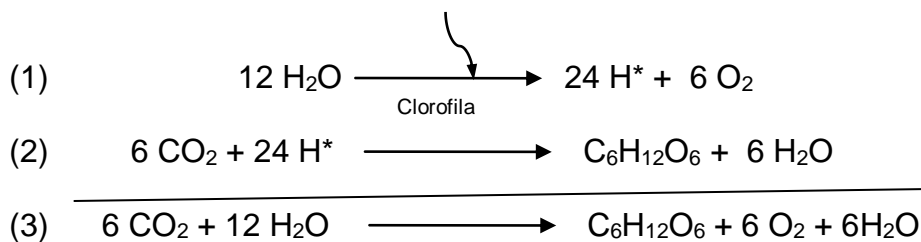


Fig.3 Ciclo del carbono en el suelo

Aunque son los vegetales los que toman el carbono de la Atmósfera y lo combinan con otros elementos que absorben del suelo a través de sus raíces, para transformarlo en los nutrientes complejos que utilizan los animales para vivir, una vez que estos mueren también participan de este ciclo a través de sus desechos y su material corporal en descomposición.

Sin duda el principal proceso químico presente en el ciclo del carbono que se desarrolla en este medio es la fotosíntesis.

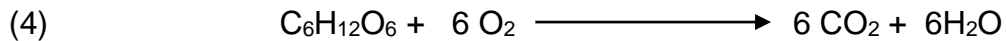
Fotosíntesis:



Es importante mencionar que la fotosíntesis involucra la actividad de dos enzimas, la clorofila (reacción 1) y la ríbulosa trifosfato carboxilasa (reacción 2), además de requerir la energía fotovoltaica para la ruptura de la molécula de agua. Se conocen cinco tipos de clorofila, siendo las principales las formas  $\alpha$  y  $\beta$ , que actúan a longitudes de onda de 430 y 662 nm para la primera y 460 y 647 nm para la segunda.

Respiración (proceso inverso a la fotosíntesis):

En su metabolismo, las plantas utilizan parte del carbón fijado como nutriente en la fotosíntesis, proceso llamado respiración.



El dióxido de carbono de esta reacción liberado en tallos y raíces, se combina con la humedad del suelo para formar el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), el cual participa en la regulación del pH del suelo y en el intemperismo químico que disuelve los minerales. Un porcentaje más es emitido a la Atmósfera.

#### Contenido de Materia Orgánica (MO)

Los residuos de las plantas y microorganismos del suelo constituyen la fracción celular de la MO, esta al descomponerse por diversos mecanismos, incrementa el contenido de la materia orgánica amorfa *humus*. La estructura de esta MO no es bien conocida, se sabe que no tiene una estructura regular ni una masa molecular consistente, contiene numerosos anillos fenólicos y ácidos orgánicos flanqueados por carbohidratos y residuos de grasas y proteínas. Su caracterización química procede con base en su solubilidad en un medio ácido (ácidos húmicos) o en álcalis (ácidos fúlvicos).

Su proporción elemental depende de la historia de vegetación y de su descomposición en el suelo, varían entre 50-60% de carbón, 30 a 40% de oxígeno y aproximadamente 5% entre hidrógeno y nitrógeno.

El humus es parte importante de la estructura del suelo, se asocia a la capacidad de intercambio catiónico del mismo y sus compuestos solubles en agua -principalmente ácidos fúlvicos-, participan de la regulación del movimiento de las disoluciones de nutrientes de las plantas a través del suelo.

Comprender los procesos químicos involucrados en el mecanismo de formación de las sustancias húmicas, resulta importante para entender el proceso de desertificación del suelo, fenómeno que ocurre en gran parte del territorio nacional.

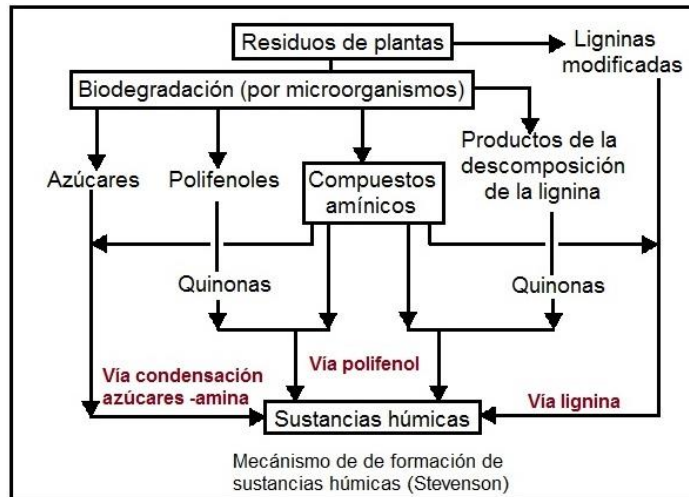
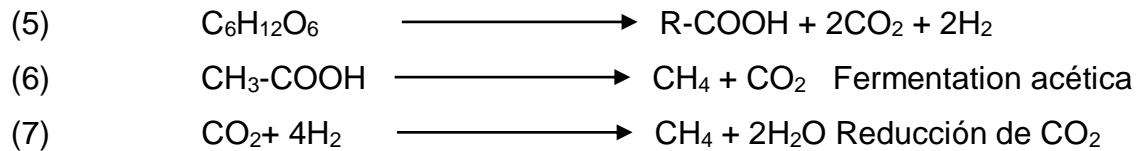


Fig. 4 Formación de sustancias húmicas

En suelos pesados con baja ventilación y fertilidad se puede generar una condición de saturación de carbono y, en ausencia oxígeno y otros receptores de electrones como el nitrato y el sulfato, la presencia de bacterias fermentativas actuará hacia la reducción de algunos compuestos de la MO para formar metano.



### 3.2. CICLO DEL NITRÓGENO

Este es un ciclo gaseoso típico. Aunque el mayor depósito es la atmósfera terrestre ( $4 \times 10^{15}$  TM como  $N_2$ ) y este es un elemento indispensable para las proteínas de todas las formas vivientes de la Tierra, ni las plantas ni los animales lo pueden utilizar en esta forma, debe transformarse como se muestra en la figura 5.

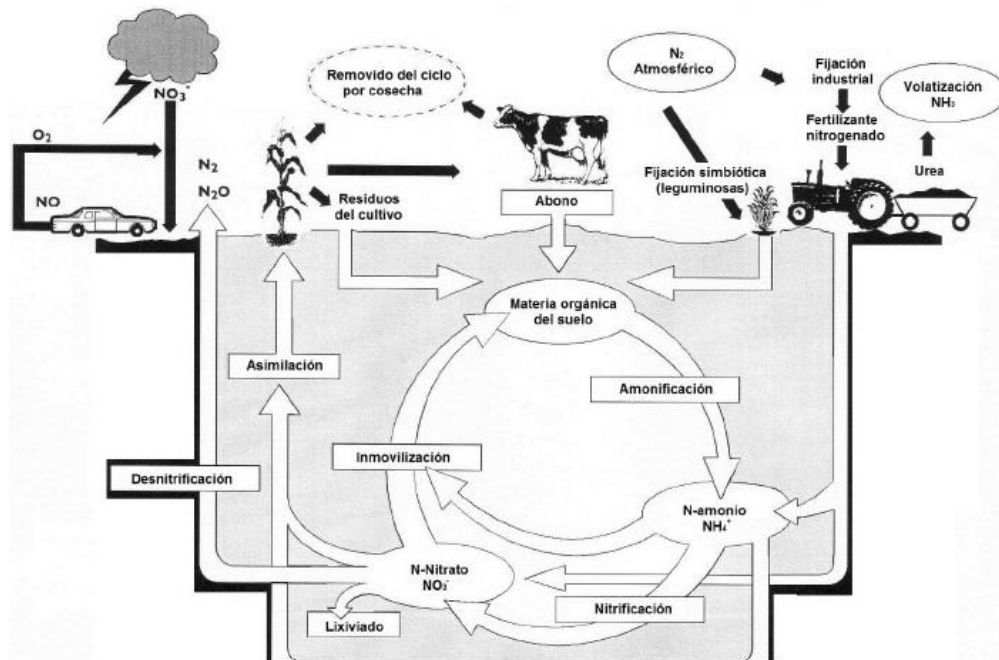
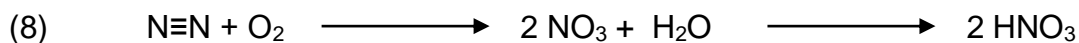


Figura 5. Ciclo del Nitrógeno

Hay dos mecanismos naturales para transformarlo a una forma biodisponible.

❖ **Fijación atmosférica.** Es un proceso fisicoquímico que ocurre cuando la corriente eléctrica de los rayos rompen el triple enlace del nitrógeno atmosférico y lo oxidan a dióxido, el cual a su vez se disuelve en el agua de la Atmósfera para formar ácido nítrico y precipitar al suelo con la lluvia.

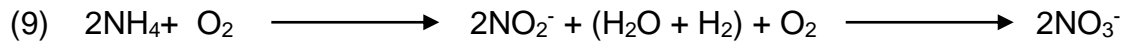


❖ **Fijación biológica (simbiótica).** Mediante la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno –sean de vida libre o que se encuentren en nódulos unidos a las raíces de algunas plantas leguminosas como los chicharos, frijoles, el trébol y algarrobo-. En este caso, el  $N_2$  y el  $NO_3^-$  son convertidos en amoniaco.

En el suelo ocurren diversas reacciones, unas orientadas hacia la síntesis de nuevo material orgánico o hacia la descomposición de este para reconstituir las formas inorgánicas del nitrógeno. Las principales son:

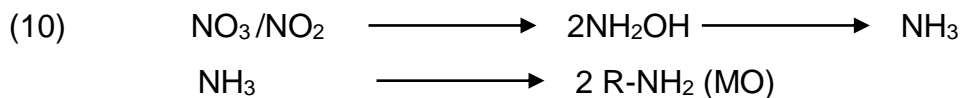
### Nitrificación.

Es el proceso aerobio donde las bacterias nitrificantes convierten el amonio de la reserva fijada en el suelo, en ion nitrito y este a su vez en nitrato. El nitrato es fácilmente asimilable por las plantas, pero debido a su carga negativa se percola rápidamente en disolución, hacia abajo de las raíces de las plantas.



### Reducción asimiladora de nitrato.

Por medio de este mecanismo se sintetiza la materia orgánica proteínica de microorganismos y plantas.

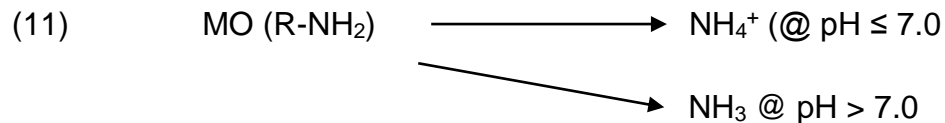


Cuando las plantas y los animales mueren o cuando los segundos eliminan sus desechos, la MO presente se degrada por la acción bacteriana (reductores), los compuestos de nitrógeno se transforman nuevamente y regresan al suelo. Una vez degradadas las proteínas en fracciones de aminoácidos, otras bacterias desarrollan el proceso de amonificación.

### Amonificación (aminificación).

Es la transformación microbiana del nitrógeno orgánico de los aminoácidos presentes en los residuos proteicos, hacia la forma de iones amonio. La ventaja de esta transformación es que el nitrógeno orgánico al formar parte de las sustancias húmicas – químicamente muy estables y que se descomponen muy lento-, no es biodisponible para las plantas, por su parte los compuestos inorgánicos son lixiviados de la matriz del suelo con facilidad, mientras los iones amonio se adsorben en las superficies negativas de las arcillas (fijación de amonio), de donde es liberado gradualmente por las raíces de las plantas.

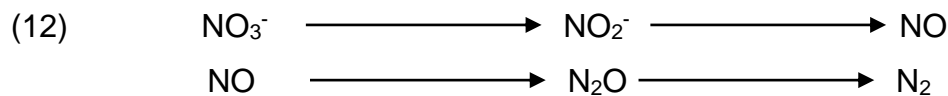
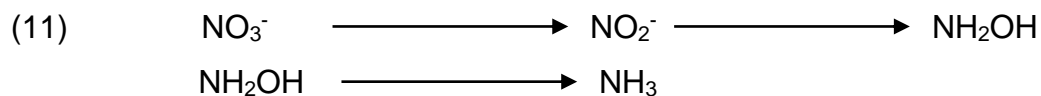




Otras bacterias más transforman los nitratos y nitritos formados, liberando el nitrógeno a su estado gaseoso, el cual retorna a la Atmósfera y con ello se completa el ciclo.

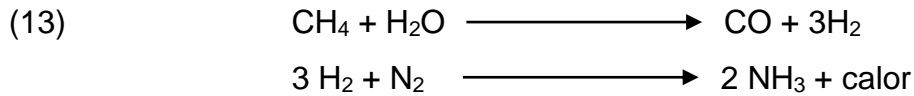
Desnitrificación (reducción desasimiladora de nitrato).

En condiciones de disponibilidad de carbono y alta temperatura, suele provocarse una condición de anaerobiosis, donde el nitrato presente se utilizará como aceptor de electrones y se reducirá a otros gases nitrogenados; escapando a la atmosfera. Este proceso puede ocurrir por dos mecanismos:



Mientras en nitrógeno es un gas inocuo al ambiente y la salud, tanto el monóxido de nitrógeno (óxido nítrico) como el óxido nitroso, son compuestos altamente dañinos asociados a la reducción de la capa de ozono. Las emanaciones de estos óxidos de nitrógeno son frecuentes y abundantes en terrenos dedicados al cultivo del arroz, en los pantanos y en los humedales.

- ❖ **Fijación industrial**, Aunque el gas que emana de los volcanes tiene una concentración significativa en nitrógeno, son los fertilizantes de origen industrial los que constituyen la fuente de nitrógeno nuevo que se está integrando constantemente al ciclo. Los fertilizantes industriales se fabrican a partir del amoníaco producido por el proceso Haber-Bosch, donde se hace reaccionar catalíticamente a 450 °C y 300 bar de presión, el hidrógeno obtenido de la reacción entre metano y agua, con el nitrógeno del aire.

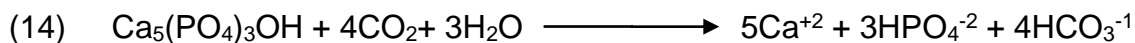


Cabe comentar algo sobre el uso de estos fertilizantes, hay voces que claman por la aplicación de fertilizantes orgánicos tipo estiércol y gallinácea en lugar de los compuestos de amonio:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  o urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , sin embargo su papel en la agricultura intensiva es diferente, los abonos orgánicos aumentan la eficiencia de los procesos de fertilización mientras los industriales aumentan los rendimientos (producción).

Sin embargo se estima que solo el 20% de este nitrógeno se asimila en los productos agrícolas, la diferencia percola hacia los cuerpos de agua facilitando la eutroficación de los mismos y a la Atmosfera, donde están alterando el porcentaje reactivo del nitrógeno, aun se sabe poco de este efecto, pero hay evidencias de promover la formación de ozono en la troposfera, y la afectación de la capa del mismo en la estratosfera.

### 3.3. CICLO DEL FOSFORO

El ciclo del fósforo es el típico ciclo de los nutrientes sedimentarios, ya que el depósito principal de este elemento lo constituyen las rocas sedimentarias. Como resultado de la intemperización, la cantidad de fósforo que intervienen en el ciclo básico es mínima y, como el ciclo no asocia una fase gaseosa significativa ( $\text{PH}_3$ , fosfina), su movimiento es muy lento.



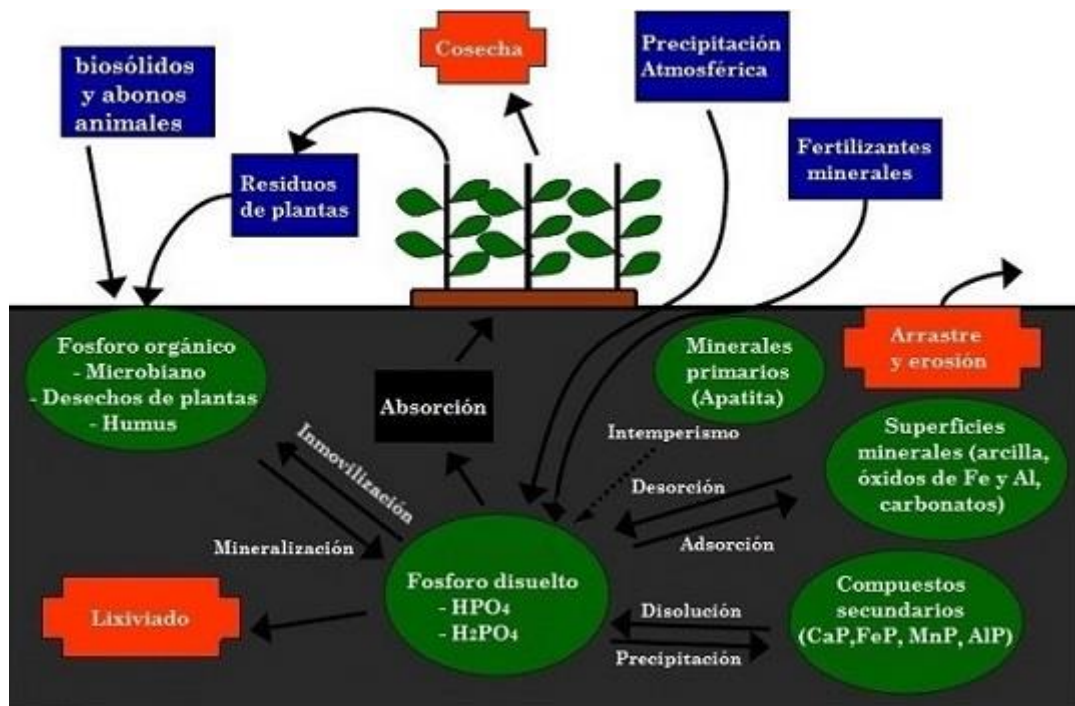
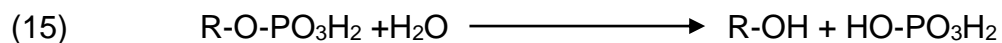


Figura 7. Ciclo del Fosforo en el suelo

### Mineralización

El fósforo es necesario para la formación de los nucleosidos de los ácidos nucleicos: Desoxirribonucleico (ADN) y Ribonucleico (ARN), donde el nucleosido más conocido es el trifosfato de adenosina (ATP), molécula portadora primaria de la energía de las células. Sin embargo, la casi inmovilidad del fósforo en la mayoría de los suelos y por ende su muy lenta difusión de las formas solubles a través del macro poro del suelo, limitan su disponibilidad en las raíces de las plantas, así la mayor parte del fósforo biodisponible en las raíces de las plantas proviene de la materia orgánica del suelo (fosfolípidos, fitina, ácidos nucleicos, azúcares fosforilados, humus, etc.). Esto ocurre a través de la siguiente reacción de hidrólisis enzimática, la cual es catalizada por diversas fosfatasa de origen vegetal o fúngico:

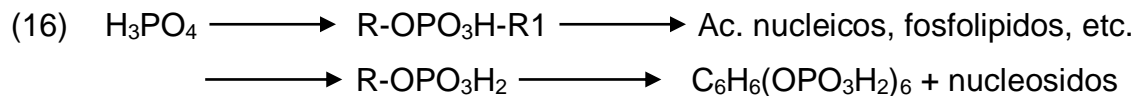


### Inmovilización.

A diferencia del nitrógeno. El fósforo no presenta con una serie de múltiples estados de oxidación, por lo que no se encuentra en una amplia gama de formas químicas, el

fosfato inorgánico formado durante la intemperización, tiende a incorporarse como tal en las moléculas orgánicas.

Una vez que el fósforo en forma de orto fosfatos solubles es absorbido por las raíces de las plantas, se incorpora a las células formando parte de las estructuras complejas ya mencionadas. Los animales obtienen el fósforo mediante la ingesta de las plantas.

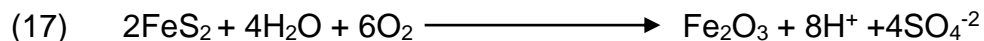


Cuando mueren las plantas y los animales, o bien cuando excretan materiales de desecho, las bacterias fosfatizantes degradan los compuestos orgánicos muertos a través del proceso de mineralización, transformándolos en fosfatos inorgánicos, con lo cual se completa el ciclo básico.

La principal alteración antropogénica a este ciclo en el suelo, es la adición de fertilizantes fosfatados de origen mineral o animal (guano, hueso, etc.), en una cantidad que habitualmente excede a la razón de inmovilización requerida por las plantas, la mayor parte de estos productos no se adsorben en la matriz de suelo y son arrastrados por lixiviación a los cuerpos de agua contaminándolos.

#### 4.4. CICLO DEL AZUFRE

El origen del azufre activo presente en este ciclo del suelo proviene tanto del intemperismo de la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y del yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), como de la precipitación atmosférica de compuestos gaseosos como el  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (formado a partir de  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$ ).



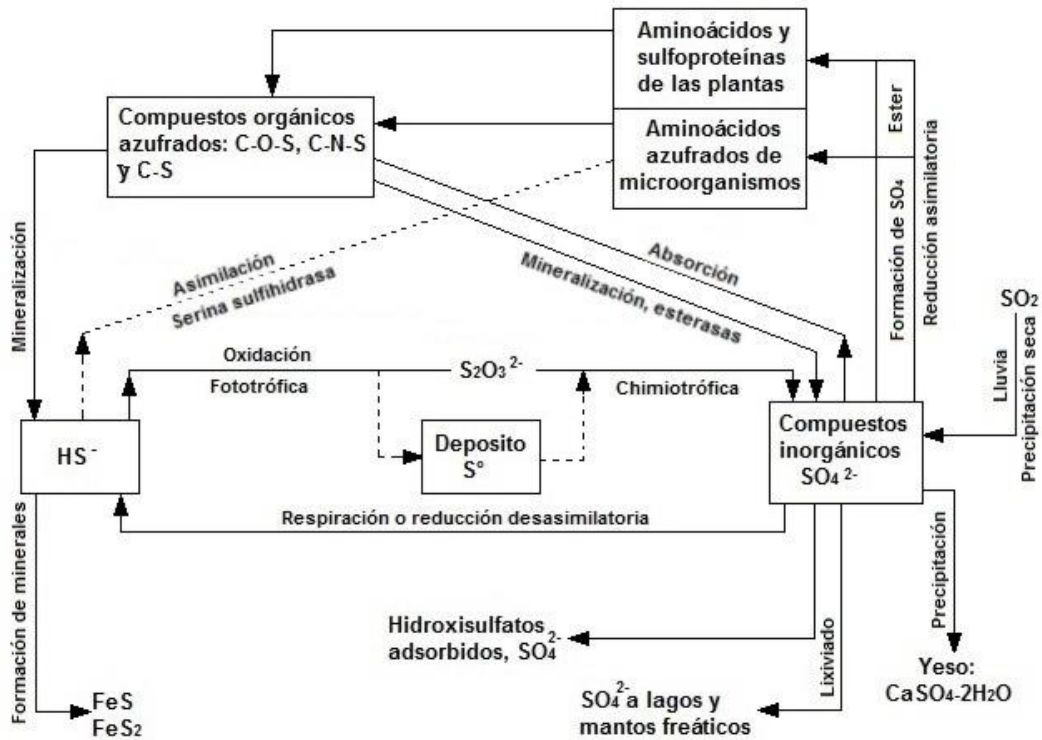
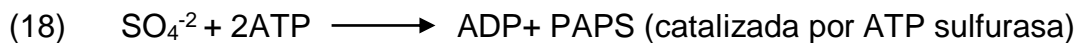


Figura 8. Ciclo del azufre en el suelo

Sin embargo, la mayor reserva del azufre involucrado en la serie de transformaciones biogeoquímicas del ciclo, es en forma orgánica. Al igual que el nitrógeno, el azufre presenta múltiples estados de oxidación, por lo que en los distintos mecanismos químicos constituyentes del ciclo se pueden encontrar varias especies químicas.

#### Asimilación por reducción de sulfato.

El azufre también es un nutriente esencial de los diferentes sistemas vivos, pero mientras las plantas y microorganismos pueden asimilarlo de una variedad de formas, los animales distintos a los rumiantes solo pueden incorporarlo en forma reducida en los aminoácidos. La materia orgánica azufrada puede clasificarse en dos tipos: Aquellas con enlace carbón-azufre (principalmente aminoácidos y sulfoproteínas) y aquellas donde el azufre se une con átomos de oxígeno (-O-) o nitrógeno (-N-), llamados sulfato-esteres (APS, PAPS, etc.).



### Desasimilación por reducción (desulfuración).

Esta reacción se lleva a cabo bajo la acción secuencial de las enzimas APS reductasa y sulfito reductasa.

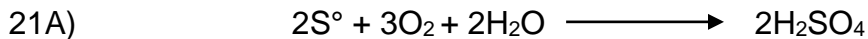
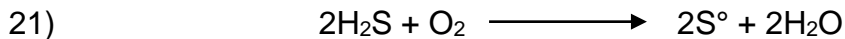


### Mineralización.

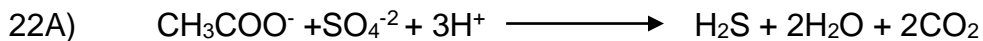
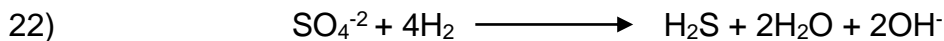
Estas reacciones degradan la materia orgánica azufrada a la forma mineral sulfato, bajo la actividad de la enzima sulfatasa,



### Oxidación enzimática

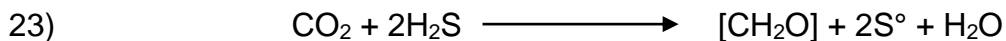


### Respiración (reducción de sulfato).



Este tipo de reacciones ocurren en condiciones de anoxias.

### Fotosíntesis anaerobia.



Esta importantísima reacción entre las primeras formas de vida terrestre, suele ocurrir en lodazales y suelos de baja capacidad de drenado donde hay yacimientos de azufre y bacterias con clorofila.

## **3.5 OTROS CICLOS.**

En un suelo sano que ha madurado durante cientos de años, los elementos químicos presentes interactúan alrededor de un ciclo, la mayoría de ellos sólo parcialmente

conocidos. Entre ellos destacan los ciclos del magnesio, calcio, sodio, cloro, silicio y potasio, es de estos dos últimos que hay más información.

Una planta contiene casi la misma cantidad de potasio que de nitrógeno (de 2.5 a 4.5 % en peso de hoja seca), pero casi todo él se encuentra como solución en las células, participando del equilibrio osmótico y la actividad enzimática.

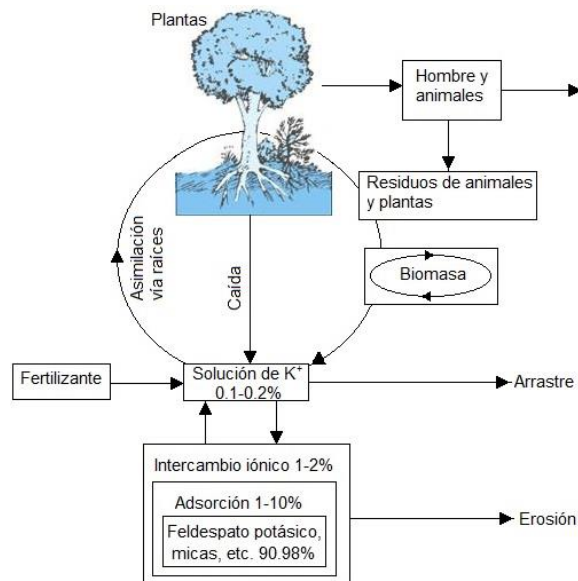


Figura 9. Ciclo de potasio en el suelo

La disposición de potasio en las disoluciones en el suelo proviene del Intemperismo del mineral, e intercambio catiónico de superficies coloidales, al lixiviar rápidamente de la materia orgánica del suelo, no se mineraliza y no forma parte de la estructura del material húmico.

Del ciclo del silicio se conoce poco, se sigue investigando a través del trazado con germanio, hay evidencias de que las plantas lo absorben en importantes cantidades, que participa del amortiguamiento de la acidez y se forman depósitos de materia orgánica con formas biogénicas del silicio.

Aunque el agua es muy importante para el desarrollo de la mayoría de los ciclos biogeoquímicos del suelo, tanto por ser la fase de transporte de los nutrientes disueltos

en ella, como por contribuir al intemperismo de la roca ígnea, no se ha determinado con claridad sí en el suelo constituye un ciclo o es una condición.

#### 4. AUTOEVALUACIÓN

4.1 Visitar la siguiente página electrónica y recorrer el ciclo global del carbono.

[http://www.windows2universe.org/teacher\\_resources/teach\\_carbongame.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/teacher_resources/teach_carbongame.html&lang=sp)

- ¿Cómo llega el átomo de carbono a ser parte del material del suelo?
- ¿Cómo regresa el átomo de carbono a la atmosfera?
- ¿En qué seres vivos hay carbono?, ¿cómo entro el carbono a ellos?

4.2 En equipos de alumnos de 4 a 5 elementos, repartir el formato del pasaporte del nitrógeno, cada uno elegirá como lugar de nacimiento un depósito ambiental del nitrógeno. Apoyados en el diagrama de ciclo del nitrógeno, describe la forma como llegara desde su lugar de nacimiento hasta otro depósito de nitrógeno. Si la descripción es correcta obtiene la visa de entrada (sello), de lo contrario pierde.

4.3 Lee con atención cada una de las siguientes preguntas y responde lo que se te solicita. En la mayoría de los casos escribe de una a tres oraciones breves para definir, o explicar algún concepto.

4.4 Menciona las características principales de un ciclo biogeoquímico.

---

---

4.5 Relacionar los siguientes conceptos:

a) ciclo de nutrientes gaseosos.	( ) Incluye una parte gaseosa principal.
b) ciclo de nutrientes sedimentarios.	( ) Se presenta en forma relativamente lenta.
	( ) Existe poca ninguna pérdida del elemento nutriente.



	( ) Utiliza la atmósfera como un depósito principal.	4.6 D ibuj e un diag ram
	( ) Utiliza las rocas sedimentarias como un depósito principal.	
	( ) Ciclo del fósforo.	
	( ) Ciclo del nitrógeno.	

a del ciclo del nitrógeno y escriba en los espacios que aparecen abajo, las etapas del ciclo.

- |           |  |
|-----------|--|
| (a) _____ | (f) _____  |
| (b) _____ | (g) _____  |
| (c) _____ | (h) _____  |
| (d) _____ | (i) Este ciclo bioquímico es un ejemplo típico de un ciclo de nutrientes _____ |
| (e) _____ |  |

4.7 Dibuje un diagrama del ciclo del fósforo y escriba en los espacios que parecen abajo, las etapas de este ciclo.

- |           |  |
|-----------|--|
| (a) _____ | (f) _____  |
| (b) _____ | (g) _____  |
| (c) _____ | (h) _____  |
| (d) _____ | (i) Este ciclo bioquímico es un ejemplo típico de un ciclo de nutrientes _____ |
| (e) _____ |  |

4.8 ¿Qué relación se establece entre el flujo energético, el ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos?

---



---



---