




*UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE
MÉXICO*

*FACULTAD
DE
CIENCIA
AGRÍCOLAS*





LICENCIATURA
INGENIERO AGRÓNOMO
FITOTECNISTA

LABORATORIO DE
EDAFOLOGÍA



UNIDAD DE
APRENDIZAJE



FERTILIDAD Y
NUTRICIÓN VEGETAL




ELABORÓ:
DR. RODOLFO SERRATO
CUEVAS

EL MATERIAL DIDÁCTICO PRESENTADO, APOYA A LA UNIDAD DE APRENDIZAJE DE FERTILIDAD Y NUTRICIÓN VEGETAL.

DICHA UNIDAD DE APRENDIZAJE SE LOCALIZA EN EL MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA DE INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA EN EL TERCER SEMESTRE.

ESTE MATERIAL DIDÁCTICO SE REFIERE A LA INFLUENCIA QUE EJERCEN LOS ELEMENTOS QUE DAN ORIGEN AL SUELO EN LA FERTILIDAD DE ÉSTE, SOBRE TODO EN LA LIBERACIÓN DE ELEMENTOS NUTRITIVOS QUE REQUIEN LAS PLANTAS PARA SU CRECIMIENTO, DESRROLLO Y PRODUCTIVIDAD.



*MINERALES DEL
SUELO Y
NUTRICIÓN DE
LAS PLANTAS*



INTRODUCCIÓN

*Como las reacciones
químicas que involucran
minerales del suelo
juegan un papel crucial
en el control de la
disponibilidad de
nutrientes esenciales
para las plantas*



DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS

Todas las plantas requieren 17 elementos para completar su ciclo de vida, y otros cuatro elementos han sido identificados como esenciales para algunas plantas (Havlin et al., 2005).



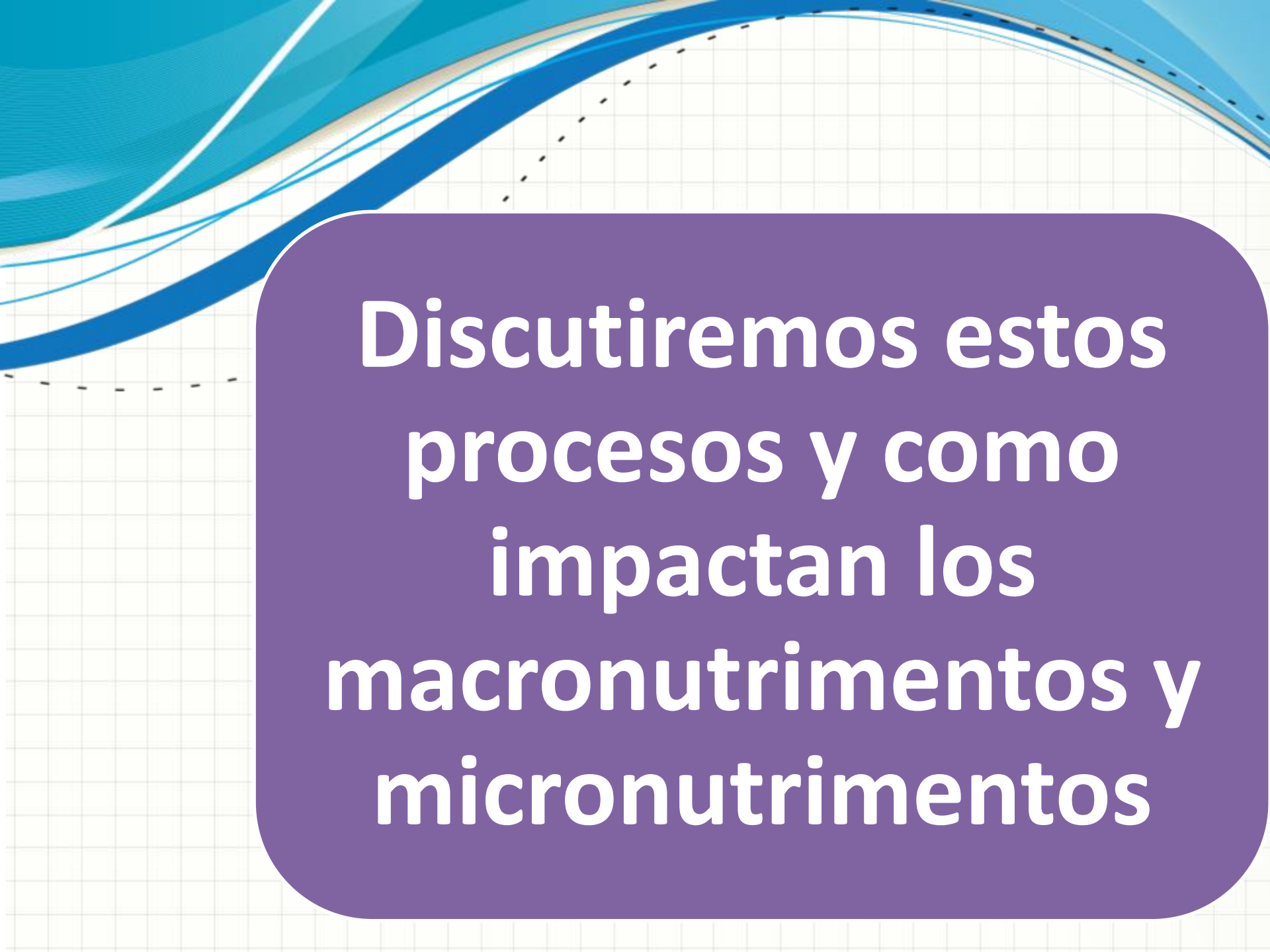
Con excepción de C, H y O, que las plantas obtienen del aire y del agua, las plantas derivan los 14 elementos restantes del suelo o a través de fertilizantes, estiércol y enmiendas (Parikh & James 2012).



El grueso de la fracción sólida del suelo está constituido por minerales del suelo, que ejercen una influencia directa e indirecta significativa sobre el suministro y la disponibilidad de la mayoría de los elementos nutritivos.



Los principales procesos implicados en la liberación y fijación de elementos nutrientes en los suelos incluyen la disolución-precipitación y la adsorción-desorción..



**Discutiremos estos
procesos y como
impactan los
macronutrientes y
micronutrientes**



Minerales primarios y fertilidad del suelo



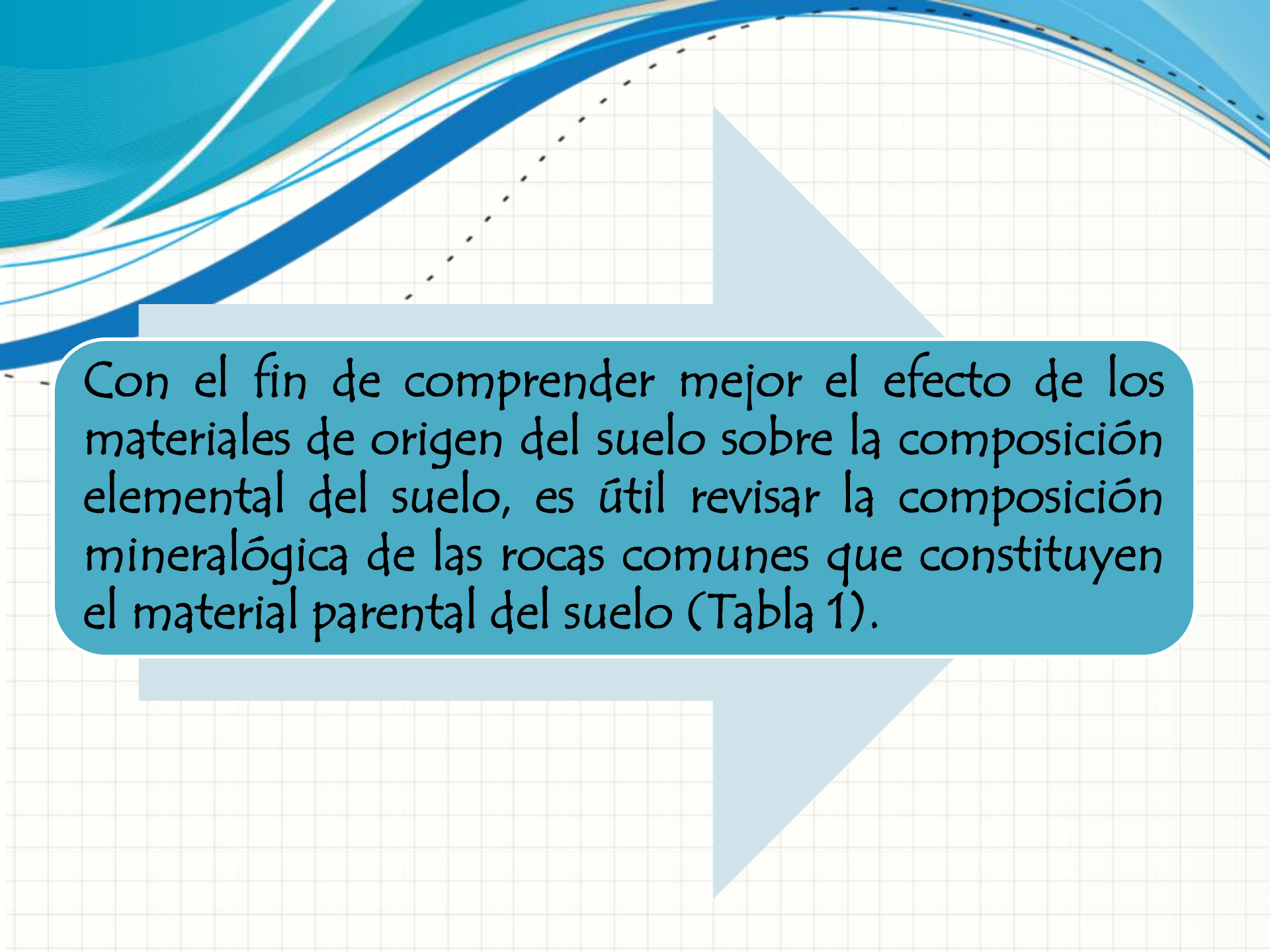
DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS

```
graph TD; A[La roca sedimentaria cubre el 75-80% de la corteza terrestre y forma los materiales originales para una gran mayoría de suelos.] --> B[El material madre del suelo tiene una influencia directa significativa en el contenido de elementos nutrientes del suelo;]; B --> C[Esta influencia es más pronunciada en suelos jóvenes y disminuye algo con el aumento de la edad del suelo y la intemperización del suelo.];
```

La roca sedimentaria cubre el 75-80% de la corteza terrestre y forma los materiales originales para una gran mayoría de suelos.

El material madre del suelo tiene una influencia directa significativa en el contenido de elementos nutrientes del suelo;

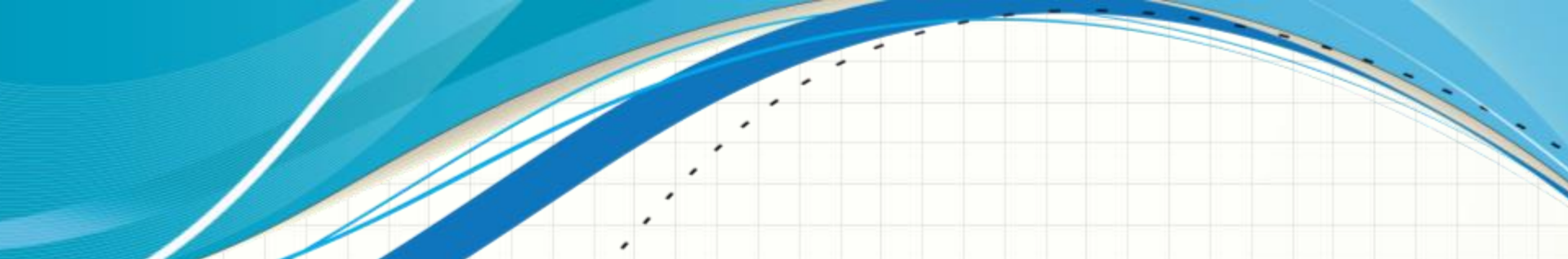
Esta influencia es más pronunciada en suelos jóvenes y disminuye algo con el aumento de la edad del suelo y la intemperización del suelo.



Con el fin de comprender mejor el efecto de los materiales de origen del suelo sobre la composición elemental del suelo, es útil revisar la composición mineralógica de las rocas comunes que constituyen el material parental del suelo (Tabla 1).

Mineral constituent	Igneous rock	Shale	Sandstone	Nutrient element constituents	
	%			Major	Minor
Feldspars	59.5	30.0	11.5	K, Ca, Na	Cu, Mn
Amphiboles & pyroxenes	16.8	-	sm	Mg, Fe, Ca	Ni, Co, Cu, Mn, Zn, Mo
Micas	3.8	-	sm	K, Ca, Na, Mg, Fe	Ni, Mn, Co, Zn, Cu
Titanium minerals	1.5	-	sm	Ti, Fe, Ca	Co, Ni
Apatite	0.6	-	sm	Ca, P	
Clay	-	25.0	6.6	K, Mg, Fe, Ca, Na	
Iron oxides	-	5.6	1.8	Fe	Mn, Zn, Ni, Co
Carbonates	-	5.7	11.1	Ca, Mg, Fe	
Other minerals	-	11.4	2.2	-	-

Table 1: Average mineralogical and nutrient element composition of common rocks on the Earth's land surface (Klein & Hurlbut 1999, based on data of F. W. Clarke).



Los minerales primarios se forman a temperaturas elevadas desde el enfriamiento del magma durante la solidificación original de la roca o durante el metamorfismo, y generalmente se derivan de rocas ígneas y metamórficas en el suelo (Lapidus 1987).

En la mayoría de los suelos, feldespatos, micas y cuarzo son los principales constituyentes minerales primarios, y piroxenos y hornblendes están presentes en cantidades más pequeñas.

Los minerales primarios – incluyen

feldespatos K (ortoclasa, sanidina y microclina), micas (muscovita, biotita y flogopita) y micas de arcilla (illita) – están ampliamente distribuidos en la mayoría de los tipos de suelos, excepto en suelos altamente degradados y arenosos .

Cantidades significativas de Ca, Na y Si y cantidades menores de Cu y Mn también están presentes en los feldespatos.

Estos minerales primarios actúan como un importante reservorio para K, con más del 90% de K en suelos existentes en la estructura de estos minerales.

Los minerales
primarios - incluyen

The diagram features a central yellow box at the top with the text 'Los minerales primarios - incluyen'. Three green lines branch out from the bottom of this box to three separate colored boxes below: a light green box on the left, a purple box in the center, and a dark green box on the right. The background consists of a white grid with blue and white wavy lines at the top.

Micas y illite son la fuente más importante de K en muchos suelos, y también contienen Mg, Fe, Ca, Na, Si y una serie de micronutrientes.

Anfíboles y piroxenos son reservorios vitales de Mg, Fe, Ca, Si y la mayoría de los micronutrientes.

Los minerales carbonatados, incluidos los derivados del material de origen del suelo y los que se forman en el suelo a través de procesos pedogénicos, sirven como fuente y sumidero de Ca y Mg en los suelos.

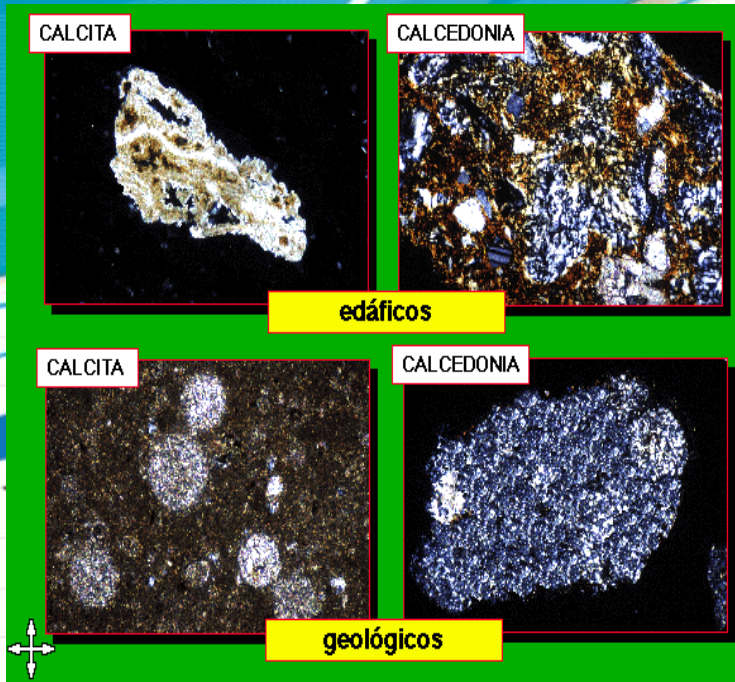
El intemperismo físico, químico y biológico de los minerales primarios libera una serie de elementos nutrientes en la solución del suelo.

Las tasas de intemperismo y las vías de los minerales primarios son muy variables y dependen de varios factores, incluyendo las propiedades minerales y las condiciones climáticas.

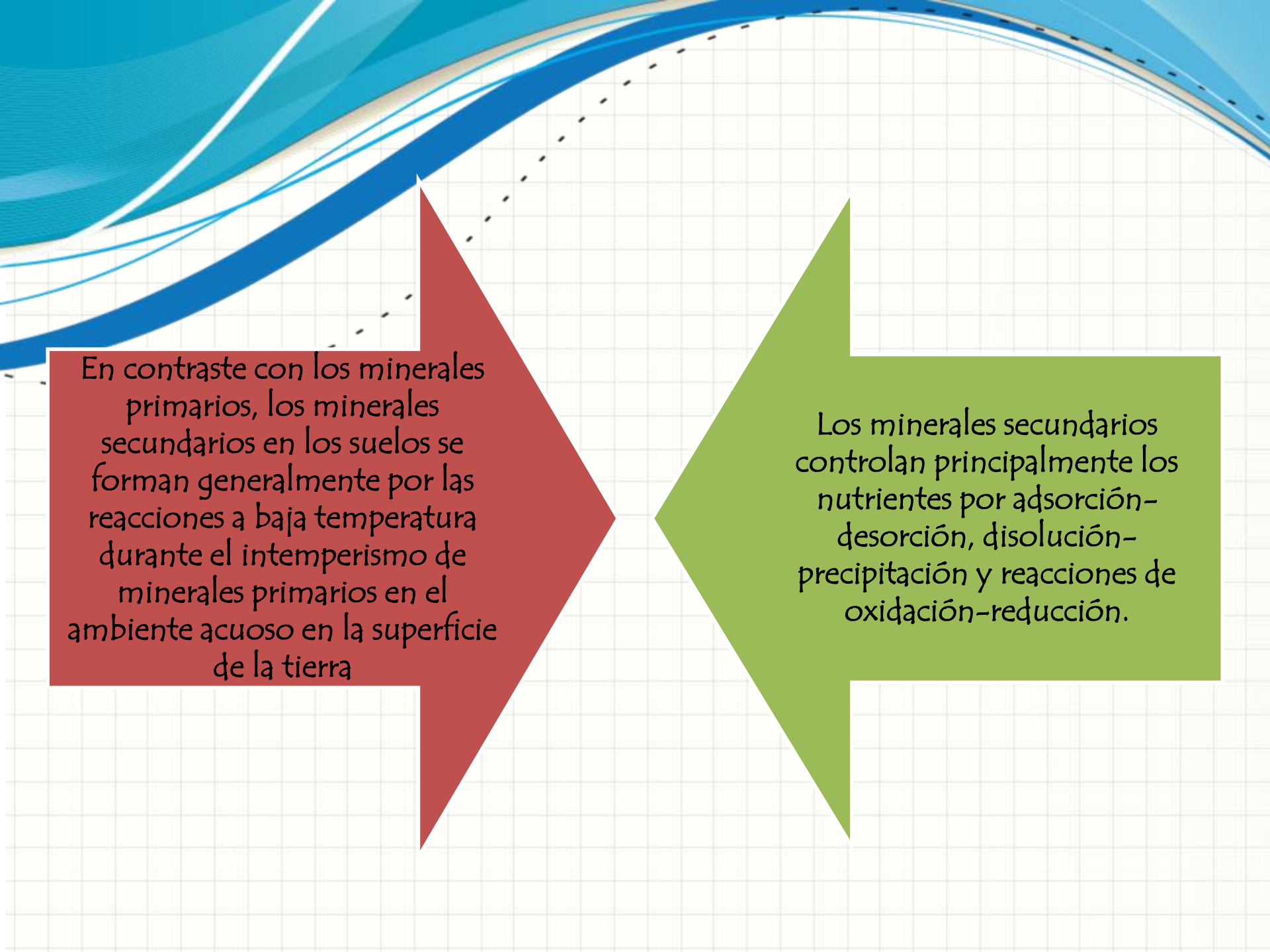
Aunque las tasas de meteorización de los minerales primarios para ciertos elementos pueden no ser lo suficientemente rápidas como para satisfacer los requerimientos de nutrientes de las plantas a corto plazo, particularmente en los sistemas de cultivo administrados, la erosión mineral es una fuente importante y de largo plazo de varios nutrientes geoquímicos.

La capacidad de suministro de nutrientes de un suelo a través de la erosión de los minerales primarios disminuye a medida que aumenta el grado de intemperización del suelo.

Minerales Secundarios y Fertilidad del Suelo



DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS



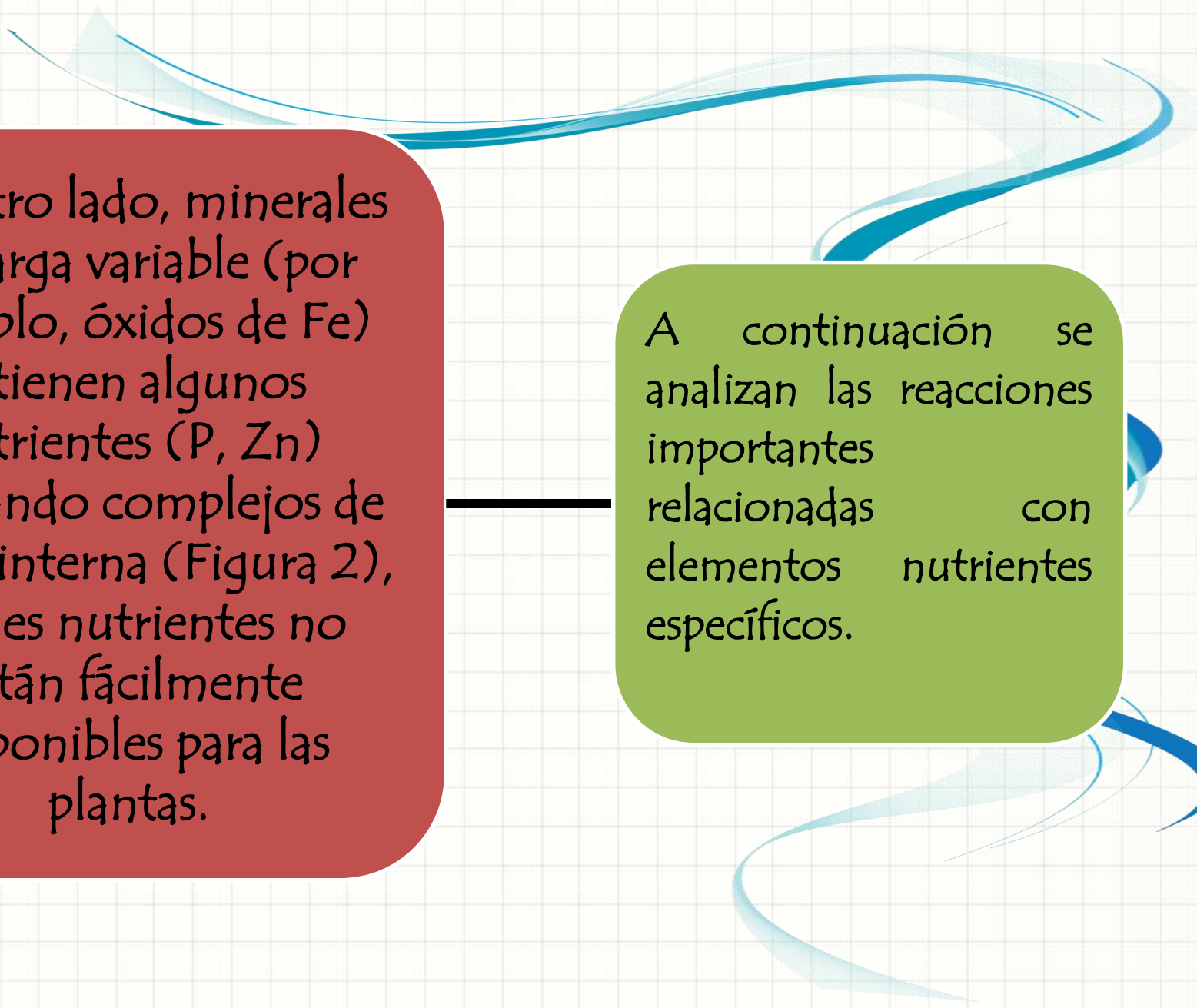
En contraste con los minerales primarios, los minerales secundarios en los suelos se forman generalmente por las reacciones a baja temperatura durante el intemperismo de minerales primarios en el ambiente acuoso en la superficie de la tierra

Los minerales secundarios controlan principalmente los nutrientes por adsorción-desorción, disolución-precipitación y reacciones de oxidación-reducción.

Las reacciones de adsorción que involucran minerales son a menudo más importantes en el control de la disponibilidad de elementos nutrientes de las plantas que la liberación de elementos nutrientes por el desgaste mineral.

Los filosilicatos con una carga permanente (por ejemplo, vermiculita y esmectita) ofrecen sitios de intercambio que contienen una serie de nutrientes esenciales en su forma catiónica (capacidad de intercambio catiónico), tales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ ;

Los nutrientes son retenidos por la formación de complejos de esfera externa (Figura 1) y pueden ser fácilmente absorbidos por las raíces de las plantas.



Por otro lado, minerales de carga variable (por ejemplo, óxidos de Fe) retienen algunos nutrientes (P, Zn) formando complejos de esfera interna (Figura 2), y tales nutrientes no están fácilmente disponibles para las plantas.

A continuación se analizan las reacciones importantes relacionadas con elementos nutrientes específicos.

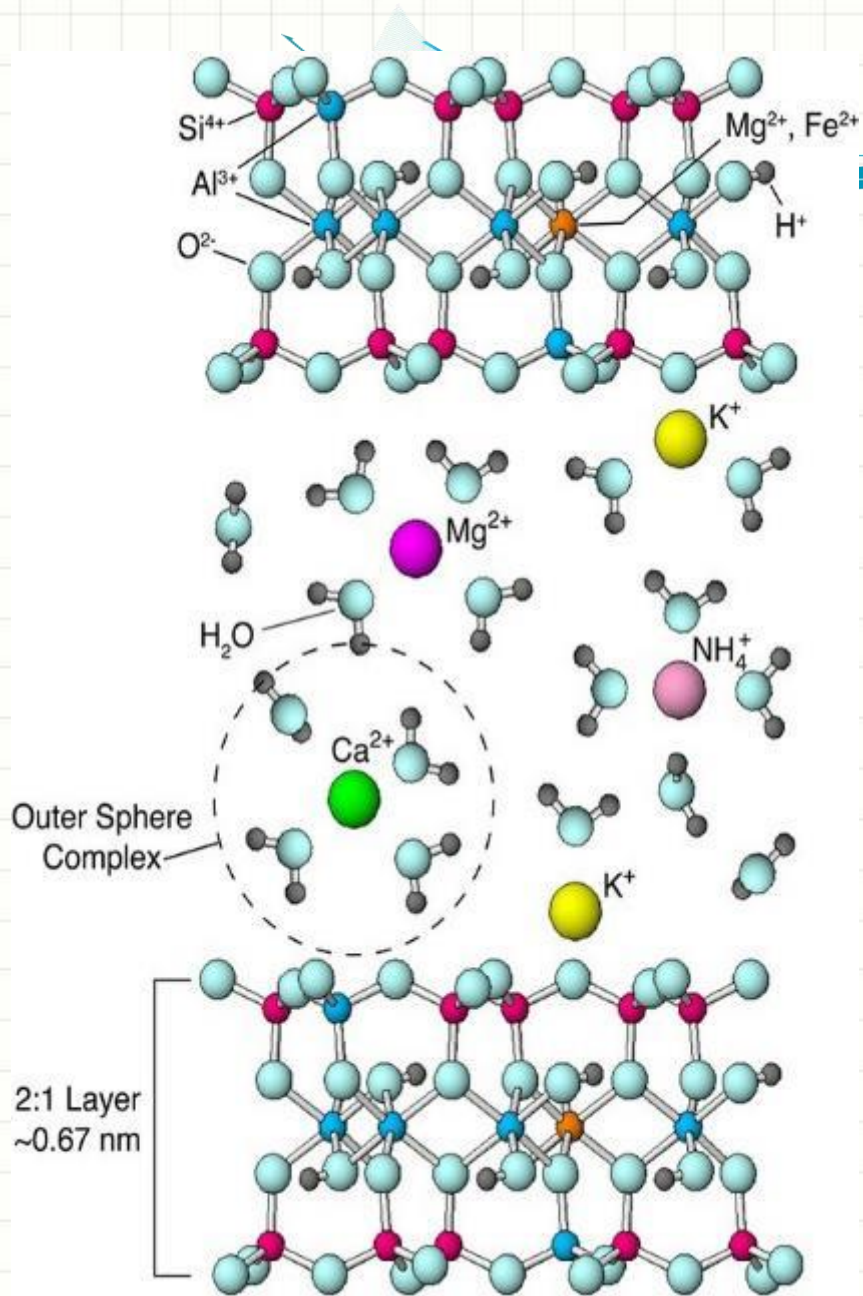
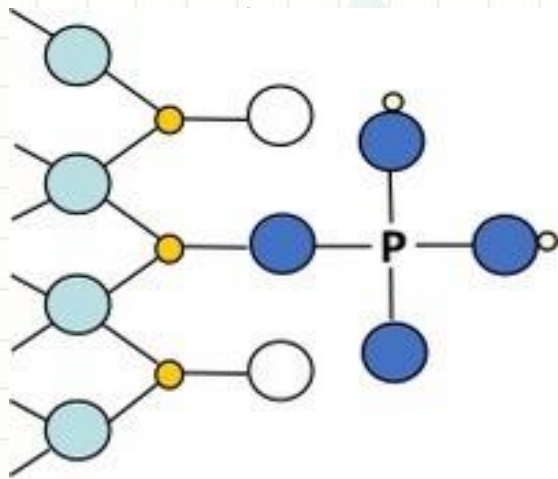
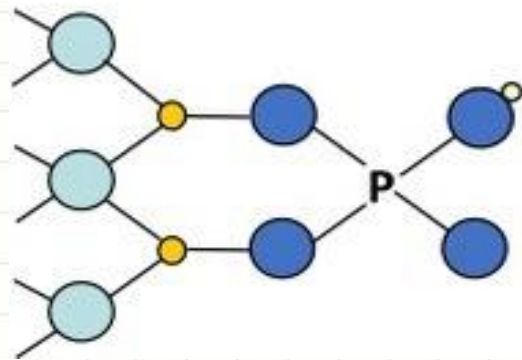


Figura 1: cationes intercambiables hidratados dentro de la región interlaminar de la esmectita mineral de arcilla.

© 2014 Nature Education Courtesy of Balwant Singh and Darrell G. Schulze. All rights reserved.



Monodentate bonding



Bidentate bonding

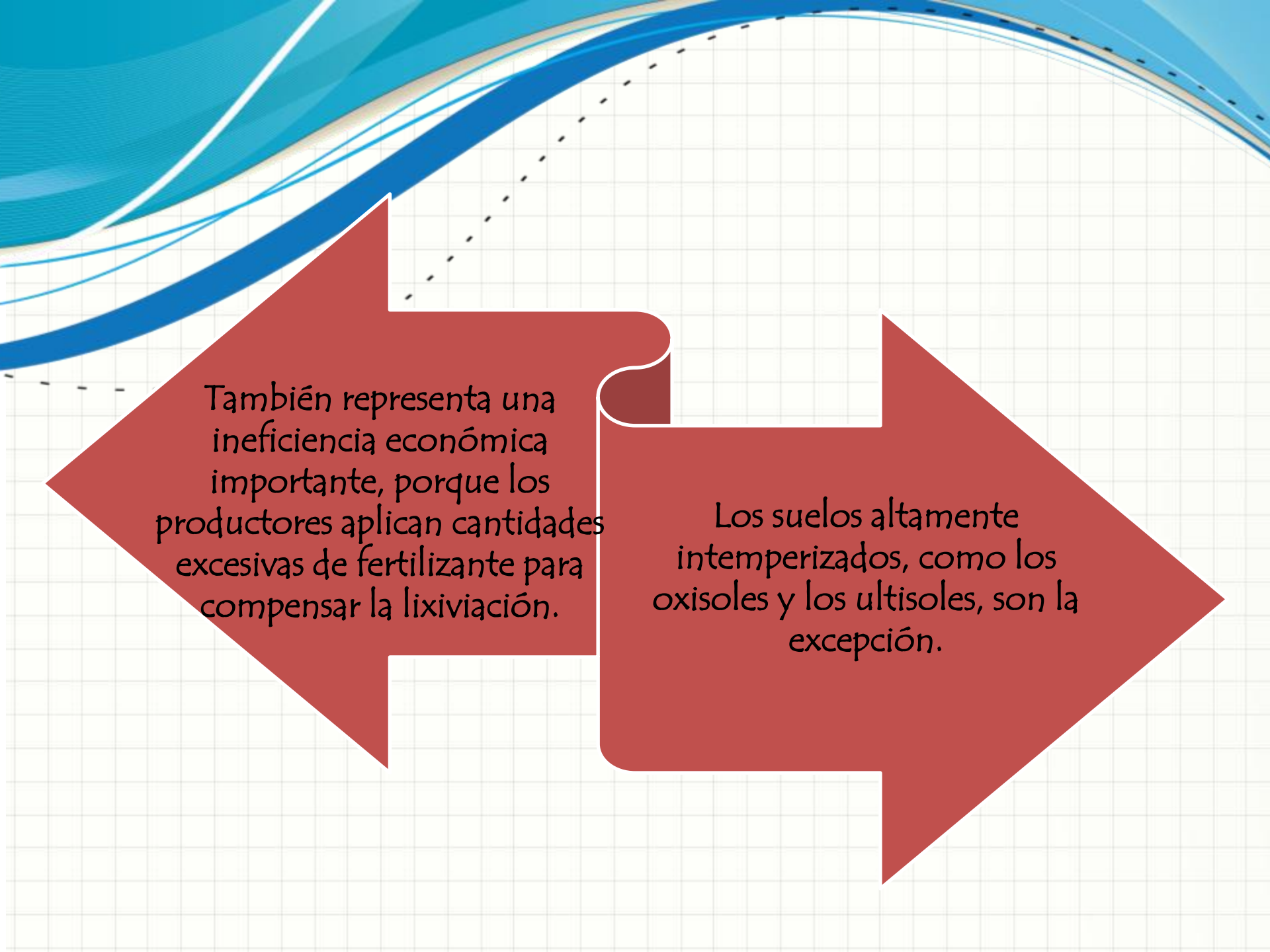
Figura 2: Representación esquemática de la adsorción de fosfatos mediante la formación de complejos de esfera interna que implican una unión monodentada y bidentada sobre una superficie de goethita.

© 2014 [Nature Education](#) Courtesy of Balwant Singh and Darrell G. Schulze. All rights reserved.

Las plantas usualmente absorben las formas nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) del nitrógeno del suelo

En los suelos, el N aplicado a través de fertilizantes y N mineralizado a partir de materia orgánica termina en la forma NO_3^- .

Debido a la limitada capacidad de intercambio aniónico de la mayoría de los suelos, la lixiviación del N aplicado en forma de iones- NO_3^- es un problema común de calidad del agua, particularmente en las regiones agrícolas.



También representa una ineficiencia económica importante, porque los productores aplican cantidades excesivas de fertilizante para compensar la lixiviación.

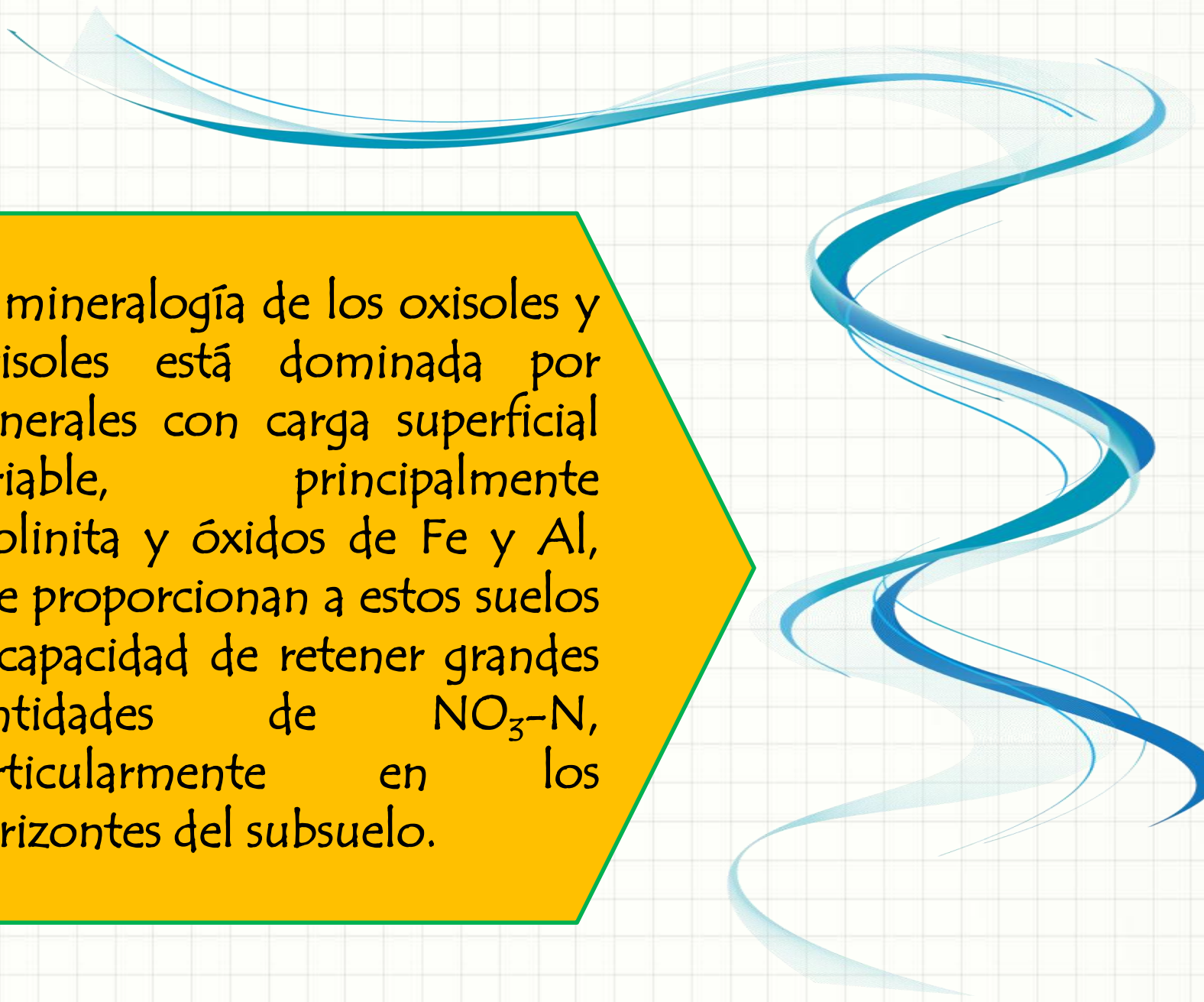
Los suelos altamente intemperizados, como los oxisoles y los ultisoles, son la excepción.



nitrógeno



**DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS**

A decorative graphic consisting of several overlapping, wavy blue lines that flow from the top left towards the right side of the page. The lines vary in opacity and thickness, creating a sense of movement and depth.

La mineralogía de los oxisoles y ultisoles está dominada por minerales con carga superficial variable, principalmente kaolinita y óxidos de Fe y Al, que proporcionan a estos suelos la capacidad de retener grandes cantidades de $\text{NO}_3\text{-N}$, particularmente en los horizontes del subsuelo.

Por ejemplo, Lehmann et al. (2004) observaron 150-300 kg de $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (hasta una profundidad de 2 m) en un oxisol brasileño en un sistema de cultivo maíz-soja.

Además, Rasiyah y Armor (2001) estimaron entre 17.000 y 32.000 kg de $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ a una profundidad de 10 m bajo diferentes usos de la tierra en oxisoles del norte de Queensland en Australia.

La capacidad de intercambio de aniones de los oxisoles australianos era grande, con valores tan altos como 41 mmolc kg^{-1} .

El nitrato adsorbido es demasiado profundo y probablemente es inaccesible para la mayoría de los cultivos de campo, sin embargo, no se lixivia en las aguas subterráneas.

En contraste con los oxisoles y ultisoles altamente degradados con minerales de carga variable, los suelos en regiones templadas tienen generalmente minerales de carga permanente (por ejemplo, esmectita y vermiculita) con alta capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de retener iones amonio (NH_4^+).

De hecho, una gran proporción del $\text{NH}_4\text{-N}$ se retiene en las capas intermedias de filosilicatos 2:1 y no es fácilmente intercambiable, haciendo que se denomine NH_4 fijo.

El proceso de fijación de NH_4 es similar al de la fijación de K, que se demuestra en la Figura 3.

La vermiculita, la illita y los minerales interstratificados con capas 2:1 están implicados en la fijación de iones NH_4^+ en los suelos.

Con excepción de los suelos arenosos, la cantidad de NH_4^+ fijo en el suelo oscila entre 350-3,800 kg de $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ en los 30 cm superiores del suelo;

La vermiculita y la illita parcialmente intemperizada generalmente tienen una mayor capacidad para fijar NH_4^+ en los suelos que el grupo de esmectita de minerales (Nieder y otros, Nörmik y Vahtras, 1982; Stevenson y Cole, 1999).

El diferente comportamiento y capacidad de los filosilicatos 2:1 en la fijación de los iones NH_4^+ está relacionado con la magnitud y origen de la carga negativa en estos minerales.

La fijación de NH_4 aumenta generalmente con la cantidad creciente de carga de capa en los filosilicatos 2:1 y la fijación es mayor en minerales con carga originada en la lámina tetraédrica que en minerales con carga originada en la lámina octaédrica.

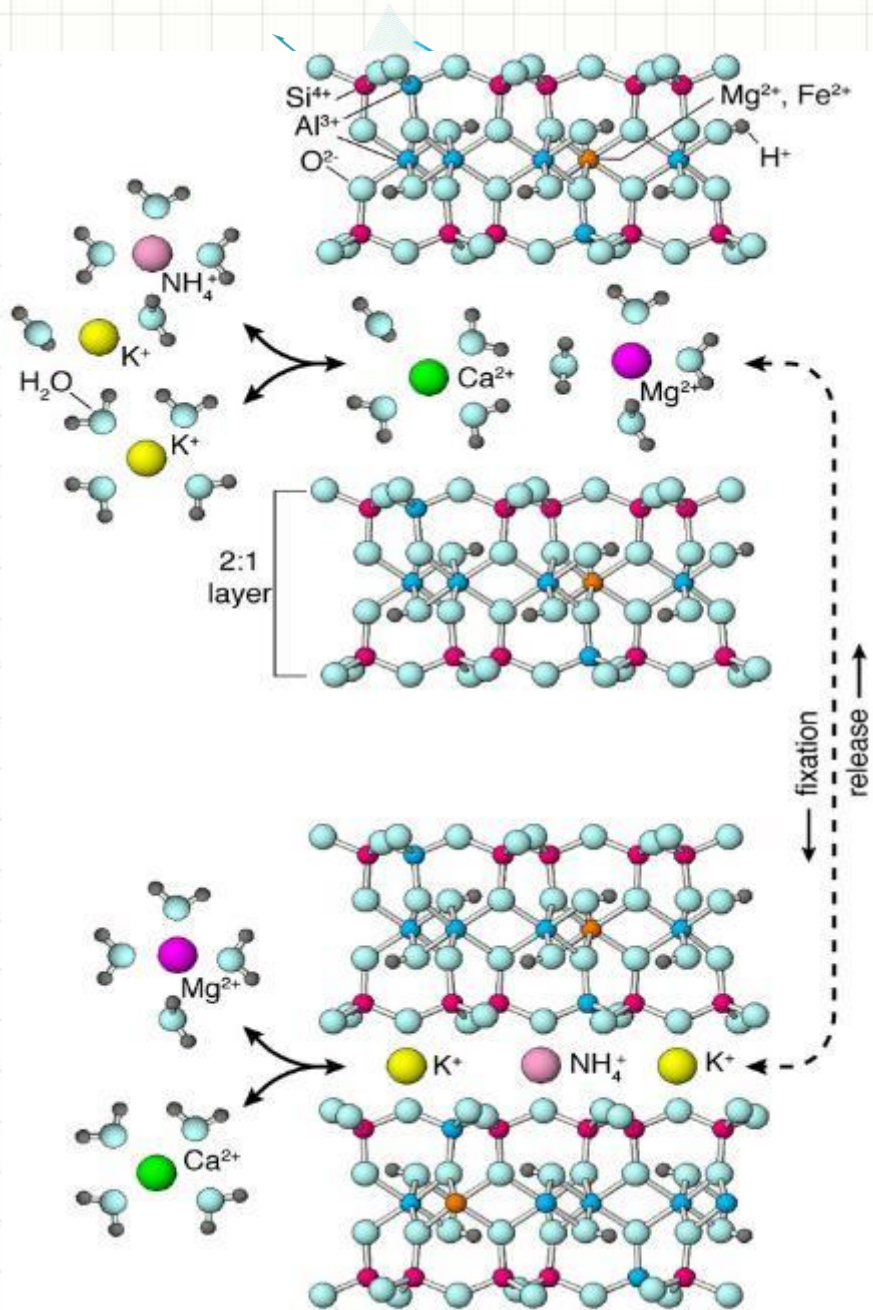


Figura 3: Fijación de K^+ y NH_4^+ cuando estos cationes monovalentes de la solución del suelo (arriba a la izquierda) desplazan los cationes hidratados (mostrados como Ca^{2+} y Mg^{2+}) de la capa intermedia de vermiculita (arriba a la derecha). Los cationes K^+ y / o NH_4^+ se deshidratan y se mantienen firmemente dentro de cavidades de capas 2:1 opuestas para formar una estructura análoga a mica (abajo a la derecha), mientras que los cationes desplazados se desplazan a la solución del suelo (abajo a la izquierda). La reacción inversa da como resultado la liberación de los cationes fijos.

© 2014 Nature Education Courtesy of Balwant Singh and Darrell G. Schulze. All rights reserved.

Fósforo

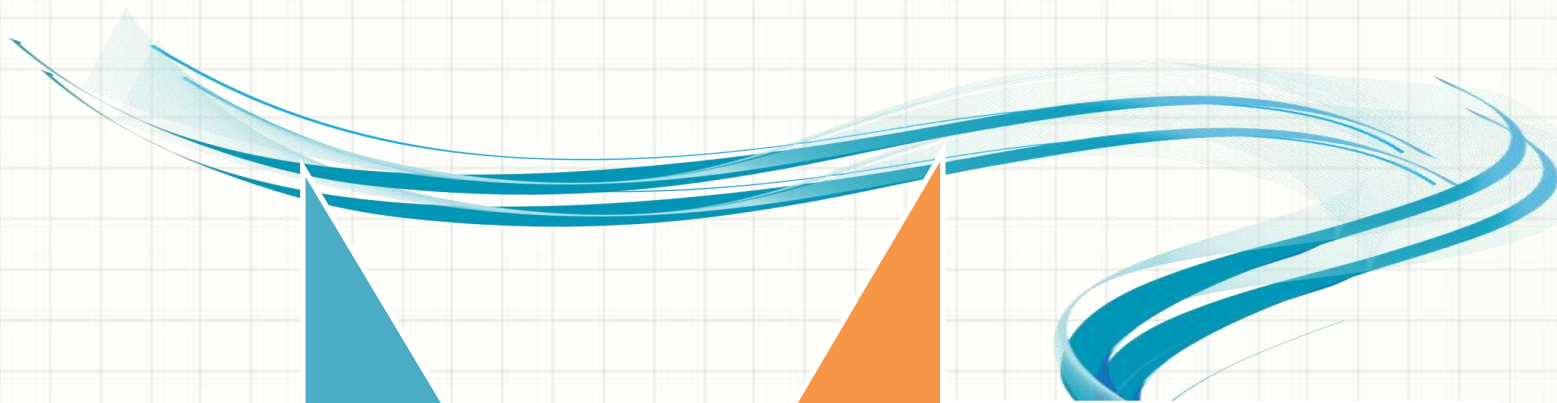


DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS

El P es absorbido principalmente por las plantas en forma de iones fosfato (HPO_4^{2-} y HPO_4^{-}) de la solución del suelo.




La concentración de P en el agua del suelo es generalmente muy baja (<0,01% del P total del suelo), con la mayor parte del suelo P existente como P orgánico, compuestos insolubles de P con Al, Fe y Ca y fosfato adsorbido a Óxidos de Fe y Al y filosilicatos (Stevenson y Cole, 1999; Brady & Weil 2008).



Los iones fosfato de los fertilizantes químicos disueltos reaccionan rápidamente en la mayoría de los suelos, lo que resulta en la fijación de P en el suelo.

Estas reacciones del suelo implican procesos de adsorción y precipitación.



(1) Reacciones de adsorción

Las reacciones de adsorción de iones fosfato sobre superficies minerales implican predominantemente la formación de complejos de esfera interna sobre las superficies de carga variables de óxidos de Fe y Al y caolinita.

Un ejemplo se proporciona en la Figura 2, donde los iones fosfato se adsorben sobre las superficies de goethita formando enlaces monodentados y bidentados.

Los iones fosfato adsorbidos por tales procesos sólo están disponibles lentamente para las plantas.

También se sabe que el fosfato es absorbido por la calcita en suelos calcáreos, y la adsorción ocurre mediante la sustitución de CO_3^{2-} en las superficies de la calcita.

ii) Reacciones de precipitación

Por el contrario, en suelos calcáreos se forman fosfatos de Ca insolubles, que se convierten gradualmente en hidroxiapatita carbonatada insoluble.

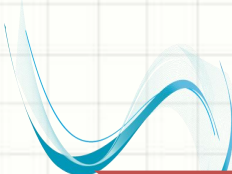
Por el contrario, en suelos calcáreos se forman fosfatos de Ca insolubles, que se convierten gradualmente en hidroxiapatita carbonatada insoluble.




POTASIO




**DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS**



Entre los elementos esenciales, K es normalmente el más abundante en los suelos.



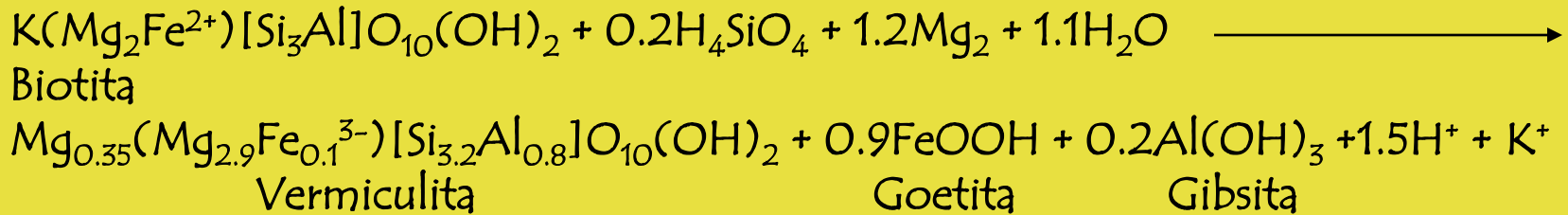
El K total en los suelos varía de 0.5-2.5% de la masa del suelo, y la mayor parte de K existe en forma mineral (K-feldespatos y micas).



El potasio se libera después de la intemperización o disolución de los minerales K en los suelos, como se muestra en los siguientes ejemplos:

POTASIO LIBERADO DE LA INTEMPERIZACIÓN MINERAL

Intemperización de la mica



Intemperización del feldespato-K



De estas dos reacciones, la liberación de K por el desgaste de la mica es generalmente más importante en el suministro de K a las plantas en suelos no fertilizados.

Los fililosilicatos retienen y liberan K de las plantas de forma no intercambiable o fija (es decir, se intercambian muy lentamente y sólo cuando la concentración de K en el agua del suelo cae por debajo de un valor umbral) y las formas intercambiables.

Los iones de potasio presentes en los sitios de intercambio son adsorbidos por la complejación de la esfera externa y están fácilmente disponibles para la absorción de la planta (Figura 1).

Por otra parte, los minerales de arcilla de illita, vermiculita y interstratificados liberan K fijado o no intercambiable de sitios intercalares a través de procesos de intercambio catiónico y difusión a velocidades más lentas que el K intercambiable (Figura 3).



Similar a los iones NH_4^+ , K suministrado a través de fertilizantes u otras enmiendas se pueden fijar en las capas intermedias de los minerales 2:1 (Figura 3).

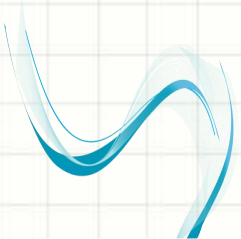


El K no intercambiable o fijo puede ser liberado potencialmente de nuevo en la solución del suelo si la concentración de la solución K desciende por debajo de un determinado valor umbral.

NUTRIMENTOS SECUNDARIOS



DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS




Entre los nutrientes secundarios, Ca y Mg son absorbidos por las plantas en sus formas catiónicas, Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Entre los nutrientes secundarios, Ca y Mg son absorbidos por las plantas en sus formas catiónicas, Ca^{2+} y Mg^{2+} .



La precipitación de carbonatos secundarios, como la calcita (CaCO_3), la calcita de magnesio ($\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$) y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), es común en los suelos de ambientes áridos y semiáridos.

Los carbonatos secundarios se consideran importantes depuradores de algunos nutrientes a través de la incorporación en la estructura mineral (por ejemplo, Mn) o la complejación de la esfera interna (por ejemplo, P y Zn) en la superficie mineral.



El azufre es absorbido por las plantas como sulfato (SO_4^{2-}), y esta es la forma S inorgánica más común en los suelos

El azufre es absorbido por las plantas como sulfato (SO_4^{2-}), y esta es la forma S inorgánica más común en los suelos



Se cree que los iones sulfato son adsorbidos por estos minerales formando complejos de esfera interna y externa.

En suelos calcáreos, SO_4^{2-} puede ser sorbido sobre CaCO_3 formando un co-precipitado de $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4$, lo que hace que SO_4^{2-} no esté disponible para las plantas.

Los minerales de sulfuro (S^- , S_2^-) se forman bajo entornos reductores (por ejemplo, pantanos de agua dulce y de marea) donde los iones SO_4^{2-} son reducidos para formar minerales tales como pirita (FeS_2).

Tales formas reducidas de S se oxidan después de la exposición al aire, liberando los iones SO_4^{2-} , H^+ y Fe^{3+} a la solución del suelo.

MICRONUTRIMENTOS



**DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS**

Entre los micronutrientes, Fe, Mn, Cu, Zn y Ni son absorbidos por las plantas en sus formas catiónicas, y B, Mo y Cl son absorbidos por las plantas en sus formas aniónicas.

Fe y Mn a menudo están presentes en grandes cantidades en la mayoría de los suelos, y las reacciones de adsorción desempeñan poco papel en el control de su disponibilidad de la planta en los suelos.

Las reacciones de oxidación y precipitación controlan predominantemente la concentración de Fe y Mn en la solución del suelo.

Goethita, hematita y ferrihidrita son los óxidos de Fe secundarios más comunes en los suelos.

Debido al tamaño microcristalino de los óxidos de Fe, estos minerales poseen altas áreas superficiales específicas y proporcionan numerosos sitios de adsorción tanto para elementos catiónicos como aniónicos en todas las variedades de suelos.

Se sabe que los dos óxidos de hierro más estables, goethita y hematita, tienen sustanciales sustituciones estructurales de oligoelementos, incluyendo Mn, Ni, Zn y Cu.

Los minerales de manganeso no son tan abundantes y comunes como los óxidos de Fe.

A menudo, existen en los suelos como recubrimientos minerales, como nódulos, o como partículas finamente dispersas en la matriz del suelo.

Ambos óxidos de Fe y Mn son constituyentes minerales comunes en muchos suelos y son sustratos importantes para la retención de muchos macronutrientes y micronutrientes.

La disponibilidad de Fe y Mn en las plantas es muy reducida en suelos calcáreos debido a la extremadamente baja solubilidad de los óxidos de Fe y Mn y de los carbonatos de Mn.

En tales situaciones, las plantas inducen respuestas bioquímicas, como la liberación de compuestos reductores y quelantes y la acidificación de la rizósfera, lo que puede aumentar la disponibilidad de Fe, Mn y otros micronutrientes.

En tales situaciones, las plantas inducen respuestas bioquímicas, como la liberación de compuestos reductores y quelantes y la acidificación de la rizósfera, lo que puede aumentar la disponibilidad de Fe, Mn y otros micronutrientes.

Sin embargo, a mayores concentraciones de solución, se produce la precipitación de hidróxidos metálicos (Ginder-Vogel & Sparks 2010).

La adsorción de Cu^{2+} , Zn^{2+} y Ni^{2+} se produce mediante la formación de complejos de esfera externa en superficies cargadas negativamente de filosilicatos 2:1 y tal vez por formación de complejos de superficie interna en superficies de caolinita.

En suelos alcalinos, la adsorción de Zn sobre la calcita y la coprecipitación de Cu en la calcita también puede ocurrir.

B y Mo son absorbidos por las plantas como H_3BO_3 y MoO_4^{2-} .

Evidencia limitada sugiere que las especies B (es decir, $\text{B}(\text{OH})_3$ y $\text{B}(\text{OH})_4^-$) en los suelos se adsorben formando complejos de esfera interna en las superficies de óxidos de Fe y Al (Su & Suarez 1995).

De forma similar, MoO_4^{2-} es fuertemente adsorbido por óxidos metálicos.

El cloro es absorbido por las plantas en forma de cloruro (Cl^-), y las reacciones de adsorción que involucran iones Cl^- son similares a las que implican los iones NO_3^- .

Por lo tanto, un potencial relativamente alto para la adsorción basada en intercambio de iones Cl^- ocurre en suelos altamente degradados debido a que su mineralogía está dominada por minerales de carga variable, tales como caolinita y óxidos de Fe y Al.

En ciertos ambientes del suelo, como aquellos con lixiviación restringida o aquellos con áreas bajas en climas áridos, el Cl puede existir en formas minerales precipitadas, como NaCl , CaCl_2 y MgCl_2 .

CONCLUSIONES



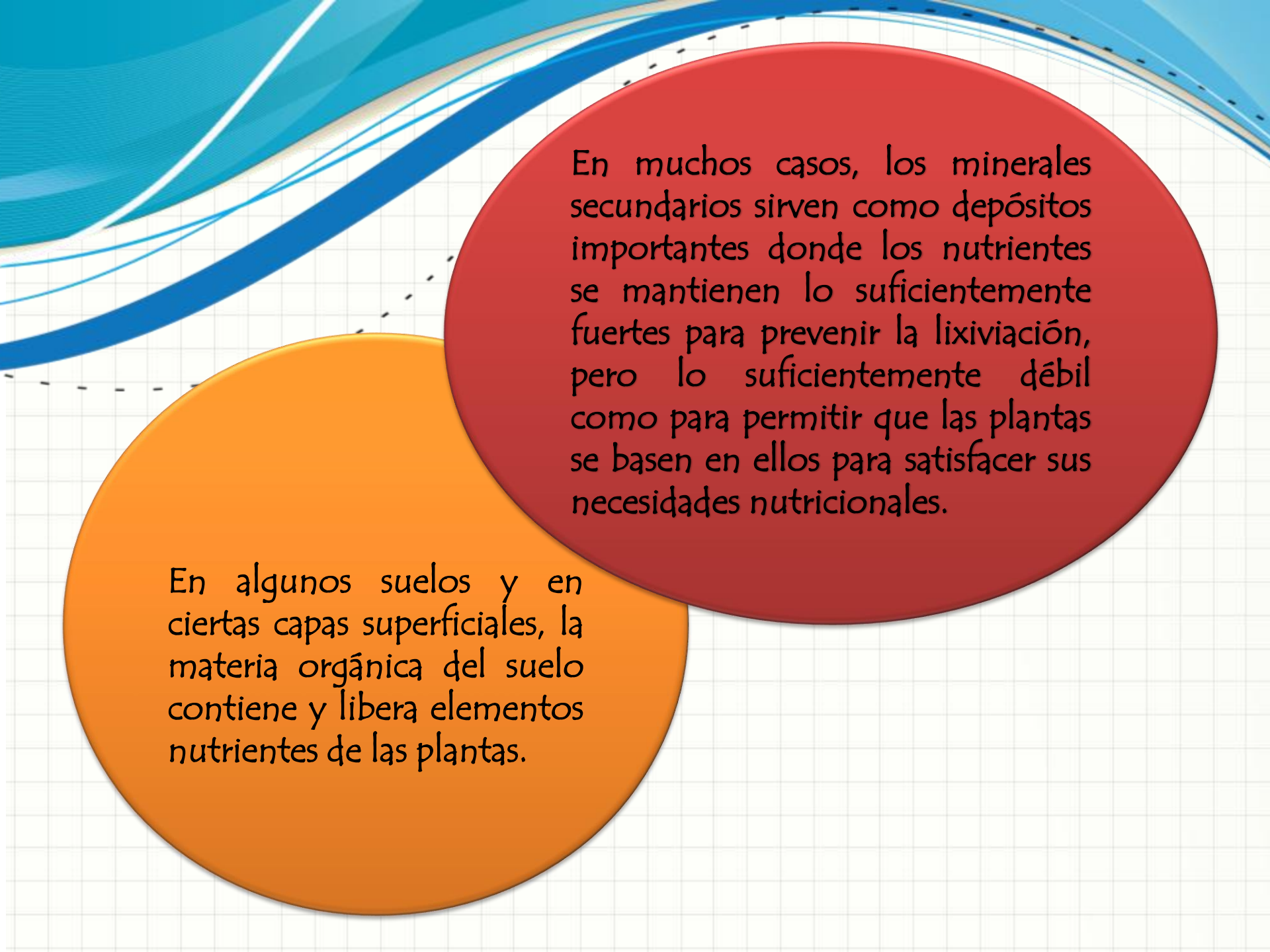
**DR. RODOLFO
SERRATO CUEVAS**

Los minerales del suelo sirven como fuentes y sumideros de nutrientes esenciales de las plantas.

Como minerales primarios que originalmente se formaron a altas temperaturas y presiones en rocas ígneas y metamórficas se resienten en los suelos, que liberan los nutrientes de las plantas en la solución del suelo.

Se forman nuevos minerales en la fase acuosa de los suelos.

Estos minerales secundarios sirven como fuentes de nutrientes, o precipitan o adsorben elementos esenciales, evitando que sean absorbidos fácilmente por las plantas.



En muchos casos, los minerales secundarios sirven como depósitos importantes donde los nutrientes se mantienen lo suficientemente fuertes para prevenir la lixiviación, pero lo suficientemente débil como para permitir que las plantas se basen en ellos para satisfacer sus necesidades nutricionales.

En algunos suelos y en ciertas capas superficiales, la materia orgánica del suelo contiene y libera elementos nutrientes de las plantas.



¿Preguntas?