

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LOS MINERALES EN LOS SUELOS

ANTONIO S. POCOVI *

El suelo, que es uno de los factores básicos de la economía de todos los países, estudiado según el criterio mineralógico, presenta un vasto campo para la investigación que se vincula con sus propiedades actuales y potenciales para la agricultura; y si bien esta disciplina, dilucida por sí sola, una serie de problemas de difícil esclarecimiento por otros medios, constituye además, el punto de partida para el desarrollo de importantes trabajos, cuyos alcances no son difíciles de prever, si se tiene en cuenta que, por su naturaleza, se convierte en un complemento indispensable, destinado a ampliar la información procedente de los análisis químico, granulométrico, físico-químico y biológico.

Los depósitos del *cuaternario* son los que, más que cualquier otra formación geológica, interesan para la agricultura y ganadería, debido a que ellos constituyen, en gran parte en la superficie las tierras de cultivo. Estas provienen, en última instancia, de la alteración de las rocas superficiales, y sus aptitudes para el desarrollo de las plantas dependen no sólo de la naturaleza de las capas geológicas, situadas inmediatamente debajo, sino también de la cantidad y calidad de sus minerales, que se presentan en los distintos horizontes que forman su perfil.

El criterio adoptado para el estudio de los minerales de los suelos es el de considerar que las propiedades de que éstos están dotados, varían en función del tiempo, bajo la influencia de diversos factores ambientales y de otros de carácter químico, físico y biológico; de ahí que una de las finalidades que competen a la mineralogía, aplicada a los estudios edafológicos, sea la de tender al conocimiento de la inten-

* Profesor de Geología Física y Mineralogía en la Facultad Nacional de Agronomía, Medellín.

sidad relativa de aquellas complejas influencias, como para poder abordar sobre esta base esencial, los problemas relativos a la conservación del suelo o al mejoramiento de su capacidad productiva.

Con la identificación de los distintos minerales y sus productos de alteración, es posible obtener informaciones directas sobre la reserva mineral del suelo y con ello cooperar no sólo al conocimiento de la aptitud actual que éste posee para reponer en forma más o menos inmediata los elementos químicos que los vegetales le sustraen continuamente, (*) sino, también, su aptitud potencial consecuencia de un desarrollo de carácter mediato, que está en función de la acción de los distintos agentes naturales, en el decurso de un tiempo aproximadamente previsible. Además por la presencia o ausencia de ciertos minerales y por las inclusiones y caracteres externos que éstos revelen, es posible obtener indicaciones valiosas sobre la procedencia geológica del material suelo, así como también llegar a conocer el ambiente de sedimentación sobre el cual ha madurado. Estos estudios así pueden alcanzar, como dice Albareda, un interés actual y práctico de primer orden, aparte de su interés científico, permanente, en el esclarecimiento de la formación del suelo.

Los suelos de igual origen petrográfico, desarrollados sobre una misma formación geológica, presentan un conjunto de caracteres más o menos similares, aunque a veces el papel activo del clima actuando de manera continua y prolongada sobre determinadas zonas, modifica intensamente y de tal manera los caracteres físicos y químicos de la roca madre o material parental, que facilita la variación de ciertas categorías de suelos. Así por ejemplo, en las grandes llanuras argentinas y sobre el *Pampeano* (Cuaternario) se forman los suelos que el Dr. Joaquín Frenguelli denomina "Chernozoides" o tierras negras. Estos suelos madurados, sobre esa formación geológica, poseen invariablemente un horizonte de acumulación de carbonato de calcio. La razón de esto estaría dada por la descomposición en la capa superior de ciertos minerales como *hornblenda*, *apatita*, *augita*, *andesina*, *microclino*, etc. que determinaría en parte, por ulterior reacción del calcio que ellos contienen, las pequeñas acumulaciones de carbonato de este elemento,

(*) "si nos situamos en la sencillez de la ley de restitución -dice Albareda (1)- podremos considerar la cosecha como una sustracción de elementos nutritivos que hay que devolver al suelo. Eso hace el abonado. Pero frente al gasto de material nutritivo del suelo, que representa la cosecha, hay algún ingreso distinto a los abonos, porque aunque no se abone, la producción no se extingue. El suelo moviliza la reserva arena, la pone en circulación cambiándola en material disperso, y por eso no se anula la producción".

en el horizonte inferior. La ausencia de este horizonte de carbonato en ciertos suelos "Chernozoides", podría atribuirse a que el porcentaje de los citados minerales, en la capa superficial es muy bajo o prácticamente nulo, no faltando la posibilidad de que se presenten, por el contrario, en cantidad, pero sin ningún indicio de alteración, lo cual denunciaría que los agentes climáticos no han producido aún la desintegración capaz de permitir tal proceso.

El proceso de maduración de los suelos se manifiesta, además de otras características, por el avanzado grado de descomposición de los minerales del horizonte eluvial, producido por los agentes climáticos, no mostrando éstos la misma actividad sobre los minerales de la roca madre, que están indudablemente más protegidos. Y en efecto, sobre una misma cantidad de granos minerales, correspondientes a suelos maduros, el porcentaje de los que se presentan descompuestos, es siempre mayor en el horizonte superficial que en los restantes.

Cuanto mayor sea el grado de alteración que muestren los granos minerales, mayor será el valor agrícola que podamos asignar al suelo. En las zonas húmedas, el grado de desintegración de los minerales es mayor que en las zonas secas; de ahí que los suelos de estas últimas regiones, mineralógicamente ricos, resulten casi siempre de escasa fertilidad. El déficit con que actúa el agente hídrico natural en las zonas áridas o semiáridas, no permite a los procesos de edafización actuar con la intensidad necesaria para incrementar su valor agrícola, pero es posible y en este sentido existen antecedentes para mejorar esos suelos mediante compensación artificial por irrigación.

El concepto de la fertilidad actual de un suelo y su persistencia en el futuro, puede ser precisado en forma más ajustada a la realidad con la concurrencia de los conocimientos que se derivan de los estudios de los minerales, relacionados con las observaciones de campo y los de carácter físico y químico. Si, por ejemplo, un suelo está provisto de minerales como *ortosa*, *microclino*, *biotita*, y *muscovita* y han madurado en un ambiente húmedo, se lo podrá considerar rico en reserva mineral de potasio, pues este elemento se presenta en cantidad en los minerales citados. Si en las partículas constitutivas de un suelo evolucionado en las mismas condiciones apuntadas, se presentan todos los minerales ricos desde el punto de vista agrícola, con excepción de los minerales fosfatados, se lo considerará pobre en reserva mineral de fósforo. Y a pesar de que el análisis químico revele en este caso abundancia del citado elemento, se podrá afirmar que ésta es de carácter precario y prever, en consecuencia, con objeto de evitar una desfertilización progresiva, la posibilidad de aplicar una abonadura fosfática dentro de un tiempo no

difícil de determinar, en base al déficit de fósforo que produzcan los cultivos sobre una determinada área.

No cabe duda que un suelo constituido por *feldespatos*, *micas*, *anfíboles*, *piroxenos*, etc. y madurado en condiciones favorables, es de una fertilidad mayor que el integrado solamente por un mineral pobre, como podría ser el *cuarzo* o los *vidrios volcánicos ácidos*.

LOS PRINCIPALES MINERALES QUE SE PRESENTAN EN LOS SUELOS.

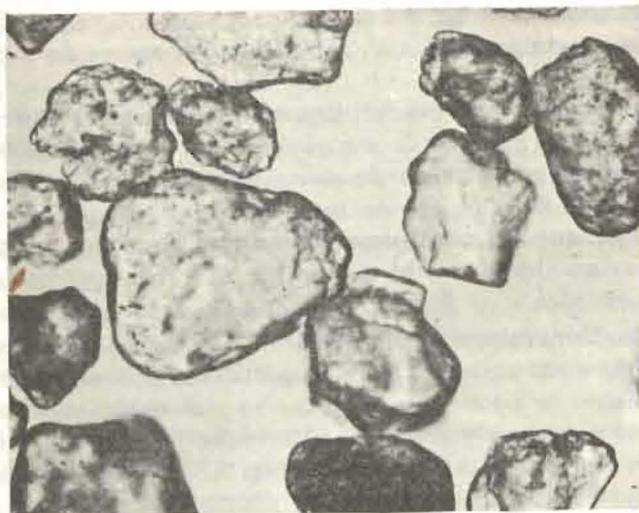
En la fracción fina de los suelos, el *cuarzo* es comúnmente el mineral que se presenta en mayor proporción. Los suelos arenosos y formados esencialmente por *cuarzo*, material químicamente inerte, en general son pobres en elementos asimilables, ejerciendo sólo influencia favorable en las condiciones físicas de los mismos.

La forma de los granos de *cuarzo*, prácticamente no varía en ninguno de los horizontes que constituyen un perfil, lo cual puede explicarse teniendo en cuenta su gran dureza y resistencia al ataque químico, propiedades éstas que poseen, en menor grado los *feldespatos*, los *anfíboles* y los minerales *micáceos* en cuyas partículas ya se notan diferencias en la forma y en el grado de descomposición, al observar las muestras extremas de un mismo perfil.

El *cuarzo*, es el mineral más común de las fracciones arena fina y gruesa (20 a 2000 micrones) llegando a veces a constituir el 80 por ciento de la composición total de la fracción liviana (densidad menor a 2.82). "Debido a su inalterabilidad, se acumula como residuo en los suelos viejos que han perdido la mayor parte de sus compuestos atacables y que por esta razón son ordinariamente suelos pobres".

La forma de los granos de *cuarzo*, es variable en sedimentos distintos; a veces completamente redondeados como suele observarse en los limos (fig. 1), o bien de formas angulosas e irregulares como se presenta generalmente en los depósitos de origen eólico (figs. 4 y 5) a pesar de su gran dureza, nunca se lo encuentra en los suelos como mineral perfectamente desarrollado, en pirámides o bipirámides exagonales, pues estas formas se han destruído durante el transporte.

Los *vidrios volcánicos*, en general abundan en los suelos, son ricos en materias fertilizantes, y aunque resistentes a la alteración química, son fácilmente reducidos a partículas microscópicas, debido a su fragilidad. La importancia de este mineral para la agricultura es pequeña, porque su descomposición resulta extremadamente lenta aun en climas tropicales. Los suelos formados a expensas de vidrios ácidos, dice Erhart (3) muestran casi siempre en los análisis químicos una importante reserva de elementos fertilizantes, pero se trata de un capital

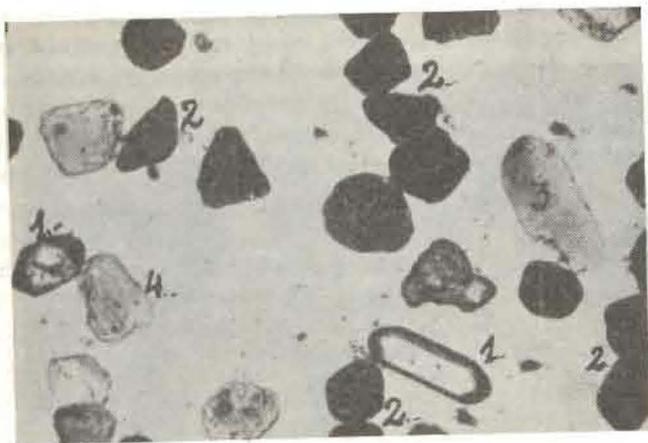


Microfoto del autor.

Fig. 1. Fracción granulométrica de 53 a 200 micrones, proveniente de un material parental, transportado por el agua.

Muestra de densidad menor a 2.82, montada en el flotol (n. 1.469).

1. - Granos de Cuarzo, con bordes algo más pulidos que los de la muestra que provienen de un material eólico.



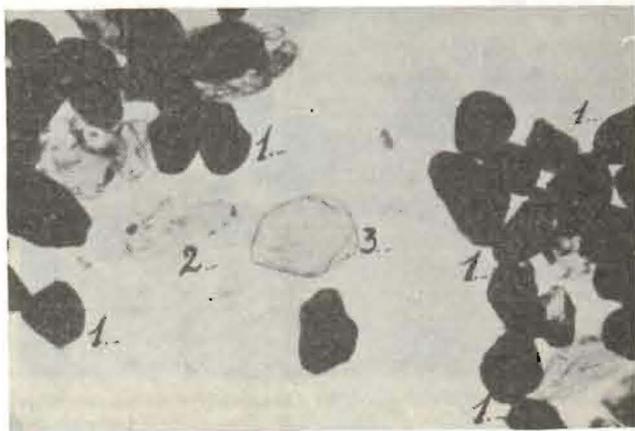
Microfoto del autor.

Fig. 2. Muestra de densidad mayor a 2.82, montada en monobromonaftalina (n. 1.659). 1. - Zirconio. 2. - Magnetita, los granos se encuentran adheridos entre sí, debido a su fuerte magnetismo. 3. - Turmalina. 4. - Anfíbol.

inmóvil que vale poco más que el cuarzo. Es necesario ser muy prudente al iniciar los trabajos de cultivo en un terreno virgen de esta naturaleza. Los rendimientos bajan rápidamente después de algunas buenas cosechas.

En cambio, las reservas fertilizantes de los *vidrios básicos*, se movilizan rápidamente y luego de complicados procesos químicos pasan al estado soluble en condiciones de asimilabilidad para las plantas. En lo que respecta a su composición química media, no pueden darse datos seguros, ya que los porcentajes de calcio, potasio, y magnesio que contienen, varían notablemente.

Los *feldespatos*, se hallan distribuidos en todos los tipos de suelos y entre los minerales de baja densidad, son los de mayor valor desde el punto de vista agrícola, pues proporcionan una cantidad relativamente abundante de potasio, sodio y también de calcio, aunque este último elemento en menor grado. Los principales *feldespatos* son: la *ortoclasa* y el *microclino* (SiO^3AlK), la *albita* ($\text{Si}^3\text{O}^8\text{AlNa}$) y la *anortita* ($\text{Si}_2\text{O}_8\text{Al}_2\text{Ca}$), constituyendo estas dos últimas los términos extremos de las plagioclasas. Los cristales de *ortoclasa* y *microclino* contienen generalmente de 2 a 7 por ciento de Na_2O . Las moléculas de *albita* y *anortita*, se mezclan en cualquier proporción, pudiendo formar los minerales *oligoclasa* (véase fig. 4), *andesina*, *labradorita*, y *bitowinita*, los cuales contienen a veces hasta un tres por ciento de K_2O . La importancia de estos minerales depende del grado de alteración que hayan experimentado y de su composición química.



Microfoto del autor.

Fig. 3 Fracción. Muestra idem anterior.

1. - Magnetita. 2. - Hornblenda. 3. - Piroxeno.

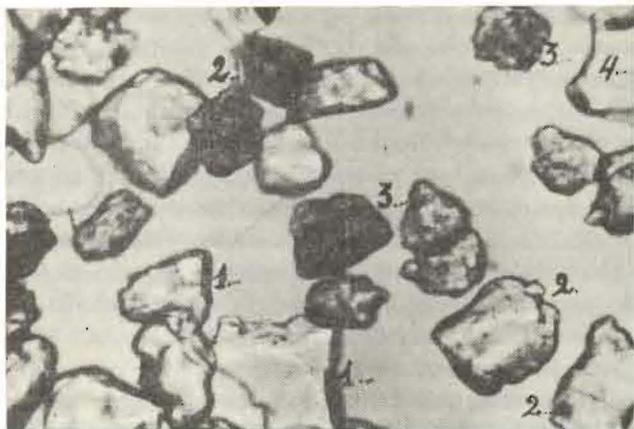
La *ortoclasa*, ordinariamente presenta tonos anaranjados, blancuzcos o incoloros y difícilmente se la encuentra al estado fresco o intacta. En los suelos se presenta en una forma semejante a la de los granos de *cuarzo* que acompaña, pero como su dureza es algo menor, se desgasta con mayor intensidad que aquél. Las maclas de Karlsbab, tan características, no se observan en todos los granos. Es difícil su reconocimiento en los suelos aluvionales, pues los cristales, que han sufrido un largo transporte por el agua, se presentan como columnitas o tablillas más o menos redondeadas, necesitándose un detenido examen para su individualización. La alteración de las *ortoclasas*, es mayor en los suelos madurados en ambientes húmedos y cuando el transporte ha sido realizado por el agua. El *microclino* de composición semejante a la *ortoclasa*, se identifica fácilmente por sus maclas polisintéticas entrecruzadas en forma de red.

De los *feldespatos* *calsódicos* agregaremos que el peso específico, el estado de alteración, la solubilización por ataque ácido, el índice de refracción, etc., aumentan conjuntamente con la proporción de *anortita*, existiendo al mismo tiempo una disminución del contenido en sílice. Las *plagioclasas* pueden entonces, proporcionar una cantidad relativamente importante de calcio, elemento indispensable para la vida de las plantas, acompañado de una pequeña cantidad de potasio.

Muchos investigadores han realizado detenidos estudios de los granos de *feldespatos* que se presentan en las rocas sedimentarias, relacionando la alterabilidad de los mismos, con las condiciones climáticas que reinaron durante su deposición. Sin embargo, las afirmaciones que se pueden deducir en este sentido, son vagas y muy relativas, pues en general los *feldespatos*, se presentan con indicios de alteración, salvo aquellos formados en el lugar mismo.

En los suelos provenientes de un material parental, tal el de loess de las llanuras pampeanas, la *biotita* (figs. 6 y 7) es el mineral pesado que por lo general predomina en las muestras de mayor riqueza agrícola; observándose en diferentes estados de alteración, desde la completamente fresca, a la intensamente descompuesta. Al parecer, los suelos desarrollados sobre arenas, no poseen laminillas de *biotita*, y si las contienen es en tan baja proporción, que la cantidad de elementos asimilables que pueden suministrar, resulta prácticamente nula.

En los suelos, la *biotita*, se encuentra siempre en laminillas basales, rodeada a veces por una zona de color más claro (*Clorita*), debido a la pérdida de óxido de hierro o de álcali. Según los análisis recopilados por Dana (2), este mineral contiene una proporción de óxido de hierro que varía de 5 a 19 por ciento, explicando así su alterabilidad



Microfoto del autor.

Fig. 4. Fracción granulométrica, de 53 a 200 micrones, de Densidad menor a 2.82, proveniente de un material parental transportado por el viento.

Muestra montada en flotol (n. 1.469).

1. - Cuarzo, con bordes agudos. 2. - Oligoclase. 3. - Partículas minerales, revestidas de una película ferruginosa. 4. - Vidrio volcánico.



Microfoto del autor.

Fig. 5. Fracción. Muestra montada en flotol (n. 1.469). Nícoles cruzados. La forma de los granos de cuarzo es angular.

mayor que la de la *muscovita*, en la cual por lo común, el porcentaje de hierro total no llega al 2 por ciento.

Puede presumirse, que los suelos que contienen abundante *biotita*, son de elevada fertilidad, pues este mineral posee generalmente, más del 8 por ciento de K_2O , además de inclusiones de *apatita*, mineral rico en fósforo. En los países de clima templado, se presenta generalmente pura y la descomposición que puede sufrir, tiene lugar con suma lentitud. Pero en los países de clima cálido, tropicales, la *biotita*, se encuentra en un estado avanzado de alteración, tomando las láminas un color blancuzco, que comienza por los bordes y se extiende por toda la superficie del mineral, perdiendo su cohesión y reduciéndose a un polvo amorfo. De aquí, que los suelos más fértiles de los trópicos sean aquellos que poseen un elevado porcentaje de *biotita*. La descomposición de este mineral, conduce a suelos relativamente ricos en magnesio, hierro y potasio, pero casi totalmente desprovisto de calcio.

La *muscovita* (figs. 6 y 7), que suele acompañar a la *biotita*, es también un mineral de importancia en los suelos. Aunque la *muscovita*, se altera con cierta dificultad, aun en las condiciones de los trópicos, donde se han encontrado ejemplares prácticamente intactos, su alto porcentaje de óxido de potasio, variable de 8 a 11 por ciento, según los análisis suministrados por varios autores, hace que se le atribuya la importancia señalada. La razón de su resistencia a la alteración se debería a que es muy escaso su contenido de óxidos de hierro, lo cual sabemos, aumentan la alterabilidad de un mineral cuando mayor es su proporción. A veces dice Milner (4) se encuentran en un sedimento, dos variedades diferentes de *muscovita*, una liviana y otra pesada con respecto al bromoformo cuyo peso específico es de 2.8. En estas circunstancias conviene un examen óptico de los granos, y aun a pesar de ello, en el caso de las laminillas más pesadas, puede llegarse a sospechar, que se trata de una *biotita* lavada o agotada.

Entre los *anfíboles* (figs. 2-3-6 y 7), el mineral que se observa con mayor frecuencia en los suelos es la *hornblenda*. A pesar de no tener aparentemente la importancia de las *micas* y de los *feldespatos*, debido a su alteración más lenta, es capaz de dar suelos de elevada fertilidad, por su riqueza en calcio y magnesio, sobre todo cuando se encuentra acompañada de *biotita*, *augita*, etc. Al alterarse la *hornblenda*, para pasar a un material *clorítico*, pierde comúnmente hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio, elementos estos que pasan a la parte activa del suelo. De los *anfíboles* restantes, merece citarse la *actinolita*, cuya presencia en el suelo indicaría que los minerales constituyentes de éste provienen de rocas metamórficas.

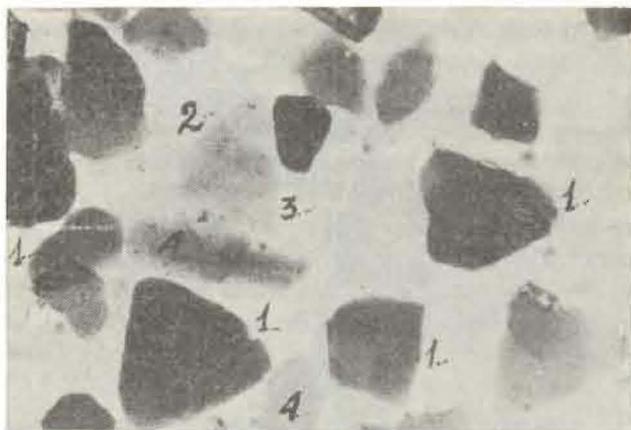


Microfoto del autor.

Fig. 6. Fracción granulométrica, de 53 a 200 micrones, de Densidad mayor a 2.82, proveniente de un material parental transportado por el viento. Muestra montada en Monobromonaftalina (n. 1.659).

1. - Biotita. 2. - Muscovita. 3. - Magnetita. 4. - Zirconio. 5. - Anfíbol.

1. - Biotita. 2. - Muscovita. 3. - Magnetita. 4. - Granate. 5. - Zirconio. 6. - Anfíbol.



Microfoto del autor.

Fig. 7. Fracción granulométrica montada en monobromonaftalina (n. 1.659). 1. - Biotita. 2. - Muscovita. 3. - Mica verde. 4. - Anfíbol.

De los *piroxenos* (Fig. 3), citaremos a la *augita*, *enstatita* y el *hipersteno*, minerales frecuentes en los suelos, que proporcionan gran cantidad de magnesio y calcio. Tanto en la *hornblenda* como en la *augita* se presentan inclusiones de *apatita*, pero debido al contenido de hierro que poseen, el fósforo se encuentra fuertemente retenido resultando poco aprovechable por las plantas.

Los minerales de *hierro*, *titanio* y *manganeso*, son de escasa importancia desde el punto de vista de la fertilidad que aportan al suelo, caracterizándose además por ser difícilmente atacables. Los más comunes son la *magnetita*, *titano-magnetita*, *ilmenita*, *leucoxeno*, *rutilo*, *anatasa*, *pirolusita*, etc.

Puede decirse que no hay suelos que no contengan por lo menos vestigios de hierro. Este elemento se presenta frecuentemente al estado de *magnetita*, aunque también bajo la forma de silicatos complejos, como los *anfíboles*, *piroxenos*, *biotita*, etc., como se acaba de ver. En general, los suelos que han madurado sobre arenas contienen hierro al estado de óxido hidratado.

La *magnetita*, opaca y por lo general presentándose bajo la forma de granos irregulares, es fácilmente separada del resto de los minerales por medio del imán. Al alterarse los *anfíboles*, *piroxenos*, *biotita*, etc. bajo la acción de los agentes exteriores, dejan en libertad casi siempre *magnetita*, que poseen incluida en forma de pequeños nódulos; pudiendo atribuirse este origen al que se encuentra comúnmente en los suelos. Muchas veces los granos de este mineral se hallan reunidos en grupos, hecho que puede ser interpretado como consecuencia de su magnetismo propio. (Figs. 2 y 3).

El *rutilo* y el *zirconio* (Figs. 2 y 6), minerales prácticamente inalterables, no soportan sustancias nutritivas para los vegetales y se los puede encontrar aislados o también como inclusiones. La *biotita*, por ejemplo, especialmente la variedad de color castaño oscuro, muestra frecuentemente halos pleocroicos redondeados de *zirconio*.

El *leucoxeno*, es un mineral que se presenta con un color variable desde el blanco apagado al amarillento blancuzco y en agregados terrosos translúcidos u opacos. Los granos de *ilmenita*, están a veces rodeados o envueltos de una capa de *leucoxeno*, el cual se encuentra comúnmente en secciones delgadas a lo largo del clivaje romboédrico de la *ilmenita*, dando, la conocida estructura en red. Las variedades densas y compactas de *leucoxeno*, muestran todas las gradaciones desde la microcristalina, granular y radial, hasta la de agregados fibrosos. Según Tyler y Marsden* (6) el *leucoxeno* no existiría como una especie mineralógica distinta del *rutilo* y *anatasa*, considerándose conveniente

retener el nombre de *leucoxeno*, para designar el óxido de titanio microcristalino, debido a que no es posible identificar las variedades particulares sin el auxilio de la Röntgenografía.

El manganeso generalmente acompaña al hierro y se presenta en proporciones variables, en casi todos los minerales que contiene este elemento. El bióxido de manganeso o *pirolusita*, que se halla frecuentemente en forma de concreciones y como material cementante de las partículas, tendría su origen en la oxidación del manganeso que entra en la composición de distintos minerales.

FERTILIDAD MINERAL DE LOS SUELOS

Suelos de distinta composición mineralógica, desarrollados en iguales condiciones ambientales, son muy diferentes en lo que respecta a su grado de fertilidad; lo mismo que suelos de idéntica composición mineralógica, pero desarrollados en condiciones desiguales. Los minerales sufren modificaciones de intensidad variable, según el clima de la región considerada y así es que los prácticamente inalterables en zonas frías, pueden ser fácilmente alterados en climas tropicales. Los minerales constitutivos de los suelos que contienen una notable reserva de elementos fertilizantes, suministrarán muy poca cantidad de éstos en forma aprovechable por las plantas, si la acción de los agentes edáficos es tan débil, que no permite una relativa intensidad en su alteración tanto física como química. En cambio, minerales más pobres, pero con mayor grado de alteración, pueden aportar una cantidad mayor de sustancias nutritivas en condiciones edáficas favorables.

Por su composición y proporción relativa, los principales minerales que contribuyen a la fertilidad de los suelos, pueden ordenarse así:

TABLA 1

Minerales ricos	Minerales medianos	Minerales pobres
Biotita	Anfíboles	Cuarzo
Ortoclasa	Piroxenos	Zirconio
Microclino	Vidrios Vol. Bás.	Rutilo
Muscovita	Olivina	Anatasa
Plagioclasas	Magnetita	Vid. Vol. Ac.
Apatita (inc)	Epidoto	Granate

INCLUSIONES

El estudio de las inclusiones en los minerales del suelo, es también de gran importancia, pues permite, reconocer la fuente de origen de las partículas constitutivas de aquél. En el loess, formado comúnmente a partir de materiales de procedencia geológica muy distinta, los caracteres externos de los minerales son, a veces, insuficientes para determinar su origen, debiendo recurrirse, en este caso al estudio de la naturaleza de las inclusiones. De esta manera, es posible, por ejemplo diferenciar el *cuarzo* originado in situ, del proveniente de *granitos*, *gneises* etc. En el *cuarzo* secundario, las inclusiones están constituidas por elementos que forman parte de los suelos que lo contienen; no solamente de origen mineral sino también de tipo orgánico, como por ejemplo vestigios de invertebrados, y restos de vegetales.

Las inclusiones líquidas y gaseosas son comunes en el *cuarzo* de rocas eruptivas y metamórficas (*gneises*, *micaesquistos*), presentándose en mayor cantidad en las primeras que en las segundas. La presencia de pequeñas agujas de *turmalina*, *sillimanita*, *andalusita*, etc., indican que el origen del *cuarzo*, es metamórfico, y en cambio la presencia de inclusiones de *zirconio* y *apatita*, sugiere que deriva de rocas plutónicas ácidas o intermedias.

Mackie, citado por Tyler (6), clasifica en cuatro grupos los granos de *cuarzo*, en base a las inclusiones que presentan: 1. - Granos conteniendo inclusiones aciculares (inclusiones como agujas). 2. - Granos con inclusiones regulares (cristales). 3. - Granos con inclusiones irregulares (lagunas líquidas con o sin burbujas gaseosas). 4. - Granos que no contienen inclusiones.

Según el citado autor, las inclusiones aciculares e irregulares existen en abundancia en el *cuarzo* del granito y de los *ortogneises* y las regulares están en cambio siempre relacionadas con *rocas esquistosas jóvenes* y los *paragneises*. La composición mineral de las inclusiones aciculares no es conocida, pero según Mackie, probablemente se trate de *rutilo*. La dificultad para la identificación de las mismas, la constituye su tamaño extremadamente pequeño, lo que hace prácticamente su caracterización óptica completa.

OTRAS CONSIDERACIONES

La naturaleza de las transformaciones a que están sujetas las partículas minerales constituyentes de los suelos, se halla relacionada con la reacción de éstos, con el agua del suelo, con el tipo de vegetación, etc.

La composición mineral de los suelos, estudiada en comparación con el valor del pH de los mismos, nos permite pensar que, cuando aquellos contienen gran cantidad de *vidrios volcánicos* y *cuarzo*, tienen reacción ácida; en tanto que existe tendencia a la reacción alcalina cuando los suelos son ricos en *anfíboles*, *piroxenos*, *feldespatos cálcicos*, etc.

Comúnmente la salinización del agua de los suelos se debe a la descomposición de los minerales insolubles y también a la disolución de las sales existentes. La primera acción, en la que interviene preponderantemente el agua de lluvia consiste en: 1. - Movilización del calcio en forma de bicarbonato. 2. - Ataque a los aluminosilicatos. En el caso de los sedimentos loessoides, por ejemplo, por ser predominantemente alcalinos, las aguas que percolan se enriquecen con carbonato de este tipo.

En lo referente al tipo de vegetación, debe hacerse notar que presenta en igualdad de otras condiciones, variaciones apreciables de una zona a otra, a pesar de que los suelos estén relacionados fisiográficamente y en el mismo estado edafológico, pudiéramos suponer que estas diferencias sean debidas a la presencia de minerales característicos. Los estudios mineralógicos, unidos a los de carácter químico, podrían permitir así la individualización de asociaciones vegetales con base en los caracteres de los minerales de los suelos sobre los cuales se han desarrollado.

En los suelos maduros, cultivados, debido a las continuas remociones o movimientos a que están sometidos por diversas acciones, los minerales se desmenuzan y alteran químicamente, siendo llevado el producto de estos efectos, ya sea por arrastre, por disolución, etc., al horizonte inmediatamente inferior, donde se acumulan en proporción mayor que en el horizonte superficial, presentando a la vez un tamaño más reducido las partículas insolubles. Los cultivos continuados sobre una misma zona, tienden pues, a empobrecer los minerales del horizonte laborables, por pérdida de sus principales constituyentes químicos; y si a esto se une la sostenida utilización por las plantas de las sustancias nutritivas, producto de la alteración de aquellos, fácil es inducir una declinación progresiva de la fertilidad, y la importancia de los estudios mineralógicos, contribuyendo a la consideración de este importante problema.

El suelo, considerado como un ente natural que nace, se desarrolla y muere, está evidentemente expuesto a que el proceso de su evolución sea acelerado, conduciéndolo al empobrecimiento y la extenuación, por la influencia de diversos factores concurrentes, gran parte de los cuales son perfectamente controlables. Su estado general, juzgado a través de las observaciones de campo, en relación con la fisiografía,

geología, climatología y vegetación espontánea o cultivada, permite formar un criterio cualitativo, como primera aproximación, de su naturaleza, del origen de las influencias a que está sujeto y de sus condiciones de real fertilidad, antecedentes éstos cuyo conocimiento se confirma y completa con el concepto cuantitativo que se deriva de la interpretación de los análisis químico, físico, físico-químico y biológico. La mineralogía en cambio, no sólo contribuye valiosamente a estos mismos fines, sino que, con el concurso de las disciplinas científicas anteriormente citadas, permite llegar al conocimiento de la calidad y cantidad de las reservas potenciales con que el suelo cuenta, para resistir la exigente acción del hombre, siempre orientado hacia la obtención de mayores beneficios y en general con olvido, por desconocimiento o desidia, de las prácticas racionales, que contribuyen al mantenimiento y conservación de las propiedades de este inapreciable bien patrimonial de la humanidad.

Puede así, la mineralogía, contribuir a establecer las causas de la fertilidad real de un suelo, dar idea de sus reservas y predecir su empobrecimiento prematuro o su muerte.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 1) Alvareda, J. M. 1940. La Fracción gruesa. Análisis mineralógico. *En*. Edafología. Madrid. 485 págs.
- 2) Dana, J. E. y E. S., Dana. 1920. Silicates. Section A. Chiefly Anhydrous silicates. *En*. A Text Book of Mineralogy. New Yor. 720 págs.
- 3) Erhart, H. 1935. Traité de Pedologia. París. 426 págs.
- 4) Milner, H. B. 1940. Diagnostic Propietes of Sedimentary Rock minerals. *En*. Sedimentary Petrography. Londres. 357 págs.
- 5) Tyler, S. A. y R. W. Marsden. 1938. The nature of Leucoceno. *Jour. Sed. Petrol.* 8 (2) : 55.