

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA



“Una revisión del sistema suelo”

MONOGRAFÍA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA

EN QUÍMICA

P R E S E N T A:

IRMA YOLANDA BARRERA CRUZ

DIRECTOR

DR. FRANCISCO PRIETO GARCÍA

Julio 2010

Índice

Nº		Pág.
	Índice de tablas y figuras	i
	Glosario de términos	iii
	Resumen	vi
1	Introducción	1
2	Objetivos	3
3	Definición de suelos	3
	3.1. Clasificación de suelos	5
	3.2. Órdenes de suelos de la clasificación FAO-UNESCO	8
	3.3. Órdenes del suelo de la clasificación USDA-NRCS	13
	3.4. Órdenes del suelo de la clasificación WRB	19
	3.5. Clasificación de suelos con bases a resultados de caracterización fisicoquímica	29
	3.6. Horizontes del suelo	31
4	Componentes del suelo	32
	4.1. La fase sólida del suelo. Composición y perfiles del suelo.	35
	4.2. La fase líquida del suelo	43
	4.3. La fase gaseosa del suelo	46
5	Principales propiedades físicas y fisicoquímicas del suelo	48
	5.1. Textura, densidad y estructura de suelos	50
	5.2. Medida de la salinidad en suelos. Conductividad eléctrica	59
	5.3. Ph, potencial redox y potencial zeta de los suelos	60
	5.4. Materia orgánica, nutrientes esenciales y no esenciales.	64
	5.5. Capacidad de intercambio iónico (CIC).	67
6	El suelo, el agua y la agricultura	71
	6.1. Características de los suelos y el movimiento de las aguas	72

6.2 Coloides del suelo y la retención de iones	76
7 Historia de los análisis de suelos	79
7.1. Normas reconocidas para calidad de suelos y la realización de análisis de suelo.	83
8 Uso de indicadores e índices para evaluación de calidad de los suelos.	85
9 Conclusiones	88
10 Bibliografía	91
11 Referencias de internet	101

Índice de tablas y de figuras

No.	Figuras	Página
1	Mapa del suelo	5
2	Representación de los suelos zonales	7
3	Composición porcentual de las fases del suelo	32
4	Fases del suelo. Un corte	33
5	Fases del suelo. En detalles	33
6	Perfiles del suelo	38
7	Tetraedro de silicio aislado y en red hexagonal	40
8	Octaedro de silicio aislado	40
9	Estructura de los minerales en función del modelo de repetición de las láminas	41
10	Espacios porosos por donde circula la fase líquida en el suelo	45
11	Escalas granulométricas, internacional y del USDA	51
12	Triangulo de texturas	52
13	Estado de agregación de los perfiles superficiales del suelo	55
14	Intercambio de H, producido por las precipitaciones	62
15	Clasificación de suelos para los cultivos en función del PH	63
16	Esquema representativo de los procesos de intercambio iónico donde se aprecian las disociaciones de los grupo OH y grupos – COOH	69
17	Relación entre la textura del suelo y la disponibilidad de agua	73
18	Los cationes son atraídos por las arcillas y la materia orgánica del suelo.	77

No. Tablas

1	Evolución del perfil del suelo	37
2	Agrupamiento de tetraedros de silicio y nombres de grandes grupos de silicatos	39
3	Composición del aire del suelo	47
4	Valores normales de C.E para diferentes tipos de agua	60
5	Capacidad de intercambio catiónico de algunos materiales particulados que son comunes en suelos	70
6	Normatividad ISO de algunos métodos de ensayo para suelos	83

Glosario de términos

Acrisol. Palabra proveniente del latín: *acris* que significa muy ácido.

Andosol. Palabra proveniente del japonés que se compone de dos palabras: *an* que significa oscuro y *do* que significa suelo.

Arenosol. Este suelo, como su nombre lo indica, es rico en arena.

Cambisol. Palabra proveniente del latín *cambiare* que significa cambiar.

Capa freática. Es la primera capa de agua subterránea que se encuentra al realizar una perforación y la más susceptible a la contaminación antrópica.

Capa Glácica. Es hielo masivo o hielo basal en forma de lentes o cuñas de hielo. La capa tiene un espesor de 30 cm o más y contiene 75 por ciento o más de hielo visible.

Centrifugación. Es un proceso de separación que utiliza la acción de la fuerza centrífuga para promover la aceleración de partículas en una mezcla de sólido-líquido. Dos fases claramente distintas se forman en el recipiente durante la centrifugación: El sedimento y el centrifugado.

Coloide. Partículas tan finas que no sedimentan si no se someten a una coagulación previa. Su tamaño oscila entre 10 y 1000 angstroms. Tiene una carga neta negativa, y obstruyen membranas. Estos pueden ser bacterias, sílice y arcilla.

Edafogénesis. Conjunto de procesos que intervienen en la evolución progresiva de un sustrato rocoso hasta la configuración de un determinado tipo de suelo.

Edafología: Ciencia que estudia las características de los suelos, su formación y su evolución (edafogénesis), sus propiedades físicas, morfológicas, químicas y mineralógicas y su distribución.

Epipedón hístico. Es una capa (uno o más horizontes) que se caracteriza por saturación (por 30 días o más, acumulativos) y reducción por algún tiempo durante años normales (o está drenado artificialmente).

Fluvisol, Palabra proveniente del latín: *fluvius* que significa río.

Gleysol. Palabra Rusa: *gley* que significa masa de suelo fangoso.

Histosol. Palabra griega; *histos* que significa tejido.

Hidromorfía. Es un estado permanente o temporal de saturación de agua en el suelo que lleva asociado la existencia de condiciones reductoras.

Hongos micorrícicos. Los hongos micorrícicos son pequeños, criaturas inofensivas que se adhieren a raíces de las plantas y en realidad ayudan a las plantas para hacer uso de agua y nutrientes orgánicos en el suelo. Ellos viven en las raíces de aproximadamente el 95% de todas las especies de plantas de la tierra. A cambio de lo que proporcionan a la planta, la planta ofrece una comida a los hongos de los azúcares (carbono fijo), producido por el proceso de fotosíntesis.

Humus. Es la materia orgánica en descomposición que se encuentra en el suelo. Procede de restos vegetales y animales.

Kastañozem. También conocido como chemozem, del ruso: *chern*, que significa oscuro y *Zmelja* que significa tierra y del griego *Phaios* que significa negruzco.

Litosol. Palabra griega: *lithos* que significa piedra

Luvisol. Palabra proveniente del latín: *luvo* que significa lavar.

Metal pesado. Refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (hg), cadmio (cd) el arsénico (as), el cromo (cr), el talio (tl), y el plomo (pb). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos.

Meteorización. Es el proceso de desintegración física y química de los materiales sólidos en o cerca de la superficie de la Tierra, bajo la acción de los agentes atmosféricos.

Micromorfografía la definimos como la técnica de descripción de las características que muestra el suelo a nivel microscópico.

Micromorfología utiliza estas características para hacer interpretaciones, generalmente sobre los procesos de formación de los suelos.

Nitosol. Palabra proveniente del latín: *nitidus* que significa brillante.

Oxidación. La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal cede electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.

Planosol. Palabra proveniente del latín: *planus* que significa plano.

Reducción. Cuando una especie química acepta electrones.

Xerosol. Palabra proveniente del griego *xeros* que significa seco.

Resumen

Con el objetivo de poder conocer mejor y exponer los aspectos más importantes de los suelos (formación, constituyentes, clasificación, propiedades, génesis, identificación e interpretación de suelos, entre otros aspectos); se ha realizado este trabajo, de modo que proporcione una base científica para adquirir los conocimientos necesarios y de esta manera resaltar la importancia del suelo en la vida del hombre como un sustento indispensable para la supervivencia así como para los demás seres vivos que habitan este planeta.

El suelo es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. Las tecnologías de producción agrícola exigen conocer las características del suelo y del agua de riego para preparar programas de fertilización desde una perspectiva técnica y rentable. Los altos rendimientos en la agricultura son el resultado de múltiples factores que se inician con un buen diagnóstico de la fertilidad del suelo y de las características del agua de riego, utilizando un adecuado muestreo, procedimiento analítico y un buen control de calidad en el laboratorio.

Otros factores ajenos al suelo, que también inciden en la productividad de la actividad agrícola, se deberá tomar en cuenta como son los factores de tipo climático: precipitación pluvial, radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, entre otros y su incidencia sobre el sistema suelo.

1. Introducción

El presente trabajo ha sido elaborado con la finalidad de desarrollar los aspectos más relevantes del tema suelos, los cuales abarcan la cubierta superficial de la mayoría de la capa continental de la tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica.

Actualmente, la tecnología más avanzada de producción agrícola exige conocer las características del suelo y del agua de riego para preparar los programas de fertilización desde una perspectiva técnica y rentable. Sin embargo, uno de los factores limitantes para que los técnicos y productores utilicen la herramienta del análisis de suelos, plantas y aguas es la dificultad para interpretar los resultados del laboratorio y traducirlos en decisiones correctas de manejo del suelo y de la fertilización.

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales.

Los altos rendimientos en la agricultura son el resultado de múltiples factores que se inician con un buen diagnóstico de la fertilidad del suelo y de las características del agua de riego, utilizando un adecuado muestreo, procedimiento analítico y un buen control de calidad en el laboratorio. Esto es básico para lograr una buena interpretación de los resultados y una adecuada recomendación de la fertilización, en función de una meta razonable de rendimiento. Los otros factores involucran un conveniente manejo de la labranza (convencional o de conservación), una sabia decisión en cuanto a fechas de siembra y variedades o híbridos a utilizar, una

correcta decisión de dosis, formas y épocas de fertilización. Un adecuado manejo de la sanidad del cultivo en cuanto a plagas, enfermedades y malezas, y un buen abastecimiento de agua (Rivera *et al.*, 2005).

Sin embargo, muchos otros factores inciden también sobre la productividad del suelo y estos, muchas veces no se describen en un reporte de laboratorio, por lo que conviene tenerlo muy en cuenta. Estos factores incluyen: la profundidad del suelo, la pendiente del terreno, las características de drenaje superficial e interno del mismo, la profundidad a la capa freática, la presencia de pedregosidad, la temperatura del suelo. Además, otras características físicas del suelo no son incluidas en los análisis de rutina como es la compactación.

Por otro lado, las características biológicas del suelo juegan también un papel muy importante en cuanto al suministro de nutrimentos y control de patógenos. Así por ejemplo, los microorganismos del suelo (hongos, actinobacterias) llevan a cabo la descomposición de los residuos de cultivo y de otros materiales orgánicos. Otros microorganismos como las bacterias de los géneros: *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* transforman el nitrógeno amoniacal ($N-NH_4$) en nitrógeno nítrico ($N-NO_3$), para que sea asimilado por las plantas. Otras bacterias juegan un papel importante en la promoción del crecimiento radical y sistema de defensa de la planta, denominadas rizobacterias, otras en la solubilización del fósforo, y otras más en los ciclos biogeoquímicos, tales como el del carbono, nitrógeno, azufre, fósforo, etc. Además, los hongos micorrícicos juegan un papel importante en el abastecimiento de fósforo, micronutrientes y agua en las raíces de muchas plantas. El manejo fitosanitario también juega un papel vital en la productividad de la agricultura. Por otro lado, la presencia de macroorganismos, tales como lombrices, coleópteros, etc., también incide en forma importante en las características de productividad del suelo (Gamón *et al.*, 1999).

Otros factores ajenos al suelo, que también inciden en la productividad de la actividad agrícola, se deberán tomar en cuenta como son los factores de tipo

climático: precipitación pluvial, radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, entre otros (Zárate *et* Vargas, 2009).

2. Objetivos

Conocer y exponer los aspectos más importantes de los suelos (formación, constituyentes, clasificación, propiedades, identificación e interpretación de los suelos, entre otros aspectos) de modo que proporcionen una base científica para que se adquieran los conocimientos necesarios y de esta manera resaltar la importancia del suelo en la vida del hombre como un sustento indispensable para nuestra supervivencia así como para los demás de los seres vivos que habitan este planeta.

3. Definición de Suelos

Es la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos (Zárate *et* Vargas, 2009). Se entiende por tanto como suelo a la superficie emergida de la tierra o la parte de la litosfera que de alguna forma está sometida a la acción de los agentes climáticos y biológicos y por supuesto, a una intervención masiva de las actividades humanas. En esta definición se engloba básicamente la capa superficial emergida, sometida a una evolución permanente –incidencia del factor tiempo- y a unas dimensiones en constante interacción con los demás componentes de los ecosistemas en que participa –incidencia del factor espacio-. El término suelo se refiere además, a la región en la que se sustenta la vida vegetal y de la cual las plantas obtienen soporte mecánico y muchos de sus nutrientes (Cong, 1994).

El proceso mediante el cual los fragmentos de roca se hacen cada vez más pequeños, se disuelven o van a formar nuevos compuestos, se conoce con el nombre de meteorización (Otalvaro *et al.*, 2004).

Los productos rocosos de la meteorización se mezclan con el aire, agua y restos orgánicos provenientes de plantas y animales para formar suelos. Luego el suelo puede ser considerado como el producto de la interacción entre la litosfera, la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera. Este proceso tarda muchos años, razón por la cual los suelos son considerados recursos naturales no renovables. En el suelo se desarrolla gran parte de la vida terrestre, en él crece una gran cantidad de plantas, y viven muchos animales.

Debido a su naturaleza permeable, penetrable y oxidable, capaz de ser deshidratado y calentado, el suelo permite el desarrollo de la vida microbiana y del sistema radical de la vegetación. Es un medio multifásico, de composición variable en el espacio y el tiempo, al que afectan fenómenos físicos, químicos, biológicos y climáticos por una parte y por otra la acción del hombre a través de la contaminación (Brissio, 2005). La figura 1 representa lo que podría denominarse un mapa de suelo.

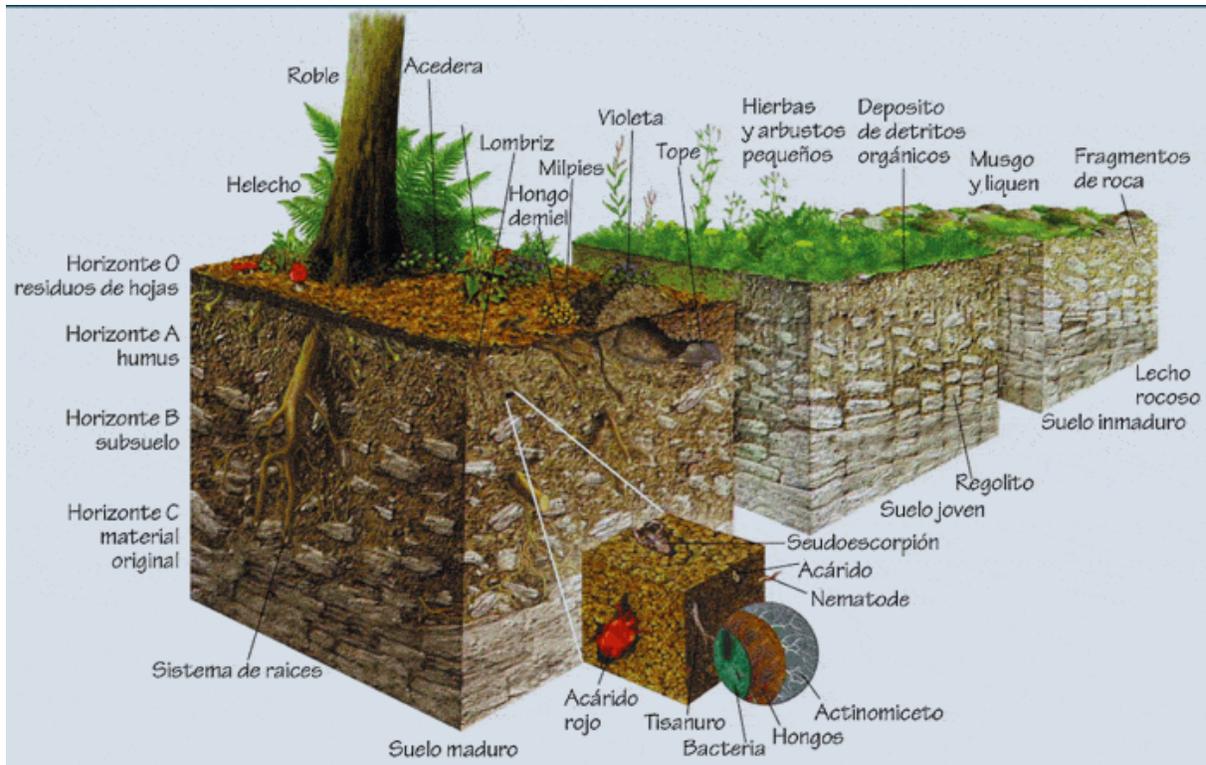


Figura 1. Mapa del suelo

Tomada de: www.fagro.edu.uy/~huertas/suelo.html

3.1. Clasificación de los Suelos

El suelo es resultado de la interacción de cinco factores: El *material parental*, el *relieve*, el *tiempo*, el *clima*, y los *seres vivos*. Los tres primeros factores desempeñan un rol pasivo, mientras que el clima y los seres vivos participan activamente en la formación del suelo (Ochoa *et al.*, 2004).

- El *material parental* o *roca madre* es el sustrato a partir del cual se desarrolla el suelo. De éste se deriva directamente la fracción mineral del suelo y ejerce una fuerte influencia sobre todo en la textura del suelo.
- El *clima* influye en la formación del suelo a través de la temperatura y la precipitación, los cuales determinan la velocidad de descomposición de los

minerales y la redistribución de los elementos; así como a través de su influencia sobre la vida animal y vegetal.

- Los *seres vivos* (plantas, animales, bacterias y hongos) son el origen de la materia orgánica del suelo, y facilitan su mezcla con la materia mineral.
- El *relieve* afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la cantidad de material que es arrastrado, sea por el agua o el viento.
- El *tiempo* es necesario para un completo desarrollo del suelo. El tiempo de formación de un pequeño volumen de suelo es muy largo (1 cm³ de suelo puede tardar entre 100 y 1000 años en formarse) pero su destrucción es muy rápida (Ochoa *et al.*, 2004).

Los suelos han sido clasificados en función de sus características de formación y de su grado de intemperización, con el fin de facilitar su descripción. Los criterios más considerados para la clasificación de los suelos son los petrográficos, los genéticos y los climáticos (Rondón *et Elizalde*, 2007).

1. Clasificación Petrográfica: Es aquella que toma en cuenta el predominio de uno de los integrantes de la fracción mineral del suelo, de donde resultan suelos silíceos, arcillosos, calizos, salinos, etc.

2. Clasificación Genética: Es aquella que toma en cuenta el proceso que dio origen a los suelos. Esta divide los suelos en:

- Suelos Autóctonos: Son aquellos que resultan del proceso de desintegración de las rocas de un lugar, sin que los materiales desintegrados sean transportados a otros, por los que estos se quedan cubriendo la roca madre.
- Suelos Alóctonos: Son los que se forman por los componentes que han llegado de fuentes de suministro alejadas del lugar de depósito.

3. Clasificación Climática: Está relacionada con las condiciones climáticas

La clasificación de los suelos suele basarse también en la morfología y la composición del suelo, con énfasis en las propiedades que se pueden ver, sentir o medir. A continuación se presentan algunas clasificaciones (Ochoa *et al.*, 2004):

* **Clasificación N°1**

- Suelos Zonales: Suelos que reflejan la influencia del clima y la vegetación como los factores activos de formación del suelo mas importante. Se pueden desarrollar en climas tropicales, templados y fríos; se consideran suelos maduros muy evolucionados. La figura No. 2 representa los suelos zonales.
- Suelos Azonales: Son aquellos que no tienen limites claramente definidos y no están mayormente influenciados por el clima. Y cuya génesis esta condicionada por otros factores distintos del clima.
- Suelos Intrazonales: Son aquellos que reflejan la influencia dominante de un factor local sobre el efecto normal del clima y la vegetación. Ej.: los suelos hidromórficos (pantanos) o calcimórficos formados por calcificación. Se consideran suelos donde predominan factores edafogenéticos pasivos como la roca madre y la pendiente.

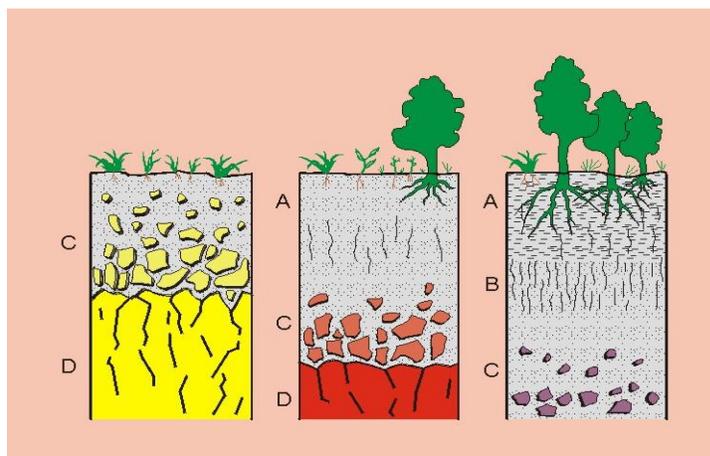


Figura No. 2. Representación de los suelos zonales.

Tomada de: www.uclm.es/.../Prospeccion_geoquimica_1_1.htm

*** Clasificación N°2**

- Suelos Exodinamórficos: Son aquellos suelos que reflejan la influencia del clima y la vegetación.
- Suelos Endodinamórficos: Son aquellos suelos influenciados por el material parental.

*** Clasificación N°3**

- Pedocales: Suelos con acumulación de carbonatos de calcio, generalmente están en ambientes áridos y semiáridos.
- Pedalfers: Suelos con alta lixiviación y segregación de Al y Fe, generalmente están en ambientes húmedos.

Existen varios sistemas de clasificación. En algunos países del mundo se utiliza la clasificación FAO-UNESCO (1975) y se ha desarrollado el mapa de suelos del mundo en escala 1:5,000,000. En México como en otros países de Latinoamérica se han desarrollado mapas de suelo a escalas de mayor detalle. Dichos mapas están al alcance de los usuarios en varios países. En el caso de México están al alcance del público en las oficinas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en las principales ciudades de México, en escalas 1:50,000 y 1:250,000. Los principales órdenes de suelo de esta clasificación se presentan a continuación.

3.2. Órdenes de suelos de la clasificación FAO-UNESCO (1975). (Land evaluation by the working group on land evaluation.)

Acrisol. Este suelo tiene acumulación de arcilla en el subsuelo, es ácido o muy pobre en nutrimentos en zonas tropicales a templadas, muy lluviosas. En

condiciones naturales tienen vegetación de selva o bosque. Son de colores rojos o amarillo claros y son susceptibles a la erosión.

Andosol. Este tipo de suelo se ha formado a partir de cenizas volcánicas. En condiciones naturales, estos suelos tienen vegetación de pino, abeto, encino, etc. Se localiza principalmente en zonas templadas o de selva, o zonas tropicales con una capa superficial de color negro. Estos suelos son normalmente ricos en materia orgánica, son sueltos y muy susceptibles a la erosión. Su principal limitación es su alto contenido de aluminio, aun sin presentar pH muy ácido, como ocurre generalmente en los suelos Acrisoles y suele presentar problemas de fijación de fósforo en un grado de severidad variable.

Arenosol. Se encuentra en zonas tropicales o templadas y ocasionalmente en zonas áridas. En condiciones naturales tienen vegetación de selva, bosque o matorral, pero en cualquier caso esta vegetación es escasa. Se caracterizan por ser suelos de textura muy gruesa- No son suelos aptos para la agricultura por su baja fertilidad. Sin embargo, bajo sistemas de fertirriego pueden ser muy productivos. Su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta. Estos suelos han sido condicionados a lo largo del tiempo y se consideran maduros y evolucionados para zonas desérticas.

Cambisol. Este es un suelo joven, poco desarrollado, de cualquier clima, excepto de zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación. En el subsuelo tienen una capa con terrones que presentan un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc. En México normalmente se encuentran en fases líticas, es decir con material rocoso subyaciendo al suelo a una somera profundidad. Estos suelos presentan una susceptibilidad de moderada a alta a la erosión.

Fluvisol. Este suelo se forma por materiales de depósitos aluviales recientes excepto los marinos, están constituidos por material suelto que no forma terrones

y son poco desarrollados, se encuentran en todo tipo de clima, cercanos a zonas de acarreo por agua. La vegetación varía desde selva a matorrales y pastizales.

Gleysol. Se encuentra en casi todos los climas, en zonas donde se acumula y estanca el agua en la época de lluvias, que ocurre durante la mayor parte del año. En la capa saturada con agua, presenta colores azulosos, verdosos o grisáceos que al secarse presentan manchas rojas, su vegetación natural es de pastizal y en zonas costeras cañaveral o tular. Estos suelos en ocasiones presentan acumulaciones de sales y son poco susceptibles a la erosión. Estos suelos son susceptibles de explotación en la medida en que puedan ser drenados.

Histosol. Estos son suelos de climas húmedos, templados o cálidos. Se encuentran en zonas pantanosas o en los lechos de antiguos lagos, están en las áreas donde se acumula agua y desechos de plantas sin descomponerse por mucho tiempo. Se caracteriza por tener altas cantidades de materia orgánica en forma de hojarasca, fibras, maderas o humus. La vegetación natural es de pastizal o praderas. No son susceptibles a la erosión.

Kastañozem. Estos son suelos con alta fertilidad natural y niveles moderadamente altos de materia orgánica. Son suelos excelentes para la agricultura, particularmente bajo condiciones de riego. Estos suelos se consideran como zonales para latitudes medias en climas templados y se consideran muy fértiles.

Litosol. Estos suelos presentan una distribución muy amplia, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Son suelos sin desarrollo, con profundidad menor que 10 cm. Tienen características muy variables según el material que los forma. En cuanto a su susceptibilidad a la erosión, depende de la zona donde se encuentren y puede ser de moderada a alta. Son los suelos típicos de montañas y serranías. Estos son ejemplos de suelos inmaduros o azonales.

Luvisol. Este suelo presenta acumulación de arcilla en el subsuelo- Son de zonas templadas o tropicales lluviosas. Su vegetación natural es de selvas o bosques. Son rojos o claros y son moderadamente ácidos. Con susceptibilidad alta a la erosión.

Nitosol. Se localiza en zonas muy lluviosas, tanto cálidas como templadas. Usualmente se derivan de rocas intrusivas básicas o lavas volcánicas básicas. Su vegetación natural es de bosque o selva y en ellos se producen cultivos tropicales como caña de azúcar, banano y arroz. Se caracterizan por tener un subsuelo enriquecido con arcilla que es muy profundo. Su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.

Phaeozem. Este suelo tiene una capa superficial oscura suave y rica en materia orgánica y nutrimentos, por lo que normalmente se consideran suelos fértiles. Se pueden encontrar desde zonas semiáridas hasta zonas templadas o tropicales, en condiciones naturales tienen casi cualquier tipo de vegetación. Se encuentran en terrenos desde planos hasta montañosos y la susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno donde se encuentren.

Planosol. Este suelo presenta debajo de la capa más superficial una capa más o menos delgada de un material claro, ácido, poco fértil, que a veces impide el paso de las raíces, por debajo de esta capa, se presenta un subsuelo arcilloso e impermeable o bien roca o "tepetate". Son de climas semiáridos o templados, su vegetación natural es de pastizal y son muy susceptibles a la erosión.

Regosol. Se caracterizan por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen. Se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en él que se encuentran. Igualmente se consideran suelos inmaduros o brutos con horizontes mal desarrollados y clasifican como azonales.

Rendzina. Estos suelos tienen una capa superficial de materia orgánica que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal, no son muy profundos, son arcillosos y se presentan en climas cálidos o templados, con lluvias moderadas o abundantes. Su susceptibilidad a la erosión es moderada. Este tipo de suelo corresponde con suelos del tipo intrazonales poco evolucionados y con malos drenajes.

Solonchak. Se caracterizan por presentar un alto contenido de sales en alguna parte o en todo el perfil. Se presentan en diversos climas y zonas donde se acumulan sales solubles, no sódicas. Su vegetación, cuando la hay, es de pastizal o de plantas que toleran las sales. Son poco susceptibles a la erosión. Es común que se localicen en lechos de antiguos lagos.

Solonetz. Este suelo tiene un subsuelo arcilloso con alto contenido de álcali de sodio, presenta terrones duros en forma de columnas, son de varios climas y zonas donde se acumulan sales, en particular el sodio. Su vegetación natural, cuando la hay, es pastizal o matorral. Son poco susceptibles a la erosión.

Vertisol. Estos suelos presentan grietas anchas y profundas en época de sequía, son suelos muy duros, arcillosos y masivos, frecuentemente negros, grises y rojizos. Son de clima templado y cálido, con una marcada estación seca y otra lluviosa. Su vegetación natural es muy variada. Su susceptibilidad a la erosión es baja.

Xerosol. Estos son suelos del semidesierto que ocurren entre los Yermosoles en las partes más secas de la región. En ellos puede haber pastizales y matorrales de desierto aunque pueden ser cultivados con éxito si se dispone de agua para riego.

Yermosol. Estos suelos ocurren en la zona más seca contigua a los Xerosoles y son suelos de desierto con muy bajos niveles de materia orgánica. En México

ocurren solamente en el norte y noroeste, en las zonas más secas del país y continúan hacia el sur de EU. Estos suelos pueden ser muy productivos si se dispone de agua de riego.

3.3 Ordenes del suelo de la clasificación USDA-NRCS

La publicación de las *claves para la taxonomía de suelos* sirve para dos propósitos. Proporcionar las claves taxonómicas necesarias para la clasificación de suelos en una forma tal que se pueda usar fácilmente en el campo. Dar a conocer a los usuarios del sistema taxonómico los cambios más recientes del sistema. A continuación se enlista la clasificación taxonómica de suelos para la USDA-NRFR (Soil Survey Staff, 1999; Cumba *et al.*,2005; Soil Survey Staff 2006). En otros países como en Estados Unidos, se utiliza el sistema de clasificación de suelos de la 7ª aproximación. Estos órdenes de la clasificación corresponden o tienen cierta equivalencia con los órdenes de la clasificación FAO-UNESCO que se indican a continuación

Alfisols. Que tienen, en uno o más horizontes dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o artificialmente drenados); y tienen *una o ambas* de las siguientes:

1. Rasgos redoximórficos en todas las capas entre el límite inferior de un horizonte Ap ó a una profundidad de 25 cm abajo de la superficie del suelo mineral, cualquiera que esté más profundo y una profundidad de 40 cm; y *una* de las siguientes dentro de los 12.5 cm superiores del horizonte argílico, nátrico, glóssico o kándico:
 - a. 50 por ciento o más de empobrecimientos redox con un chroma de 2 o menos sobre las caras de los agregados y concentraciones redox dentro de los agregados; o
 - b. Concentraciones redox y 50 por ciento o más de empobrecimientos redox con un chroma de 2 o menos en la matriz; o
 - c. 50 por ciento o más de empobrecimientos redox con un chroma de 1 o menos sobre las caras de los agregados ó en la matriz ó en ambos; o

2. En los horizontes que tienen condiciones ácuicas, suficiente hierro ferroso activo para dar una reacción positiva a la dipiril-alfa alfa al tiempo cuando el suelo no está bajo riego.

Andisols. Andisols que tienen ya sea:

1.-Un epipedón hístico; o

2. En una capa encima de un contacto dénsico, lítico o paralítico o en una capa a una profundidad entre 40 y 50 cm a partir de la superficie del suelo mineral o a partir de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo, cualquiera que esté más somera, condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenados artificialmente) y una o más de las siguientes:

a. 2 por ciento o más de concentraciones redox; o

b. Un color del value, en húmedo, de 4 o más y 50 por ciento o más de chroma de 2 o menos en empobrecimientos redox sobre las caras de los agregados o en la matriz si los agregados están ausentes; o

c. Suficiente hierro ferroso activo para dar una reacción positiva al dipiridil-alfa, alfa en el tiempo cuando el suelo no está siendo irrigado.

Aridisols. Son los suelos representativos de las regiones áridas. Casi siempre presentan régimen de humedad arídico. En cuanto a los horizontes diagnósticos, el epipedón es, en la inmensa mayoría de los casos, ócrico; y de los subsuperficiales aparecen ya horizontes evolucionados como el argílico, nátrico y muy frecuentemente presentan horizontes producidos por la acumulación de sales (cálcico, yésico, sálico) y a veces con cementaciones (petrocálcico...). Son de colores claros, con bajos contenidos en materia orgánica, de espesores delgados a medios, reacción alcalina a neutra, suelos saturados, de texturas gruesas y con baja actividad biológica. Presentan malas condiciones para el desarrollo de las plantas, ya sea por la falta de agua prolongada, o ya sea por el exceso de sales

presentes. Equiparación. En la clasificación de la FAO este orden de suelos estaría repartido entre los Calcisoles, Gypsisoles, Solonchak y Solonetz.

Entisols que tienen *una o más* de las siguientes:

1. Condiciones ácuicas y materiales sulfídicos dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral; o

2. Saturación permanente con agua y una matriz reducida en todos los horizontes abajo de los 25 cm a partir de la superficie del suelo mineral; o

Suelos muy poco evolucionados (es el orden de suelos con más baja evolución). Sus propiedades están ampliamente determinadas (heredadas) por el material original. De los horizontes diagnósticos solo presentan aquellos que se originan fácilmente. Casi siempre con horizonte diagnóstico ócrico y sólo algunos con hístico y con albico (desarrollados a partir de arenas). Su perfil es: hor. A + hor. C (en algunas ocasiones existe hor. B, pero sin que tenga el suficiente desarrollo como para poder ser horizonte diagnóstico). Equiparación. Este orden no tiene una equiparación directa con ninguna clase de suelos de la clasificación de la FAO. Estos suelos entrarían en los Grupos Principales de Criosoles, Leptosoles, Regosoles, Arenosoles, Fluvisoles, Antrosoles y Gleysoles, principalmente.

Gelisols. Que tienen materiales orgánicos de suelo que satisfacen *una o más* de las siguientes:

1. Sobreyacen a cenizas, materiales fragmentales o pomáceos y/o rellenan sus intersticios y directamente debajo de estos tienen un contacto dénsico, lítico o paralítico; o

2. Cuando se suman con las cenizas, materiales fragmentales o pomáceos, constituyen un total de 40 cm o más entre la superficie del suelo y una profundidad de 50 cm; o

3. Están saturados con agua por 30 o más días acumulativos en años normales (o están artificialmente drenados) y tienen 80 por ciento o más, por volumen, de materiales orgánicos de suelo, desde la superficie del suelo hasta una profundidad

de 50 cm o a una capa glácica o a un contacto dénsico, lítico o paralítico, cualquiera que esté mas somero.

Histosols. Que están saturados con agua por menos de 30 días acumulativos en años normales (y no están artificialmente drenados).

Inceptisols. Que tienen *una o más* de las siguientes:

1. En una capa encima de un contacto dénsico, lítico o paralítico o en una capa a una profundidad entre 40 y 50 cm a partir de la superficie de un suelo mineral, cualquiera que esté más somero, condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o artificialmente drenado) y *una o más* de las siguientes:

a. Un epipedón hístico; o

b. Un horizonte sulfúrico que tiene su límite superior dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral; o

c. Una capa directamente abajo del epipedón, o dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, que tiene, sobre las caras de los agregados o en la matriz si los agregados están ausentes, 50 por ciento o más de un chroma que es *ya sea*:

(1) 2 o menos si existen concentraciones redox; o

(2) 1 o menos; o

d. Dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, suficiente hierro ferroso activo para dar una reacción positiva a la dipiridil-alfa, alfa en el tiempo cuando el suelo no esta siendo irrigado; o 2. Un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 15 o más (o una relación de adsorción de sodio [RAS] de 13 o más) en la mitad o más del volumen del suelo dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, un decrecimiento de los valores de PSI (o RAS) con el incremento de la profundidad debajo de los 50 cm, y nivel del agua dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral por algún tiempo durante el año. Morfológicamente presentan perfiles de formación incipiente, en los cuales se destaca la presencia de un horizonte cámbico (B) de matices rojizos a pardo amarillento rojizo,

excepcionalmente pardo amarillentos, y con evidencias darás de alteración y no de acumulación de material iluviado.

Mollisols que tienen:

1. Un horizonte argílico o nátrico; y
2. Un horizonte álbico con un chroma de 2 o menos y tiene 2.5 cm o más de espesor, con su límite inferior a 18 cm o más abajo de la superficie del suelo mineral y que subyace directamente abajo de un epipedón mólico o que separe horizontes que en conjunto satisfacen todos los requisitos para un epipedón mólico; y
3. En uno o más subhorizontes del horizonte álbico y/o del argílico o nátrico y dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral, concentraciones redox en forma de masas o concreciones o ambas, y también condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenaje artificial).

Oxisols. Que tienen condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenaje artificial) en uno o más horizontes dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral y tienen *una o más* de las siguientes:

1. Un epipedón hístico; o
2. Un epipedón con un color del value, en húmedo, de 3 o menos, y directamente abajo de él, un horizonte con un chroma de 2 o menos; o
3. Concentraciones redox distintivas o prominentes dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral un epipedón y directamente abajo de él un horizonte con *una o ambas* de 1as siguientes:
 - a. 50 por ciento o más de hue de 2.5Y o más amarillento; o
 - b. Un chroma de 3 o menos; o
4. Dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, suficiente hierro ferroso activo para dar una reacción positiva a la dipiridil–alfa, alfa al tiempo cuando el suelo no está siendo irrigado.

Spodosols. Que tienen condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenaje artificial) en uno o más horizontes dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral y tienen *una o ambas* de las siguientes:

1. Un epipedón místico; o
2. Dentro de los 50 cm de la superficie del suelo, rasgos redoximórficos en un horizonte álbico o espódico.

Ultisols. Que tienen condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenaje artificial) en uno o más horizontes dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral y *una o ambas* de las siguientes:

1. Rasgos redoximórficos en todas las capas entre la parte inferior de un horizonte Ap o una profundidad de 25 cm de la superficie del suelo mineral, cualquiera que sea más profundo, y una profundidad de 40 cm, y *una* de las siguientes dentro de los 12.5 cm superiores de un horizonte argílico o kándico:
 - a. Concentraciones redox y 50 por ciento o más de empobrecimientos redox con un chroma de 2 o menos sobre las caras de los agregados o en la matriz; o
 - b. 50 por ciento o más de empobrecimientos redox con un chroma de 1 o menos sobre las caras de los agregados o en la matriz; o
 - c. Concentraciones redox distintivas o prominentes y 50 por ciento o más con un hue de 2.5Y o 5Y en la matriz, y también un régimen de temperatura del suelo térmico, isotérmico o más caliente; o
2. Dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, suficiente hierro ferroso activo para dar una reacción positiva a la dipiridil-alfa, alfa al tiempo cuando el suelo no está siendo irrigado.

Vertisols. Que tienen, en uno o más horizontes dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenaje artificial) y *una o ambas* de las siguientes:

1. En más de la mitad de cada pedón, ya sea sobre las caras de los agregados o en la matriz si los agregados están ausentes, 50 por ciento o más con un chroma de ya sea:
 - a). 2 o menos si están presentes concentraciones redox; o
 - b). 1 o menos; o
2. Suficiente hierro ferroso activo (Fe^{2+}) para dar una reacción positiva a la dipiridil-alfa, alfa en un tiempo cuando el suelo no está irrigándose.

Estos órdenes de la clasificación USDA se subdividen en subórdenes y estos, a su vez, en grandes grupos. La clasificación llega hasta el nivel de serie e incluye el tipo textural. Esta es una clasificación que llega a un mayor nivel de detalle. Sin embargo los sistemas de clasificación en general sólo dan una idea de la fertilidad del suelo, por lo que el mapa de suelos no es suficiente para decidir los programas de fertilización y es mediante el análisis físico y químico de los mismos cómo se decide manejar la fertilización para maximizar la productividad del cultivo.

3.4 Recientemente se ha propuesto una clasificación de suelos con forme a: World Reference Base for Soil Resources. (WRB, 2006).

Alisol. Son suelos que tienen un mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en la capa superior, como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente la migración de arcilla) que conduce a un subsuelo de horizonte árgico. Los Alisoles tienen una baja saturación de bases a ciertas profundidades y de alta actividad de las arcillas en todo el horizonte árgico. Se producen principalmente en clima húmedo tropical, húmedo subtropical templado y cálido regiones. Muchos Alisoles se correlacionan con: Alissolos (Brasil); Ultisoles con arcillas de alta actividad (Estados Unidos de América); Kurosols (Australia), y Fersialsols y fersiallitiques soles lessivés très (Francia).

Andosol. Son suelos que se desarrollan comúnmente en regiones volcánicas así como en lugares ricos con materiales de silicatos y bajo ambientes de climas ácidos de intemperie húmedos e hiperhúmedos. Muchos Andosoles están en: Kuroboku (Japón); Andisoles (Estados Unidos De América).

Antrosoles. Comprenden suelos que se han modificado profundamente a través de las actividades de los humanos, tales como la adición de materiales orgánicos o residuos domésticos, de riego y cultivo. El grupo incluye a los suelos también conocida como: suelos Plaggen, los suelos con cáscaras, suelos Oasis, Terra Preta do Indio (Brasil), Agrozems (Federación de Rusia), Terrestrische anthropogene Boden (Alemania), Anthrosols (Australia), y Antrosoles (China).

Arenosoles. Comprenden suelos arenosos, incluyendo tanto los suelos desarrollados en las arenas residuales después de la erosión in situ de los sedimentos ricos en cuarzo, por lo general o de la roca, y los suelos desarrollados depositados recientemente en arenas como las dunas en los desiertos y las tierras de playa. Muchos pertenecen a Arenosoles Arenic Rudosols (Australia), Psammozems (en ruso Federación) y Neossolos (Brasil).

Calcisol. Son los suelos en los que hay una acumulación sustancial secundaria de cal. Son comunes en los materiales parentales altamente calcáreos y generalizados en ambientes áridos y semiáridos. Anteriormente utilizaban nombres del suelo para muchos calcisoles incluyen los suelos del desierto y Takyr. En EE.UU. la Taxonomía de Suelos, la mayoría de ellos pertenecen a la Calcids.

Cambisoles. Combinan los suelos con un mínimo de una formación bajo la superficie del suelo incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructuras y en su mayoría cambio de color, porcentaje de incremento de arcilla, y / o eliminación de carbonatos. Otro sistemas de clasificación de suelos Cambisoles se refieren a muchos como: Braunerden (Alemania), Sols Bruns (Francia), los suelos Brown / Brown Suelos forestales (sistemas más antiguos EE.UU.), o Burozems (en ruso Federación). FAO acuñó el Cambisoles nombre, adoptado por Brasil (Cambissolos); EE.UU. Soil Taxonomy clasifica la mayor parte de estos suelos como Inceptisoles.

Chernozems. Son suelos con una capa superficial de espesor negro que es rico en material orgánico. Muchos Chernozem corresponden a: Suelos Calcáreos Negro y Kalktschernoseme (Alemania); Chernosols (Francia); Eluviated Negro Suelos (Canadá); subórdenes varios (sobre todo Udolls) de la Molisoles (Estados Unidos de América), y Chernossolos (Brasil).

Cryosol. Comprenden suelos minerales formados en un ambiente permanentemente frío. Donde el agua, se presenta principalmente en forma de hielo. Los Cryosols son ampliamente conocidos como los suelos de permafrost. Otros nombres comunes para muchos Cryosols son: Gelisols (Estados Unidos de América), Cryozems (en ruso Federación), los suelos y los suelos Cryomorphic Polar desierto.

Durisols. Están asociados principalmente con las superficies viejas en ambientes áridos y semiáridos y dan cabida a muy poco profundo a moderadamente profundo, y de moderadamente bien a bien drenados suelos que contienen cemento de sílice secundaria (SiO_2), dentro de los 100 cm de la superficie del suelo. Durisols Muchos se conocen como: suelos hardpan (Australia), dorbank

(Sudáfrica), Durids (Estados Unidos de América), o como fase duripán de otros suelos, por ejemplo, Calcisoles de la Alimentación (FAO).

Ferralsoles. Son suelos que presentan una capa profundamente erosionada, roja o amarilla de las tierras trópicas húmedas. Estos suelos tienen horizonte difuso, un conjunto dominado por la arcilla de baja actividad (principalmente caolinita) y un alto contenido de sesquióxidos. Nombres locales usualmente se refieren al color de la tierra. Muchos Ferralsoles se conocen como: Oxisoles (Reino Estados Unidos de América); Latosolos (Brasil); Alítico, Ferrítico y Ferralítico (Cuba); Sols ferralitiques (Francia), y suelos Ferralítico (Federación Rusa).

Fluvisoles. Son suelos común y genéticamente jóvenes, son suelos azonales en depósitos aluviales. El nombre Fluvisoles puede confundir en el sentido de que estos suelos no se limitan sólo a sedimentos de los ríos, sino que también se producen en los depósitos lacustres y marinos. Muchos Fluvisoles se correlacionan con: suelos aluviales (Federación Rusa); hidrosolos (Australia); Fluvents y fluvaquentes (Estados Unidos de América); Marschen Auenböden, Strandböden, Watten y Unterwasserböden (Alemania); Neossolos (Brasil), y bruts Sols Minéraux d'ou Apport aluviales o coluviales Sols peu climatiques évolués no d'ou Apport aluvial coluvial (Francia).

Gleysoles. Son suelos de los humedales, que están saturados de agua subterránea por largos períodos suficientes para desarrollar un patrón de color característico color gléyicas. Este patrón se compone esencialmente de color rojizo, marrón o amarillento en las superficies de colores agregados y / o en la capa superior del suelo o de las capas, en combinación con gris / colores azulados en el interior los PED y / o profundos en el suelo. Los nombres comunes de muchos Gleysoles son: gley y suelos pradera (antigua Unión Soviética); Gleyzems

(Federación Rusa); Gleye (Alemania); Gleissolos (Brasil), y suelos de las aguas subterráneas. Muchos de los Gleysolos WRB se correlacionan con los subórdenes ácuico de la taxonomía del suelo EE.UU. (Aqualfs, Aquents, Aquepts, Aquolls, etc.)

Gypsisols. Son suelos con la acumulación de sulfato cálcico secundario de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Estos suelos se encuentran en las partes más secas de la zona de clima árido, lo que explica por qué los principales sistemas de clasificación del suelo han marcado a muchos de ellos los suelos del desierto (la antigua Unión Soviética Unión), y Yermosols o xerosoles (FAO-UNESCO, 1971-1981). El suelo EE.UU.

Histosoles. Son suelos con grandes acumulaciones de materia orgánica. Esta variación de suelos son desarrollados predominantemente en la turba de musgo en los bosques boreales, las regiones árticas y subárticas, a través de la turba de musgo, juncos / turba juncia (FEN) y la turba bosques en las regiones templadas de los manglares y bosques pantanosos de turba en el trópico húmedo. Histosoles se encuentran en todas las altitudes, pero la gran mayoría se produce en las tierras bajas. Los nombres comunes son suelos de turba, suelos barro, pantano tierras y orgánicos los suelos. Histosoles Muchos pertenecen a: Moore, Felshumusböden y Skeletthumusböden (Alemania); Organosols (Australia); Organosolos (Brasil), y el auto Orgánica (Canadá); y Histosoles y Histels (Estados Unidos de América).

Kastanozems. Son suelos de pastizales secos, entre ellos están los suelos zonales de la estepa de pastos cortos cinturón, al sur del cinturón de estepa euroasiática de pasto alto con Chernozem. Kastanozems tienen un perfil similar al de la superficie Chernozem pero rico en humus, su horizonte es más delgado y no tan oscuro como el de la Chernozem y se muestran más la acumulación de

carbonatos secundarios importantes. El color castaño de la superficie del suelo se refleja en el nombre kastanozem; nombres comunes para muchos Kastanozems son: (Dark) Suelos Castaño (Federación de Rusia), Kalktschernoseme (Alemania), (oscuro) los suelos Brown (Canadá), y Ustolls y Xerolls (Estados Unidos de América).

Leptosoles. Suelos situados en superficies sobre rocas y son suelos continuos que son extremadamente pedregosos y/o de grava. Leptosoles son suelos azonales y sobre todo comunes en las regiones montañosas. Leptosoles incluyen: Litosoles del Mapa de Suelos del Mundo (FAO-UNESCO, 1971-1981); subgrupos líticos del orden Entisol (Estados Unidos de América); Rudosols Lepic y Tenosols (Australia), y Petrozems y Litozems (Federación de Rusia). En muchos sistemas nacionales, Leptosoles en rocas calcáreas pertenecen a Rendzinas, y los de otras rocas que Rankers.

Lixisoles. Comprenden suelos que tienen un mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en la capa superior del suelo como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente la migración de arcilla) que conduce a un subsuelo con horizonte árgico. Lixisoles tienen una alta saturación de bases y arcillas de baja actividad a ciertas profundidades. Muchos están incluidos en: Rojo Amarillo Podzólico suelos (por ejemplo, Indonesia); Argissolos (Brasil); ferralitiques soles faiblement appauvris desaturés (Francia), y rojo y amarillo Tierras, suelos lateríticos o Alfisoles con arcillas de baja actividad (Estados Unidos de América).

Luvisoles. Son suelos que contienen alto contenido de arcilla en el subsuelo como resultado del proceso pedogenético (especialmente por la migración de arcilla) que conduce a la formación de un horizonte árgico en el subsuelo. Los Luvisoles tienen una alta actividad de arcilla durante todo el año entre el horizonte

árgico y una base de saturación alta que es ciertamente profunda. Muchos luvisoles son conocidos como suelos de estructura metamórfica (en la federación Rusa), suelos lessives (Francia).

Nitisols. Son suelos profundos, bien drenados, de color rojo, tropicales con límites difusos y un horizonte subsuperficial con más de 30 por ciento de arcilla y de moderado a fuerte angular elementos de la estructura en bloques que caen fácilmente aparte en característica brillante, poliédrica (Nuez). Su envejecimiento es relativamente avanzado, pero los Nitisols son mucho más productivos que la mayoría de otros suelos rojos y tropicales. Muchos se correlacionan con: Nitossolos (Brasil); Kandic grandes grupos de Alfisoles y Ultisoles, y los diferentes grandes grupos de Inceptisoles y Oxisoles (Estados Unidos de América); Sols Fersialitiques o Ferrisols (Francia), y Red Tierras.

Phaeozems. Son suelos de pastizales relativamente húmedos y de los bosques en las regiones con climas moderadamente continentales. Los Phaeozems se parecen mucho a Chernozem y Kastanozems pero se filtran con mayor intensidad. En consecuencia, tienen humus oscuro, horizontes superficiales que, en comparación con Chernozem y Kastanozems, son menos ricos en bases. Phaeozems puede o no tener carbonatos secundarios, pero tienen una alta saturación de bases en el metro superior del suelo. Nombres de uso común para muchos Phaeozems son: Brunizems (Argentina y Francia), suelos, bosques oscuros y grises Lixiviado y chernozems podzolized (antigua Unión Soviética); Tschernoseme (Alemania); Duskyred clasificación de suelos de pradera (mayores de los Estados Unidos de América); y Udolls Albolls (EE.UU. Soil Taxonomy), y Phaeozems (incluyendo la mayoría de los ex Greyzems) (FAO).

Planosols. Son suelos con un horizonte superficial de colores claros, que muestra signos de periódicos estancamientos de agua y se superpone a un subsuelo denso, poco a poco permeable con arcilla significativamente más que el horizonte superficial. La Soil Taxonomy, incluye la mayoría de los Planosols original en los grandes grupos de la Albacualfes, Albaquults y Argialbolls. El nombre ha sido adoptado en el Brasil (Planossolos).

Plintosoles. Son suelos con plintita, petroplinthite o pisoliths. La Plintita es rica en Fe- (en algunos casos, también rica en Mn), su mezcla es pobre en humus de la arcilla caolinítica (y otros productos fuertemente erosivos, tales como la gibsita) con cuarzo y otros componentes que cambian irreversiblemente a una capa con nódulos duros, una capa dura o agregados irregulares por exposición de humedecimiento y secado repetidos. Petroplinthite es un proceso continuo, fracturados o rotos hoja de conexión, fuertemente cementados a los nódulos indurados o moteados. Pisoliths son discretos fuertemente cementados a los nódulos indurados. Ambos petroplinthite y pisoliths se desarrollan a partir plintita por el endurecimiento. Muchos de estos suelos se conocen como: aguas subterráneas Laterita Suelos, Agua Encaramado laterita Suelos y Plintossolos (Brasil); latéritiques Sols gris (Francia), y Plinthaquox, Plinthaqualfs, Plinthoxeralfs, Plinthustalfs, Plinthaquults, Plinthohumults, Plinthudults y Plinthustults (Estados Unidos de América).

Podzoles. Son suelos con un horizonte subsuperficial normalmente gris cenizo superior, blanqueados por la pérdida de materia orgánica y óxidos de hierro, en la parte superior de un horizonte de acumulación oscuro con marrón, su humus es de color rojizo o negro illuviated y / o rojizo compuestos de Fe. Los Podzoles están en zonas húmedas en las zonas boreales, templados y también a nivel local en los trópicos. El nombre Podzol se utiliza en la mayoría de los sistemas nacionales de clasificación de suelos; otros nombres para muchos de estos suelos son:

Spodosoles (China y Estados Unidos de América), Espodosolos (Brasil), y Podosols (Australia).

Regosoles. Forman un grupo taxonómico que contiene restos de todos los suelos que no pudieron ser alojados en cualquiera de los otros RSGs (Grupos referentes de suelos). En la práctica, regosoles son suelos de minerales de materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy brillantes o ricos en gravas (Leptosoles), arena (Arenosoles) o con materiales flúvico (Fluvisoles). Los Regosoles son extensos espacios de tierras erosionables, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas y en terreno montañoso. Muchos Regosoles se correlacionan con taxonomía del suelo que se caracterizan por la formación de suelos incipientes, tales como: Entisoles (Estados Unidos de América); Rudosols (Australia); Regosole (Alemania); Sols peu régosoliques évolués de érosion o incluso bruts Sols Minéraux d'ou Apport volcanique éolien (Francia), y Neossolos (Brasil).

Solonchaks. Son suelos que tienen una alta concentración de sales solubles en algún momento del año. Los Solonchaks se limitan esencialmente a las zonas de clima árido y semi-áridas. Nombres Comunes internacionales son suelos salinos y suelos afectados por sales. En los sistemas nacionales de clasificación de suelos, Solonchaks muchos pertenecen a: suelos halomórficos (Federación de Rusia), Halosols (China), y Salids (Estados Unidos de América).

Solonetz. Son suelos con una estructura fuerte, con un horizonte arcilloso del subsuelo que tiene una alta proporción de Na adsorbido y/o iones Mg. Los Solonetz que contienen sodio libre (Na_2CO_3) son fuertemente alcalinos (pH de campo > 8,5). Nombres Comunes internacionales son suelos alcalinos y suelos sódicos. En los sistemas nacionales de clasificación de suelos muchas Solonetz

correlacionan con: Sodosols (Australia), el orden Solonetzic (Canadá), varios Solonetz tipos (Federación de Rusia), y, a los Grupos de Gran nátrico de varias órdenes (Reino Estados Unidos de América).

Stagnosols. Son suelos con una capa freática que muestran rasgos redoximórficos causadas por el agua superficial. Periódicamente los Stagnosols tienen la capa superior del suelo y del subsuelo mojada y manchada, con o sin concreciones y / o blanqueo. Un nombre común en otras naciones de sistemas de clasificación para la mayoría de Stagnosols es pseudogley. En la Soil Taxonomy EE.UU., muchos de ellos pertenecen a la Aqualfs, Aquults, Aquents, Aquepts y Aquolls.

Technosols. Comprenden un nuevo grupo referente de suelo y combinación de suelos cuyas propiedades y la pedogénesis están dominados por su origen tecnológico. Contienen una gran cantidad de artefactos (Algo en el suelo común reconocible o se extraen de la tierra por los seres humanos), o están hechos por una técnica de roca dura (material creado por los seres humanos, poseedora de propiedades a diferencia de roca natural). Se incluyen los suelos a partir de residuos (vertederos, lodos, cenizas y lodos de las minas), las aceras con sus materiales subyacentes no consolidados, los suelos con geomembranas y suelos contruidos en materiales artificiales fabricados por humanos. Los Technosols a menudo hacen referencia a los suelos urbanos. Son reconocidos en el nuevo sistema de clasificación del suelo de Rusia como de origen técnico de formaciones superficiales.

Umbrisoles. Son suelos que han acumulado dentro de la materia orgánica minerales de la superficie del suelo (en la mayoría de los casos con baja saturación de bases) en la medida que afecta significativamente el

comportamiento y la utilización del suelo. Algunos de estos suelos se clasifican en otros sistemas como: grandes grupos de Entisoles e Inceptisoles (Estados Unidos de América); Cambisoles húmicos y Regosoles úmbrico (FAO); Brunisols Sombric y Regosoles húmicos (Francia); suelos de humus oscuro (Federación de Rusia); Brown Podzolic suelos (por ejemplo, Indonesia), y Umbrisoles (Rumania).

Vertisoles. Son suelos con un alto porcentaje de arcillas alto peso molecular. Estos suelos forman grietas profundas anchas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de años. Nombres Comunes locales para muchos Vertisoles son: suelos de algodón negro, regur (India), suelos de césped negro (Sudáfrica), margalites (Indonesia), Vertosols (Australia), Vertissolos (Brasil) y Vertisoles (Estados Unidos de América).

3.5 Clasificación de suelos con bases a resultados de caracterización fisicoquímica, (Sauquillo *et al.*, 2003).

El análisis y caracterización de los suelos aportan por tanto datos útiles que ayudan a definir las eficiencias de un suelo para la producción de un determinado cultivo en dependencia de los requerimientos del mismo, datos como el pH, conductividad, materia orgánica, entre otro nos ayudan a esto. También la influencia de las características del suelo, son factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos (Sauquillo *et al.*, 2003).

Los metales pesados están presentes también en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas. En el suelo, los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o bien, compuestos

insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos, (Pineda, 2004).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópicas (Burt *et al.*, 2003). Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004). Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida del suelo. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han *et al.*, 2003).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martín, 2000).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (García *et al.*, 2005).

La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al.*, 2002). Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve *et al.*, 2000).

3.6 Horizontes del suelo (Baldwin *et al.*, 1938).

Se define como Horizontes a las capas que forman el suelo. El perfil de un suelo ideal comprende los siguientes horizontes:

Horizonte A: Llamado también horizonte de lavado por estar expuesto a la erosión y lavado de la lluvia. Es la capa mas superficial del suelo, abundan las raíces y se pueden encontrar los microorganismos animales y vegetales, es de color oscuro debido a la presencia del humus.

Horizonte B: Recibe el nombre también de horizonte de precipitación, ya que aquí se acumulan las arcillas que han sido arrastradas por el agua del horizonte, es de color mas claro que el anterior y está constituido por humus mezclado con fragmentos de rocas.

Horizonte C: Se le conoce también como subsuelo o zona de transición, está formado por la roca madre fragmentada en proceso de desintegración.

Horizonte D: Es la capa más profunda del suelo, está formado por la roca madre fragmentada, por lo que también recibe el nombre de horizonte R.

4. Componentes del suelo

El suelo es un sistema trifásico (fases sólida, líquida y gaseosa) y heterogéneo donde existen productos orgánicos y minerales, los suelos constituyen ambientes de gran valor para el hombre, los animales y las plantas; éstos últimos nacen, crecen, se reproducen y mueren directa o indirectamente en ellos (Álvarez *et al.*, 2004). El suelo está compuesto por tres fases: fase sólida, compuesta a su vez por la fracción mineral y la orgánica; fase líquida; y fase gaseosa, que ocupa el espacio que la fase líquida deja libre en la porosidad presente en el suelo (Ingaramo *et al.*, 2007). En promedio general la materia orgánica constituye un 5% del suelo, el agua 25%, el aire 25% mientras que la fracción mineral está representada en un porcentaje del 45% (figura 3, figura 4 y figura 5).

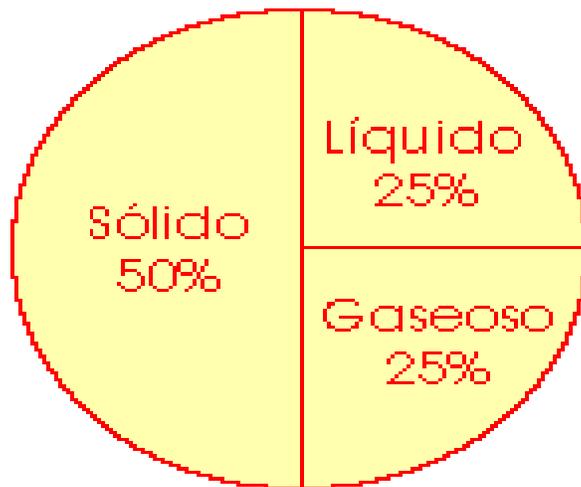


Figura. 3. Composición porcentual de las fases del suelo.

Seoáñez, 1999; Brissio, 2005

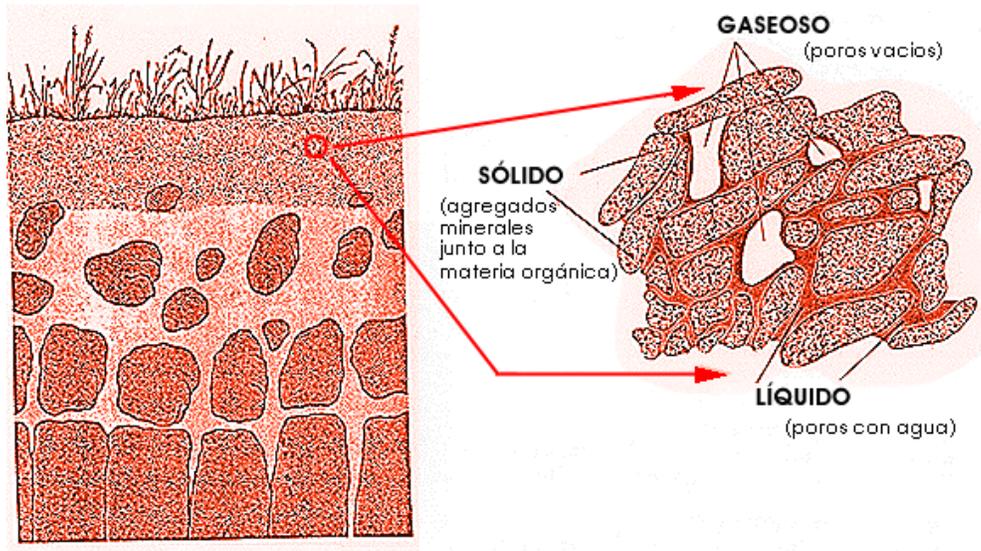


Figura. 4. Fases del suelo. Un corte
 Tomada de: www.biologia.edu.ar/images/soil.gif

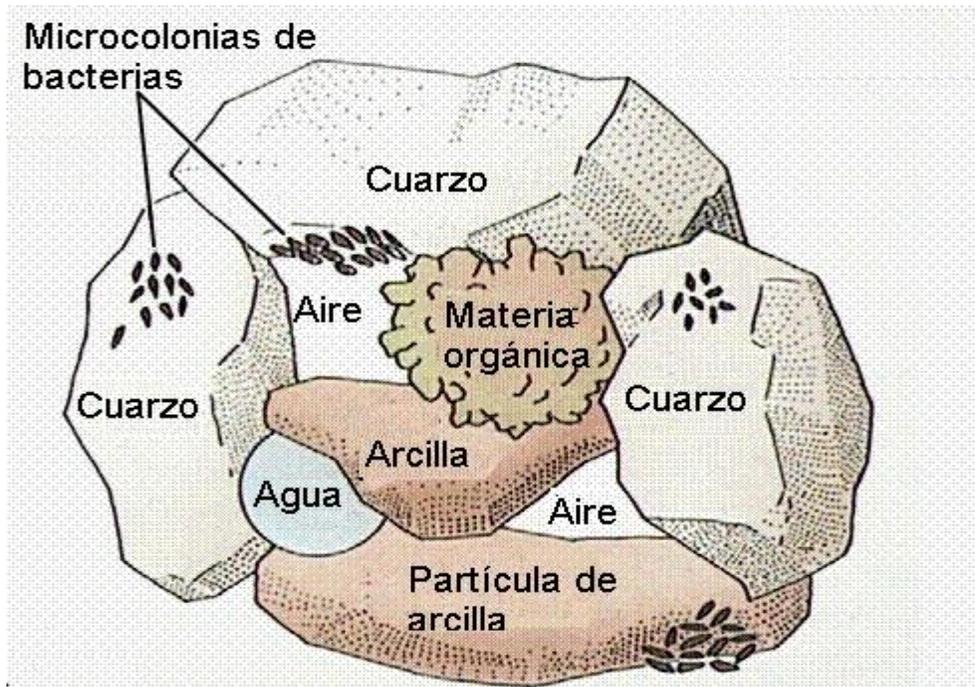


Figura. 5. Fases del suelo. En detalles.
 Tomada de: www.biologia.edu.ar/images/soil.gif

Como resultado de la actuación de los factores formadores se desarrollan procesos que conducen a la aparición de los suelos, los cuales están constituidos por las tres fases mencionadas. Como consecuencia de estas tres fases, el suelo presenta determinadas propiedades que dependen de la composición y constitución de sus componentes. La fase líquida constituye el medio ideal que facilita la reacción entre las tres fases, pero también se producen reacciones dentro de cada fase.

Los suelos que son manejados con siembra directa suelen presentar valores de resistencias a la penetración más elevados y, en algunos casos, aumento de la densidad aparente (Álvarez *et al.*, 2004; Díaz Zorita *et al.*, 2002). Ello es atribuible a la ausencia de remoción, sumado al efecto compactante derivado del pasaje de maquinarias (Botta *et al.*, 2004). Ambos parámetros de fertilidad física se relacionan con la aptitud de los perfiles de suelo para permitir el crecimiento de las raíces de los cultivos en forma no limitante para los rendimientos (Glinski *et Lipiec*, 1990).

El crecimiento radical se ve impedido cuando ambos parámetros exceden umbrales reconocidos, que para el caso de la resistencia a la penetración es en torno a 2-3 MPa (Glinski *et Lipiec*, 1990; Gupta *et Allmaras*, 1987). Las propiedades físicas representan un componente principal de la evaluación integral de la calidad de los suelos (Hussain *et al.*, 1999). Estas propiedades están, en general, determinadas por la organización estructural de los suelos, o dicho de otro modo, su estado de agregación caracterizado por la forma, estabilidad y resistencia de la estructura (Kay, 1990). Las distintas formas que toman los agregados determinan la distribución de tamaño y la tortuosidad de los poros. De allí que la caracterización de la entrada de agua al suelo (por ejemplo, tasa de infiltración) sea también un reconocido indicador de calidad de los mismos.

Los poros con diámetros > 100 μm son esenciales para permitir la libre elongación de las raíces de los cereales (Gibas *et Reid*, 1988). Cuando estos poros no existen

o son insuficientes, las raíces deben mover las partículas de la fase sólida, la cual no debe ofrecer elevadas resistencias a la penetración (Gibas *et Reid*, 1988; Glinski *et Lipiec*, 1990). El maíz es uno de los cultivos más sensibles al déficit hídrico, debido a su acotado período crítico en momentos de alta demanda atmosférica (Sadras *et al.*, 2005). Las raíces de maíz responden negativamente a la presencia de capas compactas en el subsuelo, pero no siempre con impacto sobre los rendimientos (Díaz Zorita, 2000; Erbach *et al.*, 1986; Logsdon *et al.*, 1999). La percepción sobre la existencia de compactación y/o endurecimiento del suelo por el medio productivo ha llevado a proponer la interrupción mecánica de capas compactadas con implementos de labranza profunda (“para-till”, “para-plow”).

Los resultados son muy claros en lo que respecta a la resistencia del suelo, la cual suele experimentar descensos significativos, pero no sucede así en lo que respecta a los efectos de la descompactación sobre el crecimiento de las raíces y los rendimientos de los cultivos (Díaz-Zorita, 2000; Hamilton-Manns *et al.*, 2002).

4.1 La fase sólida del suelo. Composición y perfiles del suelo.

Los minerales constituyen la base del armazón sólido que soporta al suelo. Cuantitativamente en un suelo normal la fracción mineral representa de un 45-49% del volumen del suelo. Pero dentro de la fase sólida constituyen, para un suelo representativo, del orden del 90-99% (del 10 al 1% restante corresponde a la materia orgánica). La fase sólida representa la fase más estable del suelo y por tanto es la más representativa y la más ampliamente estudiada. Es una fase muy heterogénea, formada por constituyentes orgánicos e inorgánicos.

Los suelos se forman a partir de una serie de interacciones entre la roca madre, cuyo papel es estático pero que sufre transformaciones provocadas básicamente por factores exógenos, el agua en sus diferentes estados, el aire, los seres vivos y la acción del hombre, si éste participa con sus actuaciones (por ejemplo a través

de la contaminación). Así pues, la formación de los suelos se puede expresar en muchos casos con la ecuación de Jenny, a la que se le ha añadido el factor humano (h); su incidencia es crucial. La ecuación de Jenny señala el suelo como una función compleja (Ibañez, 2006):

$$S = f (R, C, B, t, p, h)$$

Donde: S= Suelo;
R= Roca madre;
C= Clima;
B= Biología;
t= Tiempo;
p= Pendiente;
h= Acciones del hombre, en el caso de que existan.

La base de partida es la roca madre o material inicial formado por rocas, relictos edáficos o regolitos, que en cualquiera de los casos se denominan *horizonte C* si ha comenzado la edafogénesis o proceso de formación del suelo por acción de los factores citados en la ecuación de Jenny modificada.

En superficie, por el contrario, el *horizonte O* corresponde a un material orgánico en su mayoría, fresco o en descomposición, con la siguiente composición:

- 30% de Materia Orgánica si el contenido es mayor al 50% de arcilla.
- 20% de Materia Orgánica si no contiene arcilla.

A continuación los niveles u *horizontes A* contienen una alta proporción de materia orgánica aportada por los *horizontes O* que va incorporándose a la materia mineral proveniente de los horizontes inferiores.

Seguidamente al *horizonte A*, y si la edafogénesis continúa, se forman unos horizontes intermedios o grupos de *horizontes B* que pueden originarse por dos

vías fundamentales: por acumulación de materiales de grano muy fino provenientes de los horizontes A arrastrados por el agua de infiltración, o por alteración directa de los minerales del horizonte C que tienden a emerger.

Como es natural, las variaciones y posibilidades son múltiples, a continuación se presenta la tabla 1, en la cual se indica en forma simplificada el grado de evolución del suelo en función a su perfil y según Seoáñez (1999) y Brissio (2005).

Tabla 1. Evolución del perfil del suelo (Seoáñez, 1999; Brissio, 2005).

Perfil	Modo de evolución	Calificación
(A) C	Muy poco evolucionado	Suelo mineral bruto
AC	Poco evolucionado	Suelo poco diferenciado, con material orgánica
A(B)C	Evolucionado	Suelo evolucionado por alteración
ABC	Muy evolucionado	Suelo evolucionado por alteración y emigración

El grupo más importante de los minerales del suelo es el de los silicatos (Dorronsoro, 2004). Todos los silicatos están constituidos por una unidad estructural común, un tetraedro de coordinación oxígenos-silicio (Si-O). El silicio situado en el centro del tetraedro de coordinación y rodeado de 4 oxígenos situados en los vértices. Este grupo tetraédrico se encuentra descompensado eléctricamente por los iones silicatos $(\text{SiO}_4)^{4-}$, por lo que los oxígenos se coordinan a otros cationes para compensar sus cargas. Dependiendo del número de oxígenos que se coordinen a otros silicios se originan los grandes grupos de silicatos (es decir, según el número de vértices compartidos por tetraedros, que pueden ser 0, 1, 2, 3, y 4).

En la figura 6 se muestra a modo de ilustración un esquema donde se aprecian los perfiles del suelo.

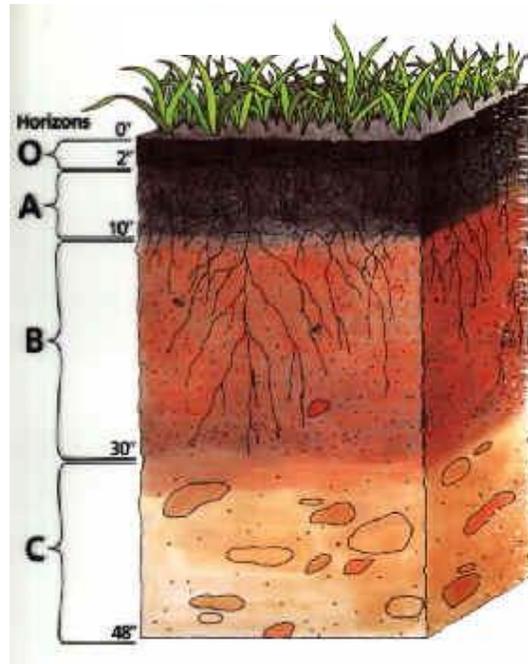


Figura. 6. Perfiles del suelo.

Tomada de: deconceptos.com/ciencias-naturales/suelo

En la tabla 2 se aprecian los tipos de agrupamientos de los tetraedros según el número de átomos de oxígeno compartidos. Según sea la coordinación de los otros oxígenos que se unen a otros cationes distintos del silicio se forman los diferentes minerales dentro de cada gran grupo de silicatos. La estructura de estos minerales se origina por repetición de una celdilla unidad constituida por la asociación de tetraedros (aislados, o parejas, entre otros) y por los cationes que se sitúan entre los grupos tetraédricos (Seoáñez, 1999).

Tabla 2. Agrupamiento de tetraedros de silicio, y nombres de los grandes grupos de silicatos (Seoáñez, 1999; Brissio, 2005) tomada de <http://edafologia.ugr.es/>.

Nº de oxígenos compartidos por cada tetraedro	Tipo de agrupamiento de los tetraedros	Nombre del gran grupo de silicato
0	Aislados	NESOSILICATOS
1	Parejas	SOROSILICATOS
2	Anillos	CICLOSILICATOS
2 y 3	Cadenas	INOSILICATOS
3	Planos	FILOSILICATOS
4	Tridimensional	TECTOSILICATOS

Desde el punto de vista edáfico el gran grupo de los filosilicatos es la clase más importante, ya que a este grupo pertenecen la mayoría de los minerales de la fracción arcilla. Los filosilicatos están constituidos por el agrupamiento de los tetraedros compartiendo entre sí tres vértices (los tres del plano basal) formando planos (figura 7).

El cuarto vértice (vértice superior) se une a un catión de coordinación octaédrica. Generalmente el catión octaédrico es Mg (capa llamada trioctédrica) o Al (capa dioctaédrica). De esta manera la estructura de estos minerales está formada por un apilamiento de capas de tetraedros y octaedros, formando estructuras laminares (figura 8). Según el modelo de repetición se forman dos tipos de láminas con diferentes estructuras. La 1:1 con una capa de tetraedros y otra de octaedros y la 2:1 con dos capas de tetraedros que engloban a una de octaedros (figura 9). Las capas de tetraedros y octaedros no están aisladas sino que comparten planos comunes en los que los oxígenos están unidos simultáneamente a un Si tetraédrico y a un Mg o Al octaédricos (Brissio, 2005).

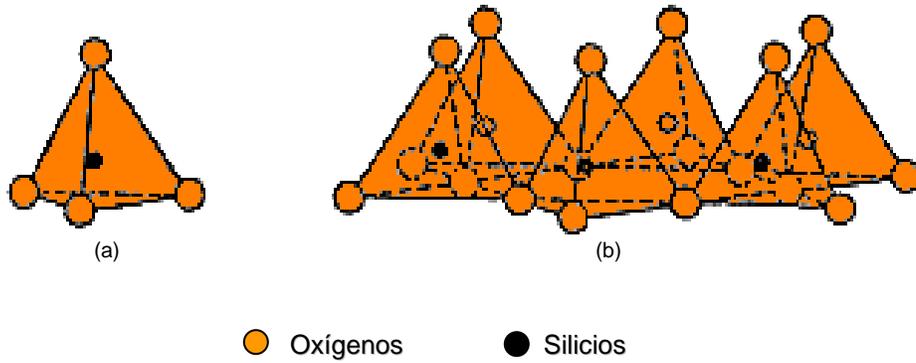


Figura. 7. Tetraedro de silicio aislado, y en red hexagonal. Dibujo esquemático mostrando: (a) un tetraedro SiO_4^{4-} aislado y (b) capas de tetraedros dispuestos en red hexagonal.

Tomada de <http://edafologia.ugr.es/>

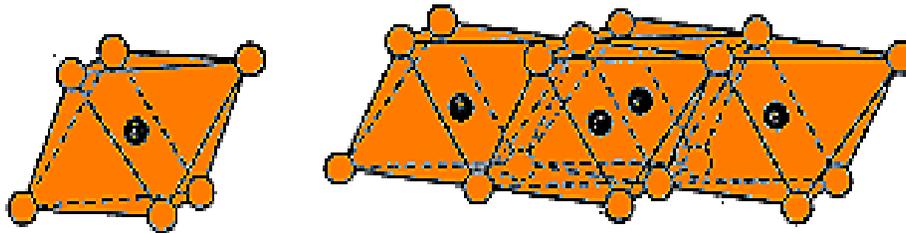


Figura. 8. Octaedro de aluminio aislado, y hoja de unidades octaédricas.(a) unidad octaédrica aislada y (b) hoja de unidades octaédricas.

Tomada de <http://edafologia.ugr.es/>

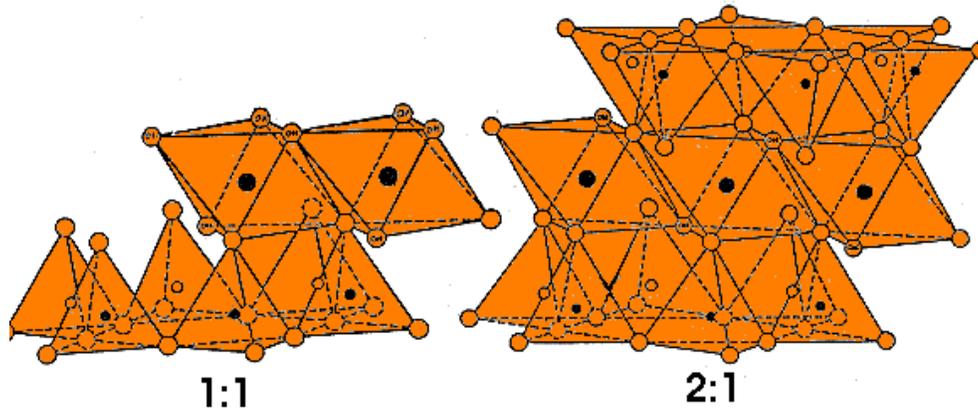


Figura. 9. Estructura de los minerales en función del modelo de repetición de las láminas.

Tomada de <http://edafologia.ugr.es>

En las capas tetraédricas y octaédricas se producen sustituciones entre cationes que cuando son de distinta valencia crean déficit de carga y para compensarlos son atraídos otros cationes que se introducen entre las láminas, son los llamados cationes interlaminares. Dependiendo del déficit que se origine, de donde se produzca (capa tetraédrica u octaédrica) y de los cationes interlaminares atraídos, aparecen las distintas especies minerales: caolinitas, serpentinas, micas (moscovita, biotita, ilita), esmectitas (montmorillonita), vermiculita, clorita, sepiolita y vermiculita, principalmente (Zysset *et al.*, 2002; Kabata-Pendias, 2000; Acevedo *et al.*, 2002).

Por otra parte, los tectosilicatos (con los feldespatos) constituyen otro grupo muy importante, el más representativo de la fracción arena de los suelos. El cuarzo, aunque es un óxido, por su estructura es considerado por muchos autores como un constituyente de este grupo de tectosilicatos (Dorrnsoro, 2004).

La materia orgánica tiene una gran importancia en la génesis y fertilidad del suelo (Dorrnsoro, 2004). Incide directamente en las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas:

a) En las propiedades físicas:

- Confiere al suelo un determinado color oscuro.
- Da lugar a una buena estructura, estable. Las sustancias húmicas tienen un poder aglomerante, las cuales se unen a la fracción mineral y dan buenos flóculos en el suelo originando una estructura grumosa estable, de elevada porosidad, lo que implica que la permeabilidad del suelo sea mayor.
- Tiene una gran capacidad de retención de agua lo que facilita el asentamiento de la vegetación, dificultando la acción de los agentes erosivos.
- La temperatura del suelo es mayor debido a que los colores oscuros absorben más radiaciones que los claros.
- Protege al suelo de la erosión. Los restos vegetales y animales depositados sobre la superficie del suelo lo protegen de la erosión hídrica y eólica. Por otra parte, como ya hemos mencionado, el humus tiene un poder aglomerante y da agregados que protegen a sus partículas elementales de la erosión.
- Protege al suelo de la contaminación. La materia orgánica adsorbe plaguicidas y otros contaminantes y evita que estos percolen hacia los acuíferos.

b) En las propiedades químicas y físico-químicas:

- Las sustancias húmicas tienen propiedades coloidales, debido a su tamaño y carga (retienen agua, hinchan, contraen, fijan soluciones en superficie, dispersan y floculan). La materia orgánica es por tanto una fase que reacciona con la solución del suelo y con las raíces.
- Capacidad de cambio. La materia orgánica fija iones de la solución del suelo, los cuales quedan débilmente retenidos, están en posición de cambio, evita por tanto que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo. La capacidad de cambio es de 3 a 5 veces superior a la de las arcillas, es por tanto una buena reserva de nutrientes.

- Influye en el pH produciendo compuestos orgánicos que tienden a acidificar el suelo.
 - Influye en el estado de dispersión/floculación del suelo.
 - Es un agente de alteración por su carácter ácido. Descompone los minerales.
- c) En las propiedades biológicas:
- Realiza un aporte de nutrientes a los microorganismos y sirve como fuente de energía.

Por los contenidos, los suelos son muy variables, siendo los valores mas usuales entre 0.5 - 10%. La materia orgánica en el suelo, se concentra en el horizonte superficial y disminuye gradualmente con la profundidad (a excepción de determinados tipos de suelos, como podsoles, turbas y fluvisoles). En la cantidad y calidad de la materia orgánica intervienen numerosos factores.

- Del material orgánico original: cantidad, calidad, edad y tamaño de los restos.
- De las características del suelo: presencia de microorganismos, existencia de nutrientes, pH, aireación y minerales.
- De las características climáticas: humedad, temperatura y alternancias climáticas, fundamentalmente

4.2. La fase líquida del suelo

Esta fase en los suelos se caracteriza por su variabilidad en el espacio y en el tiempo, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo. Esta variabilidad está condicionada por las propiedades específicas de esa fase líquida, por las características de los espacios en que se encuentra y por las propiedades del suelo que la sustenta (Porta *et al.*, 2003).

La dinámica general del agua en el suelo, está relacionada con el exterior en lo que se refiere a los aportes, como son las fuentes, la lluvia o la infiltración y en lo que se refiere a las pérdidas, como son la evaporación o la alimentación de las aguas subterráneas (acuíferos y corrientes), generalmente por infiltraciones. Ambos intercambios constituyen el balance hídrico, que tiene como reflejo por una parte el sistema suelo-vegetación-atmósfera-suelo y por otra parte la gestión natural, que comprende, entre otras cosas, el almacenamiento o retención en el suelo, indispensable para las plantas y para la hidrológica, y el suministro de líquido a los acuíferos (Seoáñez, 1999).

El líquido del suelo es fundamentalmente una solución acuosa, y por ello, y al contener sustancias en solución, se le llama *solución del suelo*. Las soluciones del suelo proceden de la alteración de los minerales y de la materia orgánica.

El agua ejerce importantes acciones, tanto para la formación del suelo (interviene decisivamente en la meteorización física y química, y translocación de sustancias) como desde el punto de la fertilidad. La fase líquida circula a través del espacio poroso, quedando retenida en los poros del suelo; está en constante competencia con la fase gaseosa. Los cambios climáticos estacionales, y concretamente las precipitaciones atmosféricas, hacen variar los porcentajes de cada fase en cada momento. En la figura 10 se indica un esquema representativo de la distribución de la fase líquida en los intersticios del suelo.

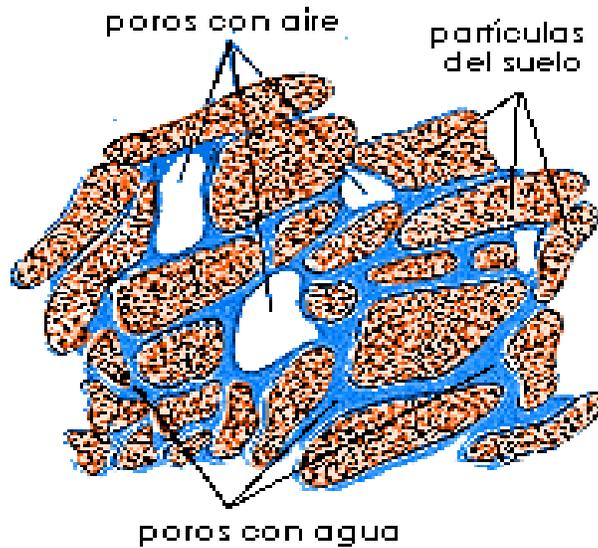


Figura. 10. *Espacio poroso por donde circula la fase líquida en el suelo.*

Tomada de <http://edafologia.ugr.es/>

Desde el punto de vista físico la fase líquida puede tener la siguiente clasificación

- *Agua higroscópica*: absorbida directamente de la humedad atmosférica, forma una fina película que recubre a las partículas del suelo. No está sometida a movimiento, no es asimilable por las plantas (no es absorbible). Está fuertemente retenida a fuerzas superiores a 31 atmósferas, que equivale a pF (-log columna de H₂O en cm) de 4,5
- *Agua capilar*: contenida en los tubos capilares del suelo. Dentro de ella se puede distinguir el agua capilar no absorbible y la absorbible:
 - a) Agua capilar no absorbible: se introduce en los tubos capilares más pequeños (<0.2 μm). Está muy fuertemente retenida y no es absorbible por las plantas; la fuerza de succión es de 31-15 atmósferas, que corresponde a pF de 4,5 a 4,2.
 - b) Agua capilar absorbible: es la que se encuentra en tubos capilares de 0.2-8 μm. Es un agua absorbible por las plantas, constituye la

reserva durante los períodos secos. Está fuertemente absorbida; la fuerza de retención varía entre 15 a 1 atmósfera y se extrae a pF de 4.2 a 3.

- *Agua gravitacional*: No está retenida en el suelo. Se habla de agua gravitacional de flujo lento y agua gravitacional de flujo rápido en función de su velocidad de circulación.
 - a) De flujo lento: corresponde a la que circula por poros comprendidos entre 8 y 30 μm de diámetro, se admite que está retenida a un pF que varía desde 3 a 1,8. Tarda de 10 a 30 días en atravesar el suelo y en esos días es utilizable por las plantas.
 - b) De flujo rápido: corresponde a la que circula por poros mayores de 30 μm . Es un agua que no queda retenida en el suelo y es eliminada al subsuelo, pudiendo alcanzar el nivel freático. Es un agua inútil, ya que cuando está presente en el suelo los poros se encuentran totalmente saturados de agua, el medio es asfixiante y las raíces de las plantas no la pueden tomar.

4.3. La fase gaseosa del suelo

Es la mezcla de gases que ocupa los espacios que la fase líquida deja libres en la porosidad de suelo. Debido a sus características intrínsecas como fluido, la fase gaseosa presenta una marcada similitud con la fase líquida del suelo, sobre todo en lo que se refiere a su dinámica, aunque tiene algunas diferencias con respecto a ésta.

La atmósfera del suelo está condicionada por la dinámica de los procesos biológicos que se producen en relación a ella y que están determinados por el consumo de oxígeno y por la producción de CO_2 que realizan los microorganismos y las plantas durante sus procesos de oxidación (Seoáñez *et al.*, 1999).

Los distintos procesos biológicos que se producen en el suelo hacen que la fase gaseosa se encuentre sometida a constantes variaciones en su composición. A consecuencia del incremento en la proporción de determinados gases, paralelo al descenso de las proporciones de otros, se produce un desequilibrio entre la composición de la atmósfera del suelo y la del exterior, ambas en contacto directo, compensado por una serie de intercambios entre una y otra que permiten una homogeneización de la composición, y cuya función última es permitir asegurar la vida de los organismos del suelo (Seoáñez, 1999).

Un suelo en capacidad máxima no contendrá fase gaseosa mientras que otro en punto de marchitamiento presentará valores muy altos. En condiciones ideales la fase atmosférica representa un 25% del volumen total del suelo. Se admite que un porcentaje de aire del 10% es insuficiente.

La fase gaseosa del suelo se supone que tiene una composición parecida a la del aire atmosférico, pero mucho menos constante. En la tabla 3 se presenta un balance de esta composición:

Tabla 3. *Composición del aire del suelo.*

Tomada de <http://edafologia.ugr.es/>

Componente	Composición Aire Atmosférico %	Composición Aire del Suelo
Oxígeno	21	10-20
Nitrógeno	78	78,5-80,0
CO₂	0,03	0,2-3,0
Vapor de Agua	Variable	En saturación

Esta composición media del aire del suelo varía no sólo con la profundidad del aire sino con los cambios estacionales. En los períodos de mayor actividad biológica (primavera y otoño), hay menos O₂ y más CO₂. El aire del suelo muestra

variaciones locales principalmente en los contenidos de O₂ y CO₂. En el suelo hay menos O₂ que en el aire y más CO₂. Esto se explica por todos los procesos que tienen lugar en el suelo y que implican el consumo de O₂ y el desprendimiento de CO₂, es decir aquellas reacciones en las que estén implicados todos los organismos del suelo: respiración de las plantas, actividad de microorganismos, procesos de mineralización y procesos de oxidación.

5. Principales propiedades físicas y fisicoquímicas del suelo

Entre las características de los suelos que influyen tanto en las propiedades físicas como físico-químicas y en la ruta o en la tasa de flujo que el agua sigue en el suelo se pueden señalar (Kabata-Pendias, 2000):

- Textura: Texturas arcillosas dificultan la infiltración del agua en el suelo y también retienen más agua por unidad de volumen.
- Estructura: Suelos con una buena estructura, favorecen la infiltración del agua.
- Color: Esta propiedad permite deducir rasgos importantes en el suelo: un color oscuro o negro indica contenido alto en materia orgánica, color blancuzco presencia de carbonatos y/o yesos, colores grises/verdes/azulados hidromorfía permanente. El color se caracteriza por tres parámetros que son: *Matiz o Hue*, que expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Se consideran cinco colores principales (R, rojo; Y, amarillo; G, verde, B, azul y P, púrpura) y cinco intermedios. *Brillo o Value* que expresa la porción de luz reflejada y mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el blanco absoluto. *Intensidad o Cromo* que expresa la pureza relativa del color del matiz de que se trate. Un horizonte puede presentar un color uniforme o presentar manchas de distinto color.

- **Materia orgánica:** Suelos con alto nivel de materia orgánica retienen más agua por unidad de volumen. La materia orgánica también favorecen la estructura de los suelos.
- **Pendiente del terreno:** Posiciones de altas pendientes de los suelos de cultivos, favorecen el escurrimiento del agua y evitan los encharcamientos.
- **Prácticas de manejo:** El manejo del suelo es de importancia incalculable; un buen laboreo permite que no se produzcan cambios bruscos en cuanto a erosión de los suelos.

Otra característica física de los suelos es la presencia de poros y macroporos, que se presentan como caminos o rutas preferenciales para las aguas y los productos químicos. Esto hace que los productos químicos y los contaminantes puedan ser adsorbidos fácilmente. La adsorción se define como la tendencia del producto a unirse al suelo (Zysset *et al.*, 1999). El coeficiente de adsorción “K” expresa la relación entre la concentración de un producto en el suelo con relación a la concentración de este mismo producto en la solución (ppm en el suelo/ppm en la solución); entonces a mayor adsorción mayores valores de K.

Los suelos varían por su magnetismo, verificándose que cuanto mayor es el contenido de materia orgánica del suelo, mayor va a ser su capacidad para adsorber productos, es decir, mayor magnetismo (Perdomo, 2005). Debido a que la materia orgánica mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Los suaviza; permite una aireación adecuada; aumenta la porosidad y la infiltración de agua, entre otros. Es una fuente importante de nutrientes, a través de los procesos de descomposición con la participación de bacterias y hongos, especialmente. Absorbe nutrientes disponibles, los fija y los pone a disposición de las plantas. Fija especialmente nitrógeno (NO₃ , NH₄), fósforo (P₀₄) calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y otros. Mantiene la vida de los organismos del suelo, esenciales para los procesos de renovación del recurso. Debido a la relación entre el %MO del suelo y K, muchas veces se expresa la tendencia de un

producto a ser adsorbido de manera independiente, expresándose por el K_{α} que permite corregir el valor de K en función del carbono orgánico. La real adsorción de un producto o elemento particular en un suelo específico se estima a partir de la siguiente fórmula:

$$K = [K_{\alpha}(\%MO/1.7)]/100$$

Los valores de K son útiles para predecir los caminos de salida o vías de contaminación del producto. Sustancias con valores de K superiores a 100 se pierden generalmente asociados a pérdidas de sedimentos. Sustancias con valores de K entre 1 -100, se pierden con el agua de escurrimiento superficial y las sustancias con valores de K entre 0 – 1 suelen perderse con los lavados (Perdomo, 2005).

Otra característica de los suelos que incide en el movimiento del agua, es la salinidad de los mismos. La variabilidad existente en cuanto a la tolerancia a diferentes niveles de salinidad por los cultivos de cebada permiten evaluar los diferentes suelos y sistemas de riego y transportación de sales en los mismos (Isla, 2004).

5.1 Textura, densidad y estructura de suelos

El suelo está constituido por partículas de muy diferente tamaño. Conocer esta granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para clasificar a los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula se han establecido muchas clasificaciones granulométricas. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase. De todas estas escalas granulométricas, son la de Atterberg o Internacional (llamada así por haber sido aceptada por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) y la americana del USDA (Departamento de

Agricultura de los Estados Unidos) las más ampliamente utilizadas. Ambas clasificaciones se reproducen en la figura 11.

El término textura se usa para representar la composición granulométrica del suelo. Cada término textural corresponde con una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. En los términos de textura se prescinde de los contenidos en gravas; se refieren a la fracción del suelo que se estudia en el laboratorio de análisis de suelos y que se conoce como *tierra fina*. Los términos texturales se definen igualmente de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones. En la figura 12 se muestra el conocido triángulo de arcillas.

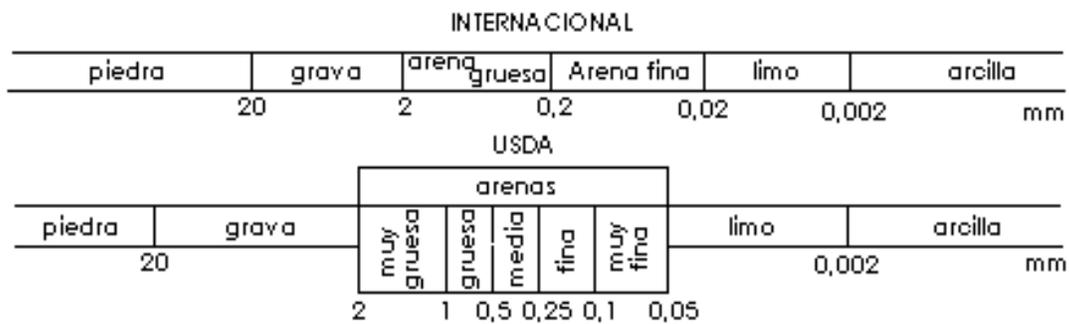


Figura. 11. Escalas granulométricas, Internacional, y del USDA.
Tomada de FAO-UNESCO (1975).

Las partículas no están sueltas sino que forman agregados, siendo por lo tanto necesario destruir la agregación para separar las partículas individuales. Por ello antes de proceder a la extracción de las diferentes fracciones hay una fase previa de preparación de la muestra (Pachepsky *et* Rawls, 1999).

En esta fase previa existen diversos métodos para separar a las partículas del suelo, unos son métodos físicos (trituration suave, agitación lenta, agitación rápida, ultrasonidos, lavado y cocción) y otros son técnicas químicas (oxidación de la materia orgánica con agua oxigenada, ataque ácido de los carbonatos y

compuestos de Fe con HCl, dispersión de las arcillas con hexametáfosfato sódico o amoníaco). Como los agentes agregantes pueden ser muy distintos, normalmente no sirve uno sólo de estos métodos sino que se realiza una cadena de tratamientos.

La extracción final de las fracciones se realiza por tamizado para las arenas, mientras que la sedimentación en fase acuosa es el método normal de separación de los limos y de las arcillas. Si se necesita subfraccionar a la fracción arcilla se ha de recurrir a la centrifugación.

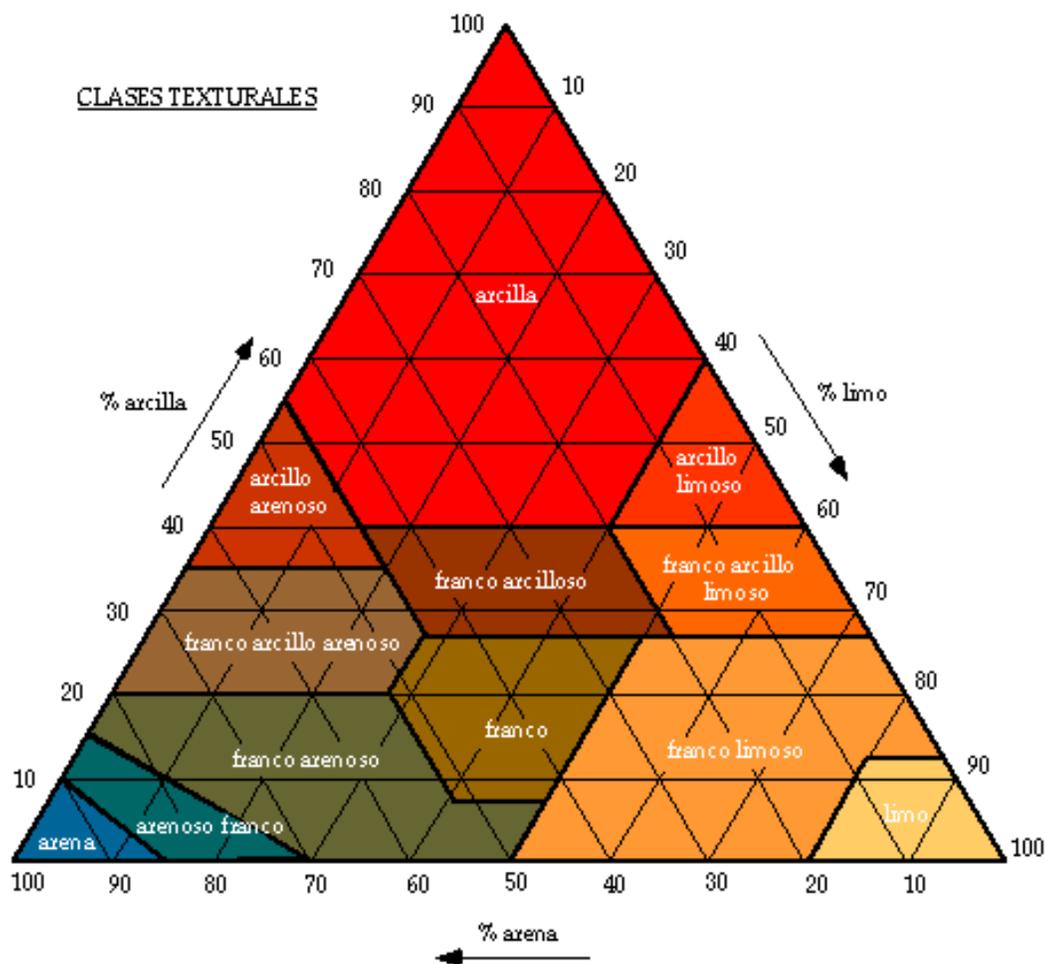


Figura. 12. Triángulo de Texturas.

Tomada de: www.miliarium.com/.../Suelo.asp

Las partículas de arena de los suelos, tienen un diámetro que puede oscilar entre 2 mm a 0-05mm. Las estructuras y partículas cuyos diámetros se encuentran entre 0.05mm y 0.002 mm se clasifican como limo, mientras que las de diámetro menor de 0.002 mm se consideran como partículas de arcilla (Segel *et* Orellana, 2008).

Por otro lado, existe un método para calcular la textura de una manera aproximada en base a la plasticidad que presenta la fracción arcilla al añadirle agua. Se toma una pequeña cantidad de muestra en la palma de la mano, se le añade agua hasta saturación. Se frota las manos para hacer un cilindro pequeño y en función de la facilidad de formar un tubo delgado y según que se pueda o no doblar se establecen las texturas arcillosas, francoarcillosas y francas. En función de la aspereza (se frota la muestra junto al oído y se escucha el chirrido de los granos) se determina la importancia de los contenidos en arena.

El análisis granulométrico representa el dato más valioso para interpretar la génesis y las propiedades de los suelos. Un análisis granulométrico permite valorar ciertas características de los suelos, tales como:

- a) *Textura y factores formadores*: la acción de los factores formadores queda reflejada en la textura del suelo. Así, la roca tiende a dar una determinada clase textural, que quedara más patente cuanto más joven sea el suelo (en un principio el suelo hereda la textura del material original). El clima tiende a condicionar la textura en función de su agresividad (texturas gruesas en climas áridos y texturas arcillosas en climas húmedos y templados). El relieve condiciona el transporte de las partículas, como así también el tiempo tiende a dar una mayor alteración y favorece el aumento de la fracción arcilla.
- b) *Textura y procesos de formación*: la actuación de determinados procesos queda reflejada en la textura: fersialitización (texturas arcillosas), ferralitización y podsolización (concentración de arenas), iluviación de arcilla (produce contrastes texturales entre los horizontes de un suelo).

- c) *Grado de evolución*: la relación entre la cantidad de arcilla del material original y la de cada uno de los horizontes de un suelo es un buen índice del grado de evolución.
- d) *Clasificación de suelos*: en todas las clasificaciones de suelos la textura es un carácter diferenciante ampliamente utilizado para definir las clases de suelos a todos los niveles.
- e) *Evaluación de suelos*: de igual manera que en las clasificaciones de suelos, también a nivel de evaluación la textura del suelo es un parámetro evaluador de la calidad.
- f) *Propiedades del suelo*: la gran mayoría de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas están influenciadas por la granulometría : estructura, color consistencia, porosidad aireación, permeabilidad, hidromorfía, retención de agua, lavado, capacidad de cambio, reserva de nutrientes.
- g) *Propiedades agrológicas*: los suelos arenosos son inertes desde el punto de vista químico, carecen de propiedades coloidales y de reservas de nutrientes. En cuanto a las propiedades físicas presentan mala estructuración, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua. Por el contrario los suelos arcillosos son muy activos desde el punto de vista químico, adsorben iones y moléculas, floculan (la fracción arcilla permanece inmóvil) y dispersan (migran), son muy ricos en nutrientes, retienen mucha agua, bien estructurados, pero son impermeables y asfixiantes. Los suelos limosos tienen nula estructuración, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación. Los suelos francos son los equilibrados con propiedades compensadas.
- h) *Erosión*: las partículas de arena son arrastradas por el viento y agua, las arenas finas son muy erosionables. Las arcillas se pegan y se protegen, los limos no se unen y se erosionan más fácilmente.
- i) *Contaminación*: las arenas son muy inertes mientras que las arcillas tienen un alto poder de amortiguación, pueden fijar y transformar a los contaminantes y presenta por tanto una alta capacidad de autodepuración.

Las partículas del suelo no se encuentran aisladas, forman agregados estructurales que se llaman *peds*, estos agregados (o terrones) por repetición, dan como resultado, el suelo. Es la celda unidad de los cristales la que por repetición origina el mineral. Los agregados están formados por partículas individuales (minerales, materia orgánica y huecos) y le confieren al suelo una determinada estructura.

Se habla de estructura como una propiedad y es más bien un estado, ya que cuando el suelo está seco, se agrieta y se manifiesta la estructura, pero si está húmedo, el suelo se vuelve masivo, sin grietas y la estructura no se manifiesta a la vista. En los *peds* hay material inerte, arenas, que se unen por la materia orgánica, las arcillas y otros agentes cementantes. Si las arcillas están dispersas, el suelo carece de estructura (granular débil), si están floculadas, forman estructura rígida (prismática fuerte).

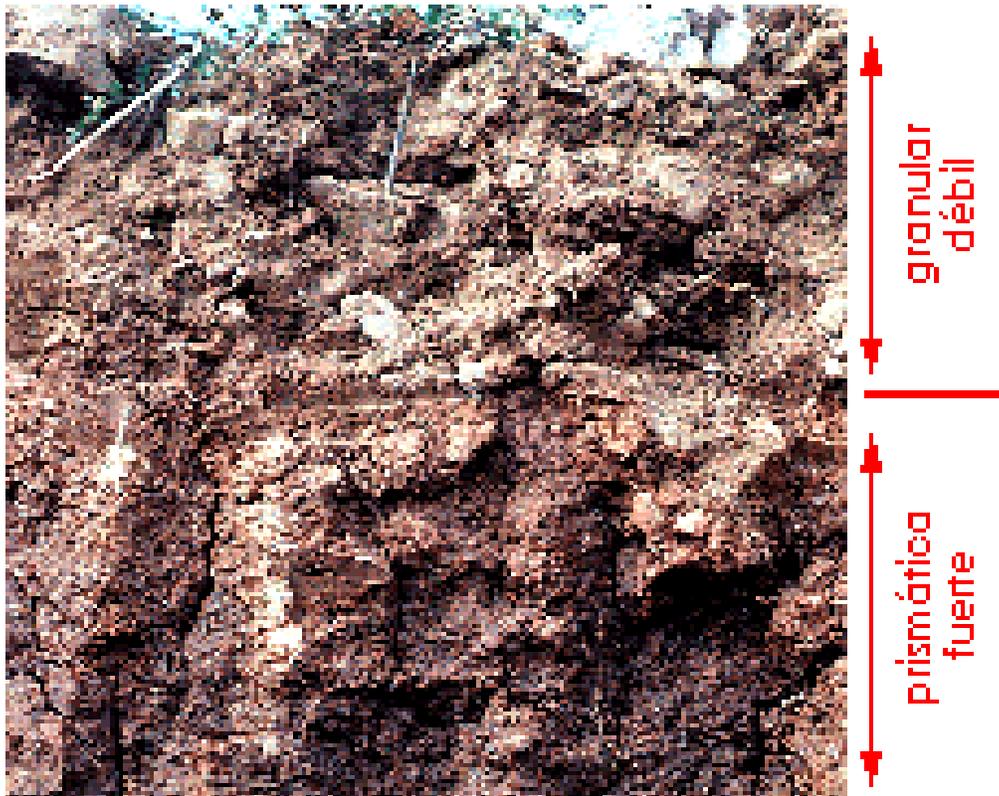


Figura 13. Estado de agregación de los perfiles superficiales de un suelo. Fuente:

<http://edafologia.ugr.es>

Dentro de la estructura destacan la macro y micromorfología y la estabilidad de la misma:

a) Macromorfología.

Desde el aspecto morfológico la estructura del suelo se define por la forma (tendencia a manifestarse con un determinado hábito), el tamaño (gruesa, media, fina y muy fina) y el grado de manifestación de los agregados o sea según la intensidad con que se manifieste el desarrollo de la estructura: fuerte, media, débil, nula. Los agentes responsables de la estructura son las características hídricas junto a la textura y materia orgánica. También influyen: pH, CO_3^- , óxidos e hidróxidos de Fe, actividad biológica.

b) Micromorfología

La estructura se presenta en el campo y en el perfil del suelo, pero su estudio se completa con un microscopio petrográfico. Se analiza no sólo la forma de los agregados sino que además se estudia la composición (fragmentos gruesos, minerales y orgánicos, material fino y poros) y organización (distribuciones, orientaciones y organizaciones de los elementos que componen la estructura). A partir de la observación micromorfológica se pueden deducir los procesos que han tenido lugar durante la formación del suelo (Porta *et al.*, 2003). La micromorfología estudia los constituyentes del suelo y su organización (distribuciones, orientaciones y organizaciones).

c) Estabilidad de la estructura

Representa la resistencia a toda modificación de los agregados. El agente destructor de la estructura es el agua, que hincha los materiales y dispersa los agregados. Los agregados que están en la superficie del suelo, son dispersados por el impacto de las gotas de lluvia. Por otra parte, al mojarse los pedos, el agua va entrando hacia el interior de los agregados, va comprimiendo el aire que había

y llega un momento en el que el aire tiene que salir y resquebraja o rompe el agregado (porta *et al.*, 2003).

Por otro lado la densidad representa el porcentaje total de poros que hay entre el material sólido de un suelo. Es un parámetro importante porque de él depende el comportamiento del suelo frente a las fases líquida y gaseosa, y por tanto vital para la actividad biológica que pueda soportar. Se estudia con la técnica micromorfológica y se cuantifica de una manera indirecta en las medidas de pF y de densidad aparente.

En el suelo, como en cualquier otro cuerpo físico, la densidad se define como la masa por unidad de volumen. Ahora bien, dado su carácter poroso, conviene distinguir entre la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los huecos, por ello nos referiremos a dos tipos de densidad: real y aparente.

La densidad real es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico. Muy semejante es la de los minerales más abundantes en las arenas, como cuarzo, feldespatos, entre otros. Los carbonatos presentan una densidad algo menor así como la materia orgánica (Otalvaro *et al.*, 2004).

La densidad aparente refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado. Es muy variable según el suelo, incluso en cada uno de los horizontes porque depende del volumen de los poros. Si el suelo es compacto, la densidad sube. Su valor en los horizontes A suele estar comprendido entre 1 y 1.25, mientras que en los horizonte B puede alcanzar hasta 1.5 o más alto. Su valor permite establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa, que son la

forma habitual de medir los parámetros del suelo, y las masa/superficie que son las utilizadas en la aplicación de aditivos al mismo para corregir sus deficiencias.

Si se quiere adicionar un determinado porcentaje de un elemento establecido, hemos de conocer la masa de suelo que corresponde a una superficie definida para un espesor concreto. Usualmente se utiliza como unidad de superficie la hectárea y como profundidad la correspondiente a la capa arable que se establece como promedio en 30 cm. De este modo, la masa de una hectárea podemos calcularla multiplicando la densidad aparente por su volumen, que vendría expresado por el producto del espesor deseado en metros multiplicado por 10.000 que es su superficie en metros cuadrados. En este caso la densidad debería expresarse en Mg/m^3 y el resultado final quedaría en Mg/ha . Una vez conocido ese valor ya es posible aplicar cualquier relación masa/masa obtenida en la determinación del parámetro a corregir, sin más que adecuar convenientemente las unidades.

Por otro lado el continuo laboreo mecánico atenta contra la estructura del suelo, haciendo que la pérdida de M.O. sea abundante y que sus agregados se rompan, perdiendo así su necesaria porosidad. El cuidado del suelo implica la preservación y/o reconstrucción de la estructura aumentando la cantidad de macros y micros poros. Para esto, la adopción de la siembra directa es importante, pero no es la única opción válida, a ésta, se le deben agregar otras prácticas tales como: la rotación de cultivos, la fertilización consciente y eficiente, el control equilibrado de plagas vegetales y animales, el uso racional de los fitosanitarios, entre otras, esto demuestra que en el funcionamiento del sistema, impactan tanto los factores culturales como los paquetes tecnológicos de producción que son importantes en sí mismos y sobre todo en sus interacciones (Ferlini, 2005).

5.2 Medida de la salinidad en suelos. Conductividad eléctrica

La *C.E.* ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución (Dorransoro, 2004).

Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m, siendo ambas medidas equivalentes ($1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ dS/m}$). Por tanto la *CEs* refleja la concentración de sales solubles en la disolución.

Para distinguir suelos salinos de no salinos, se han sugerido varios límites arbitrarios de salinidad. Se acepta que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido en sales excede del 1%. La clasificación americana de suelos, Soil Taxonomy, adopta el valor de 2 dS/m como límite para el carácter salino a nivel de gran grupo y subgrupo de suelos, pues considera que a partir de ese valor las propiedades morfológicas y fisicoquímicas del perfil (y por tanto la génesis) quedan fuertemente influenciadas por el carácter salino. Por otro lado el laboratorio de salinidad de los EE.UU. ha establecido el límite de 4 dS/m para que la salinidad comience a ser tóxica para las plantas.

En base a las *C*, *Es*, el United States Salinity Laboratory de Riverside establece los siguientes grados de salinidad:

- Valores de 0 a 2: suelos normales;
- De 2 a 4: quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles.
Suelos ligeramente salinos;
- De 4 a 8: quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos.
Suelos salinos;
- De 8 a 16: sólo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes. Suelos fuertemente salinos;

- >16: muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables. Suelos extremadamente salinos.

En lo referente a las aguas en la siguiente tabla (Tabla 4.) se resumen sus valores normales en diferentes ambientes:

La *C.E.* de un suelo cambia con el contenido en humedad, disminuye en capacidad máxima (se diluye la solución) y aumenta en el punto de marchitamiento (se concentran las sales) (Dorronsoro, 2004). Se ha adoptado que la medida de la *C.E.* se hace sobre el extracto de saturación a 25°C. En cuanto al método, a una muestra de suelo se le añade agua destilada a 25°C hasta conseguir la saturación y se extrae el agua de la pasta mediante succión a través de un filtro.

Tabla 4. Valores normales de *C.E.*, para diferentes tipos de agua. (Dondorroso, 2004)

Tipo de Agua	CE a 25° en dS/m
Agua de lluvia	0,15
Agua de río	0,30
Agua de riego	0,75 - 2,25

5.3 PH, potencial redox y potencial zeta de los suelos

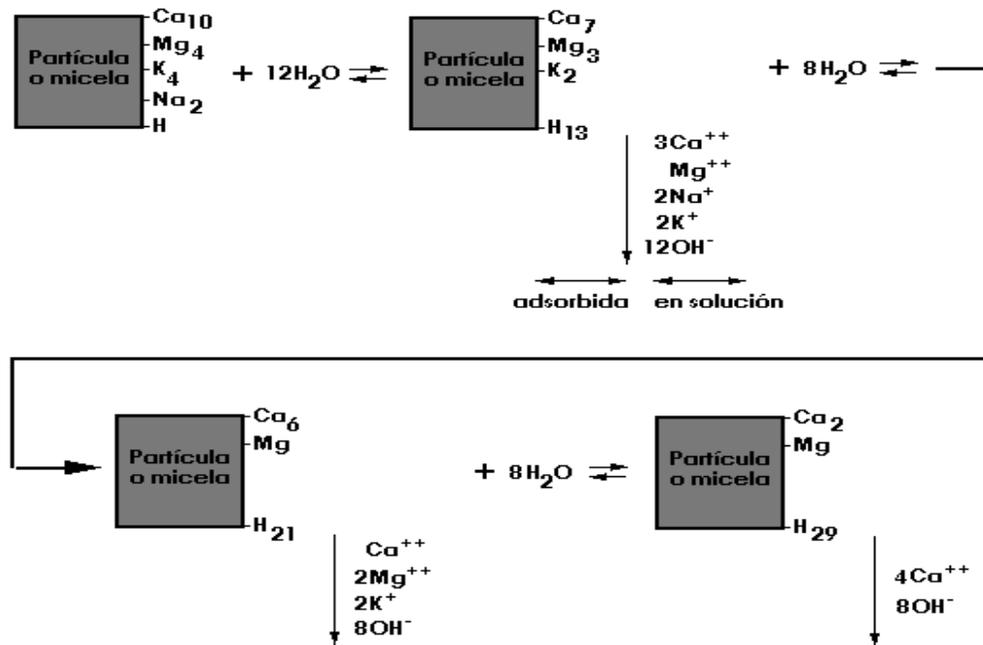
La acidez del suelo mide la concentración de iones hidronios. En los suelos los hidronios están en la solución, pero también existen en el complejo de intercambio, o sea hay dos tipos de acidez, activa o real (en solución) y de intercambio o de reserva (para los adsorbidos). Ambas están en equilibrio dinámico. Si se eliminan H⁺ de la solución se liberan otros tantos H⁺ adsorbidos (figura 14). Como consecuencia el suelo muestra una fuerte resistencia a cualquier

modificación de su pH, está fuertemente tamponado (fuente: <http://edafologia.ugr.es>)

Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado valor de pH son diversos, fundamentalmente:

- De acuerdo a la naturaleza del material original, ya que según sea el origen de la roca la reacción será ácida o básica.
- Factor biótico: los residuos de la actividad orgánica son de naturaleza ácida.
- Las precipitaciones tienden a acidificar al suelo y desaturarlo al intercambiar los H^+ del agua de lluvia por los iones Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ de los cambiadores, tal como puede apreciarse en la figura 14.
- Complejo adsorbente: según si el suelo está saturado con cationes de reacción básica (Ca^{2+} , Mg^{2+}) o de reacción ácida (H^+ o Al^{3+}). También dependiendo de la naturaleza del cambiador variará la facilidad de liberar los iones adsorbidos.

El pH influye en las propiedades físicas y químicas del suelo. Los pH neutros son los mejores para las propiedades físicas de los suelos. A pH muy ácidos hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. En pH alcalino, la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico.



Progresiva desaturación del complejo de cambio por la acción de las lluvias.

Figura 14. Intercambio de H^+ producido por las precipitaciones (Dorransoro, 2004).

Por otro lado, la asimilación de nutrientes del suelo está influenciada por el pH, ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de pH y no son asimilables para las plantas (figura 15). Alrededor de pH 6-7,5 se dan las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas (Dorransoro, 2004).

Las condiciones de oxidación-reducción del suelo son de gran importancia para procesos de meteorización, formación de diversos suelos y procesos biológicos, también están relacionadas con la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos. La formulación química de las reacciones de oxidación-reducción es la siguiente:



PH	Designación de suelos	Cultivos o vocaciones agrícolas
De 3 a 4.5	Suelos extremadamente ácidos	Pantanos, landas o bosques de especies acidófilas
De 4.5 a 5	Suelos muy fuertemente ácidos	Landas o prados
De 5 a 5.5	Suelos muy ácidos	Prados , cultivos de especies acidófilas (centeno)
De 5.5 a 6	Suelos ácidos	Prados y algunos cultivos (maíz)
De 6 a 6.75	Suelos poco ácidos	Todos los cultivos excepto leguminosas calcícolas
De 6.75 a 7.25	Suelos neutros	Todos los cultivos
De 7.25 a 8.5	Suelos alcalinos	Todos los cultivos excepto las especies calcífugas
Mayor de 8.5	Suelos muy alcalinos	Dificultades o fracasos de los cultivos europeos corrientes

Figura 15. Clasificación de los suelos para los cultivos en función del pH
(Dorronsoro, 2004).

En el suelo existe un equilibrio entre los agentes oxidantes y reductores. La materia orgánica se encuentra reducida y tiende a oxidarse, es reductora, ya que al oxidarse tiene que reducir a otro de los materiales del suelo. Por el contrario el oxígeno es oxidante. Por otra parte hay muchos elementos químicos que

funcionan con estados de oxidación variables, pudiendo oxidarse o reducirse según el ambiente que predomine.

Los procesos de oxidación y reducción envuelven a elementos que pueden actuar con diferentes valencias, entre ellos tenemos: Fe, Mn, S, N. Algunos ejemplos de procesos de oxidación en el suelo son: del Fe^{+2} de minerales primarios en Fe^{+3} formando óxidos e hidróxidos; la transformación de Mn^{+2} en Mn^{+4} ; la oxidación de $\text{S}^=$, por ejemplo de pirita a sulfatos SO_4^{2-} ; la nitrificación o transformación de NH_4^+ en nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- .

Por el contrario muchos procesos suceden bajo condiciones reductoras como la desnitrificación, la desulfurización, la formación de compuestos con Fe^{+2} y Mn^{+2} . En los suelos normales el ambiente es aireado y por tanto la tendencia general es oxidante. En los suelos hidromorfos la saturación en agua tiende a provocar un ambiente reductor. Los valores de pH y potencial redox (Eh) delimitan los campos de estabilidad de los materiales del suelo. Los compuestos de Fe y Mn son muy sensibles a cambios de pH y Eh.

Potencial zeta (ζ). Es la medida que determina la carga de un coloide (volts), en función de la superficie cargada y la naturaleza y composición del medio en el que está suspendido; las sales iónicas que pueden solubilizarse totalmente en medios acuosos no pueden ser clasificadas como coloides ya que se encuentran en la fase continua y por lo tanto su ζ , es muy pequeño. En la mayoría de los suelos el potencial ζ es negativo debido a que la superficie del suelo generalmente tiene carga negativa. Con el incremento de la acidez ζ disminuye su negatividad y, en algunos casos, pueda alcanzar valores positivos (Lorenz 1969).

5.4 Materia orgánica, nutrientes esenciales y no esenciales.

En promedio general la materia orgánica constituye un 5% del suelo. La determinación de materia orgánica del suelo cebadero se evalúa a través del

contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total. Un buen nivel de materia orgánica en suelos cebaderos se considera entre 4.0–4.5 %, es decir, de relativo bajo contenido.

La materia orgánica del suelo está compuesta por todos los materiales orgánicos muertos, de origen animal o vegetal, junto con los productos orgánicos producidos en su transformación.

Una pequeña fracción de la materia orgánica incluye materiales ligeramente transformados y productos que han sido completamente transformados, de color oscuro y de alto peso molecular, llamados compuestos húmicos.

Después que se han añadido residuos orgánicos frescos al suelo hay un rápido aumento en la población de organismos debido a la abundancia de material fácilmente descompuesto, incluyendo azúcares y proteínas. Estos elementos son transformados en energía, CO_2 y H_2O y en compuestos sintetizados por los organismos. A medida que la cantidad de materia orgánica de fácil descomposición disminuye, el número de organismos también disminuye. Los sucesores de estos organismos atacan los restos, formados por compuestos más resistentes de celulosa y lignina y también compuestos sintéticos, reduciendo su proporción gradualmente a medida que aumenta el humus. La velocidad de transformación de los residuos orgánicos frescos depende de la naturaleza de la materia orgánica inicial y de las condiciones ambientales del suelo.

Después de la aplicación, por ejemplo, de materiales leñosos u otros residuos orgánicos que tienen un alto contenido de carbono y un bajo contenido de nitrógeno –o sea una relación C/N alta- los organismos consumen el nitrógeno disponible en el suelo, inmovilizándolo. Como resultado, durante algún tiempo habrá poco nitrógeno disponible para las plantas. Con la descomposición gradual

de la materia orgánica, la población de organismos se reduce y el nitrógeno vuelve a estar disponible para las plantas, estableciendo una relación C/N entre 10 y 12.

Para evitar la competencia por el nitrógeno entre los organismos y las plantas, es conveniente esperar que los residuos orgánicos alcancen un estado avanzado de descomposición antes de la siembra de un nuevo cultivo.

La materia orgánica agregada al suelo normalmente incluye hojas, raíces, residuos de los cultivos y compuestos orgánicos correctivos. Como que muchos de los residuos vegetales se aplican en la superficie o en la capa superior del suelo, el contenido de materia orgánica de esta capa tiende a ser más alto y a decrecer con la profundidad (Ferlini, 2005).

El contenido de nutrientes de la materia orgánica es importante para las plantas. Por medio de la actividad de la flora y la fauna presentes en el suelo esos nutrientes son transformados en sustancias inorgánicas y pasan a estar disponibles para las plantas. A medida que los rendimientos aumentan, el uso correcto de fertilizantes minerales y las masas de las raíces aumentan el contenido de materia orgánica del suelo en razón de la mayor cantidad de residuos que se incorporan. La materia orgánica también puede ser agregada usando abonos verdes o residuos orgánicos como estiércol o composte.

La materia orgánica favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, lo cual es especialmente importante en el caso de los suelos arenosos. La materia orgánica incrementa la retención de los nutrientes del suelo disponibles para las plantas debido a su capacidad de intercambio de cationes –la CIC del humus varía entre 1 y 5 meq/g.

La disponibilidad de nutrientes es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrientes del suelo depende del material y el proceso de formación del suelo –el contenido original del suelo-, del abastecimiento y naturaleza de los fertilizantes, de la intensidad de la lixiviación y la erosión, de la absorción de los nutrientes por parte de los cultivos y de la CIC del suelo.

Aunque la deficiencia de nutrientes en muchos casos puede ser fácilmente corregida, los suelos con mejor disponibilidad natural de nutrientes requerirán menores inversiones y, por lo tanto, muestran una aptitud natural para dar mejores rendimientos. El conocimiento de la necesidad de aplicar o no grandes cantidades de nutrientes en forma de fertilizantes, comparado con la disponibilidad de recursos, es un factor determinante para la recomendación de uso de la tierra.

Además de evaluar los contenidos y proporciones de cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) también será necesario evaluar el contenido de nitrógeno del suelo –a través de la materia orgánica-, el contenido de fósforo disponible, el contenido de micronutrientes esenciales y el valor de la CIC del suelo.

5.5 Capacidad de intercambio iónico (CIC).

Dentro del cambio iónico el más importante y mejor conocido es la capacidad de intercambio catiónico (CIC). El número total de cationes intercambiables que un suelo puede retener (la cantidad permitida por su carga negativa) se denomina capacidad de intercambio catiónico o CIC. Mientras mayor sea la CIC más cationes puede retener el suelo. Los suelos difieren en su capacidad de retener cationes intercambiables. La CIC depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica presentes en el suelo. En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes, los principales son las arcillas y la materia orgánica (los dos materiales presentan propiedades coloidales). Una suspensión o dispersión coloidal es un sistema físico que está compuesto de un material en forma líquida o gaseosa, en el cual hay inmersas partículas, por lo

general sólidas, de pequeño tamaño, en principio, del orden de las micras (Manahan, 2007).

La CIC de un suelo se expresa en términos de miliequivalentes por 100 gramos de suelo y se escribe meq/100 g. Los minerales arcillosos tienen una CIC que generalmente varía entre 10 y 150 meq/100 g. La materia orgánica tiene valores que van de 200 a 400 meq/100 g. En consecuencia, el tipo y la cantidad de arcillas y materia orgánica influyen apreciablemente la CIC de los suelos (Carter, 2004b).

Las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas son:

- Sustituciones atómicas dentro de la red.
- Existencia de bordes (superficies descompensadas).
- Disociación de los OH^- de las capas basales.
- Enlaces de Van der Waals, que es un tipo de forma electrostática y se establece entre dos grupos no cargados. Son muy débiles individualmente, pero son importantes cuando su número es elevado.

En las arcillas, además de en su superficie, los iones pueden entrar entre las láminas.

Las causas de la capacidad de cambio de materia orgánica son:

- Disociación de los OH^- .
- Disociación de los grupos funcionales $-\text{COOH}$ (ver figura 16)

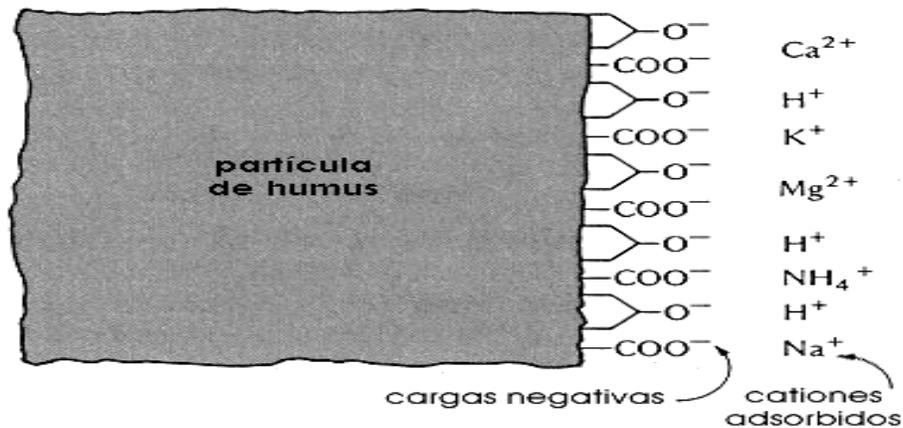


Figura 16. Esquema representativo de los procesos de intercambio iónico donde se aprecian las disociaciones de los grupos OH^- y grupos $-\text{COOH}$.

Tomada de www.madrimasd.org/blogs/universo/.

En cuanto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios, entre ellos:

- Tamaño de las partículas. Cuanto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio.
- Naturaleza de las partículas. La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes. Así la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de algunos de los materiales más comunes en los suelos los representamos en la siguiente tabla (tabla 5). La naturaleza del cambiador confiere mayor a menor capacidad de cambio. Cada 1% de arcilla puede repercutir en medio miliequivalente en la capacidad de cambio de cationes del suelo. Si en vez de arcilla nos referimos a la materia orgánica, cada 1% puede repercutir en 2 miliequivalentes más (Manahan, 2007).

Tabla 5. Capacidad de intercambio catiónico de algunos materiales particulados que son comunes en suelos.

Tomada de <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/>

Naturaleza de la partícula	CIC, meq/100g
cuarzo y feldespatos	1-2
óxidos e hidróxidos Fe y Al	4
caolinita	3-15
ilita y clorita	10-40
montmorillonita	80-150
vermiculita	100-160
materia orgánica	300-500

- Tipo de cationes cambiables. La capacidad de cambio de cationes representa el total de cargas negativas, o lo que es lo mismo el número de cargas positivas que incorporan los cationes que vienen a fijarse.

No obstante, la naturaleza de los cationes de cambio puede modificar el valor de la capacidad de cambio, aumentándola o disminuyéndola, en función de su carga y de su tamaño. Los cationes divalentes, trivalentes... al adsorberse aumentan la capacidad de cationes de cambio, mientras que los cationes de gran tamaño (radicales orgánicos) disminuyen la CIC al bloquear, por su tamaño, posiciones de cambio.

- Ph. Los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en las superficies de las partículas, pero a pH altos los H de los grupos carboxílicos primero y de los OH⁻ después, se disocian y los H⁺ pueden ser intercambiados por cationes. Esto es la consecuencia de que la capacidad de cambio de cationes aumente con el pH.

Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} .

En los suelos ácidos predominan H^+ y Al^{3+} , en los suelos alcalinos predominan las bases fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{2+} .

La relación en el complejo de cambio entre los cationes y el $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, expresado en %, representa el grado de saturación: $V = S/T \times 100$, siendo, T = capacidad de cambio. Mide la cantidad de bases de cambio ($T = S + \text{Al}^{3+} + \text{H}^+$)

$$S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+.$$

Cuando $V > 50\%$ el suelo está saturado.

Si $V < 50\%$ el suelo se encuentra insaturado. Las posiciones de cambio están ocupadas principalmente por H^+ y Al^{3+} ; se trata de un medio pobre en nutrientes (Manahan, 2007).

La importancia de la capacidad de cambio es que:

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

6. El suelo, el agua y la agricultura.

6.1. Características de los suelos y el movimiento de las aguas.

El punto de saturación del suelo se obtiene en el laboratorio, cuando se realiza la obtención del extracto de la pasta saturada. Se considera como la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener y es afectado por el contenido y tipo de arcillas y por la concentración de materia orgánica que éste tenga. Para un mismo tipo textural, el punto de saturación puede ser muy diferente debido a la variación que puede ocurrir con estos dos componentes del suelo. A partir de este dato se puede estimar indirectamente la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. El punto de saturación de un suelo va de menos de 10% para las arenas gruesas y hasta 150% para los suelos muy arcillosos o para los suelos histosoles con muy elevado contenido de materia orgánica.

El término capacidad de campo (CC) define la cantidad de agua que permanece en el suelo después que se ha detenido el flujo gravitacional. Esta condición se expresa como porcentaje del peso. La cantidad de agua presente en el suelo después de que las plantas llegan a marchitez permanentemente se denomina punto de marchitez permanente (PMP). En este punto todavía existe agua en el suelo, pero se encuentra retenida tan fuertemente que las plantas no la pueden utilizar. El agua disponible para la planta es aquella que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Carter *et al.*, 1986). El diagrama que se presenta a continuación muestra como varía la disponibilidad del agua con la textura del suelo (figura 17).

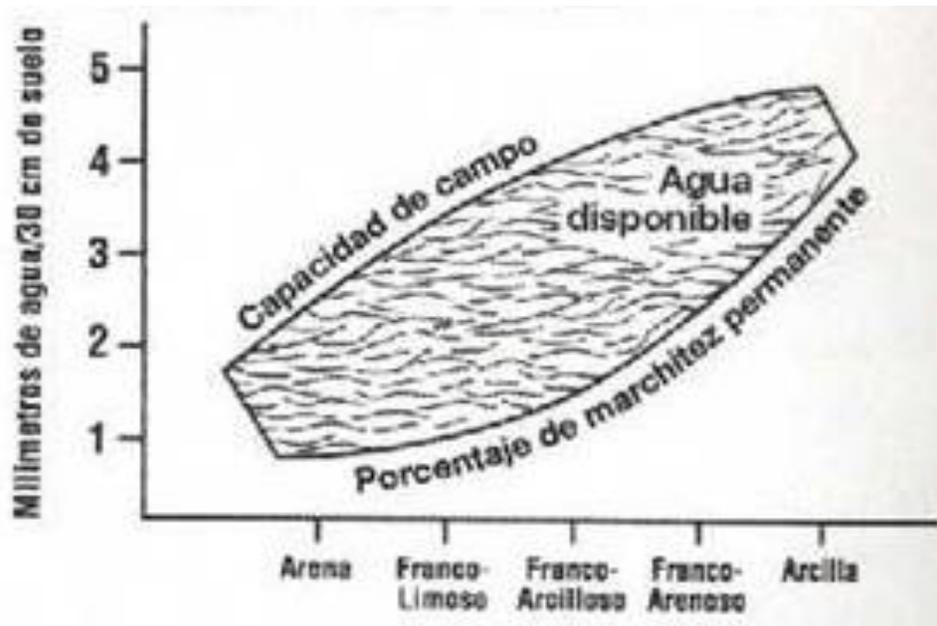


Figura 17. Relación entre la textura del suelo y la disponibilidad de agua.

Tomada de <http://www.elergonomista.com/fisiologiavegetal/relaciones.htm>

Los suelos arenosos no pueden almacenar la cantidad de agua que almacenan los suelos arcillosos. Sin embargo, un alto porcentaje del agua presente en suelos arenosos es disponible. Concluyendo, no existe una relación muy constante entre la textura del suelo y el agua disponible, como se demuestra en la figura 17.

Los suelos de textura fina (arcillosos) se compactan fácilmente. Esto reduce el espacio poroso, lo cual limita el movimiento de agua y de aire en el suelo, dificultando el ingreso del agua de lluvia en el suelo y facilitando la escorrentía superficial. Esta condición puede causar estrés de humedad aun cuando exista una alta cantidad de lluvia. Las arcillas son pegajosas cuando están húmedas y forman terrones duros cuando están secos. Por esta razón, es extremadamente importante el mantener un contenido apropiado de humedad cuando se realizan labores de labranza en suelos arcillosos.

Los suelos arenosos son por naturaleza secos debido a que retienen poca cantidad de agua. Estos suelos son sueltos, con menor posibilidad de compactarse y son fáciles de trabajar. Sin embargo, los suelos que contienen un alto porcentaje de arena muy fina se pueden también compactar fácilmente (Carter *et al.*, 1986).

Los suelos con alto contenido de limo son a menudo los más difíciles de todos, en términos de estructura. Las partículas se juntan estrechamente y se compactan muy fácilmente. El buen manejo ayuda a mantener o desarrollar una buena estructura en el suelo. La estructura del suelo no es más que la agregación de las partículas individuales (arena, limo y arcilla) en gránulos de mayor tamaño, que permiten el flujo libre de aire y agua. El tamaño y la forma de los gránulos determinan la calidad de la estructura. La mejor estructura es la de tipo bloque y la granular.

La estructura del suelo tiene una influencia marcada en el crecimiento de las raíces y de la parte aérea de la planta. A medida que el suelo se compacta, la proporción de espacios porosos grandes disminuye, el crecimiento radicular se detiene y la producción se reduce. Un suelo ideal para la producción agrícola tiene las siguientes características.

- Textura media y buen contenido de materia orgánica que permitan el movimiento de agua y aire.
- Suficiente cantidad de arcilla para retener la humedad del suelo.
- Subsuelo profundo y permeable con niveles adecuados de fertilidad.
- Un ambiente que promueva el crecimiento profundo de las raíces en búsqueda de humedad y nutrientes.

La diferencia entre CC y PMP representa la capacidad de retención de humedad aprovechable. La capacidad retentiva de humedad aprovechable es expresada en

cm de lámina de agua para 30 cm de profundidad de suelo para varios tipos texturales, cuyo rango varía en función del tipo de arcilla, nivel de materia orgánica y de la estructura del suelo.

El agua es retenida en el suelo, principalmente, mediante un proceso de adsorción (potencial matricial) sobre la superficie de las partículas minerales, cuya intensidad de reacción depende de la superficie específica del suelo (SE); la tensión con la que el agua es adsorbida variará según el tipo de suelo, la presencia de materiales orgánicos y el contenido de agua (Pachepsky *et Rawls*, 1999). La SE se define como el área superficial por unidad de masa o volumen y se expresa en metros cuadrados por gramo (Carter *et al.*, 1986). Además, la SE influye sobre diversas propiedades físicas y químicas edáficas (Hillel, 1998), entre las que destacan la capacidad de intercambio catiónico, la adsorción de contaminantes y plaguicidas (Petersen *et al.*, 1996), la formación de complejos órgano-minerales (Mayer *et Xing*, 2001), y está íntimamente relacionada con los procesos biológicos que regulan la actividad de los microorganismos. El agua atrapada físicamente entre el espacio poroso de la fase sólida edáfica también constituye otro mecanismo por el cual el suelo es capaz de retener humedad, cuya relevancia está circunscrita a suelos con escaso contenido de arcillas (Pachepsky *et al.*, 2001).

El cambio de uso de suelo y las prácticas de manejo agrícola y forestal modifican las propiedades inherentes a su fertilidad física, lo cual repercute sobre el contenido de materia orgánica (MO) y la capacidad de almacenamiento de agua (Browman *et al.*, 1999; Lado *et al.*, 2004), debido a que se modifica la interacción entre las fracciones mineral y orgánica del suelo (Carter, 2004a) y, por ende, el arreglo estructural de las partículas edáficas (Pagliali *et al.*, 2004).

Este impacto variará según la SE (Yariv *et Michaelian*, 2002) y alterará la capacidad productiva del suelo (Carter, 2004a). Los materiales orgánicos y minerales edáficos están íntimamente relacionados en complejos organominerales

(Liebig *et al.*, 2004), donde las moléculas de agua sirven de puentes entre estos dos componentes del suelo (Yariv *et Michaelian*, 2002). Por lo tanto, los aportes de materiales orgánicos incrementarán el tamaño y la estabilidad de agregados, fomentarán una mayor actividad microbiana y favorecerán la fertilidad física del suelo, en general (Carter *et Stewart*, 1996); a la vez, se modificará la hidrodinámica y la capacidad del suelo para almacenar agua disponible para los cultivos.

La estructura del suelo tiende a colapsarse de manera natural por efecto del agua de lluvia o riego y modifica las propiedades hidráulicas del medio (Or *et Ghezzehei*, 2002); sin embargo, esto se intensifica significativamente por el laboreo y más aún cuando hay un escaso reciclaje de materiales orgánicos en el agrosistema (Gicheru *et al.*, 2004). Por ello, las prácticas agrícolas constituyen un factor determinante del comportamiento hidráulico del suelo (Kribaa *et al.*, 2001), por lo que es factible mejorar la capacidad productiva a través del incremento de la retención de humedad en el suelo. Para esto es fundamental considerar dentro del manejo agrícola la aplicación de residuos orgánicos (Francis *et Knight*, 1993; Moroizumi *et Horino*, 2004) y fomentar el mantenimiento de la interacción entre las reservas orgánicas y la fracción mineral (Carter, 2004b).

6.2 Coloides del suelo y la retención de iones

Los suelos se forman mediante los cambios producidos por el efecto de la temperatura y humedad en las rocas (procesos de meteorización). Algunos minerales y la materia orgánica se descomponen hasta llegar a formar partículas extremadamente pequeñas. Las reacciones químicas que ocurren a continuación reducen el tamaño de estas partículas hasta que no se pueden ver a simple vista. Las partículas más pequeñas se llaman coloides. Estudios científicos han determinado que los coloides arcillosos son cristales que se agrupan en forma de placas. En la mayoría de los suelos los coloides de minerales arcillosos son más numerosos que los coloides orgánicos. Los coloides son los responsables de la

reactividad química del suelo. El tipo de material parental (roca madre) y el grado de meteorización determinan el tipo de arcilla presente en el suelo (Carter, 2004b). Unas arcillas son más reactivas que otras y esta característica depende del material parental y de los procesos de meteorización.

Cada coloide (arcilloso u orgánico) tiene carga negativa (-) que se desarrolla durante los procesos de formación. Esto significa que los coloides pueden atraer y retener partículas cargadas positivamente (+), de igual forma como los polos opuestos de un imán se atraen entre si. Los coloides repelen a otras partículas cargadas negativamente, como también lo hacen los polos iguales de un imán (figura 18).

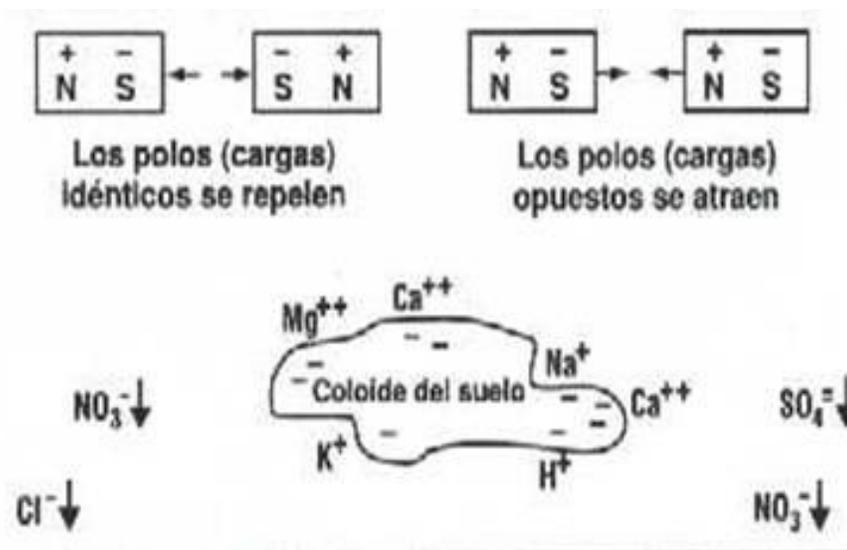


Figura 18. Los cationes son atraídos por las arcillas y la materia orgánica del suelo; Los aniones en cambio son repelidos.

Tomada de: www.madrimasd.org/blogs/universo//

Los cationes retenidos por el suelo pueden ser reemplazados por otros cationes. Esto significa que son intercambiables. Por ejemplo, el Ca^{+2} puede ser intercambiado por H^+ y/o K^+ y viceversa. Un suelo que tiene alto contenido de

arcillas puede retener más cationes intercambiables que un suelo con bajo contenido de arcillas. La CIC se incrementa también a medida que la materia orgánica se incrementa.

Los valores de CIC son bajos en los lugares donde los suelos son muy meteorizados y tienen contenidos también bajos de materia orgánica. En los sitios donde el suelo es menos meteorizado, con niveles de materia orgánica a menudo altos, los valores de CIC pueden ser notablemente altos. Los suelos arcillosos con una alta CIC pueden retener una gran cantidad de cationes y prevenir la pérdida potencial por lixiviación (percolación). Los suelos arenosos, con baja CIC retienen cantidades más pequeñas de cationes. Esto hace que la época y las dosis de aplicación sean importantes consideraciones al planificar un programa de fertilización. Por ejemplo, no es muy aconsejable aplicar K en suelos muy arenosos en medio de la estación lluviosa cuando las precipitaciones pueden ser altas e intensas. Las aplicaciones de K se deben fraccionar (dividir) para prevenir pérdidas de lixiviación y erosión, especialmente en los trópicos húmedos. También es importante el fraccionar las aplicaciones de N para poder reducir notablemente las pérdidas por lixiviación y al mismo tiempo entregar este nutriente a las plantas en las épocas de mayor demanda. Esta práctica debe ser común en suelos arenosos así como en suelos de textura más fina.

El porcentaje de saturación de bases es el porcentaje de la CIC que está ocupado por los cationes principales. Este parámetro se utilizó en el pasado para desarrollar programas de fertilización con la idea de que ciertas "relaciones" o balances son necesarios para asegurar la absorción adecuada de nutrientes por los cultivos para obtener rendimientos óptimos. Sin embargo, investigación científica ha demostrado que las relaciones entre cationes tienen poca utilidad en la gran mayoría de los suelos agrícolas. En condiciones de campo, las relaciones entre nutrientes pueden variar ampliamente sin efectos negativos, si los nutrientes están presentes individualmente en el suelo a niveles suficientes para soportar un crecimiento óptimo de la planta.

No existe un mecanismo exacto de retención de aniones en el suelo. Por ejemplo, el nitrato (NO_3^-) es completamente móvil y se desplaza libremente en el agua del suelo. Cuando llueve abundantemente se mueve hacia abajo en el perfil del suelo con el exceso de agua. En condiciones climáticas extremadamente secas se mueve hacia arriba con el agua, produciendo acumulaciones de NO_3^- en la superficie.

El ion sulfato (SO_4^{2-}) puede ser retenido con poca fuerza en algunos suelos y bajo ciertas condiciones. A pH bajo se pueden desarrollar cargas positivas en los extremos rotos de algunas arcillas donde se retiene SO_4^{2-} . Los suelos que contienen óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) hidratados, sea en la capa superficial o en el subsuelo, retienen algo de SO_4^{2-} en las cargas positivas desarrolladas en la superficie de estos coloides. Esta retención es mínima cuando el pH es mayor que 6.0. La materia orgánica en algunas ocasiones también desarrolla cargas positivas que atraen SO_4^{2-} .

Además de la retención electrostática en los sitios con carga positiva, el SO_4^{2-} puede ser retenido al reaccionar con metales que también están retenidos (absorbidos) en la superficie de los coloides del suelo. Por otro lado, grandes cantidades de SO_4^{2-} se pueden retener por acumulación de yeso (sulfato de calcio) en regiones áridas y semiáridas.

7. Historia de los análisis de suelos.

Los primeros intentos de utilizar el análisis de suelo se hicieron en el año 50 A. C. por Columella en la antigua Roma al hacer pruebas de sabor y medir la acidez y salinidad de los suelos (Tisdale *et al.*, 1993). En un principio se pensó que el análisis total de elementos podría ser útil para diagnosticar la fertilidad del suelo (Viets, 1980), sin embargo, este criterio fue desechado debido a que el contenido del elemento total no correlacionaba con su disponibilidad. No fue sino hasta

mediados del siglo XIX cuando se sentaron los principios generales de la nutrición vegetal con el establecimiento de la ley del mínimo de Justus von Liebig (Allen *et al.*, 1994).

Anderson (1960) describe tres períodos en el desarrollo del análisis de suelo en la época moderna durante un siglo, que inicia en 1840 y termina en 1950. En el primer período, de 1845 a 1906, se destacaron científicos como; Daubney, Liebig, Hilgard y Dyer, quienes sentaron las bases del análisis moderno de suelos. En dicho período, estos investigadores evaluaron y desarrollaron procedimientos para evaluar la fertilidad del suelo. Daubney en 1845 sugirió el término activo para describir los nutrimentos más solubles y *dormante* para describir los nutrimentos menos solubles. Este científico fue el primero en utilizar agua carbonatada para extraer las fracciones activas de los nutrimentos, pero tuvo algunas dificultades con los procedimientos analíticos que en aquellos años hicieron descartar esta técnica. Liebig utilizó soluciones diluidas de HCl, C₂H₄O₂ y HNO₃ y demostró que éstas extraían cantidades variables de fósforo y potasio dependiendo del ácido y la dilución utilizada. Hilgard, trabajando con suelos de Estados Unidos, promovió el uso de soluciones concentradas de HCl para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. Dyer en 1894, a finales del periodo mencionado, desarrolló una solución de ácido cítrico al 1% para extraer fósforo y potasio del suelo, e incluso determinó el nivel crítico para este extractante con el fin de decidir la aplicación de estiércol fosfatado.

El segundo período, descrito por Anderson (1960), va de 1906 a 1925. Durante este período los químicos de suelos enfatizaron mucho la relación entre la composición química del suelo y la producción del cultivo. En dicho lapso se generó una abundante base de datos que sirvió para caracterizar químicamente los suelos de varias regiones y también sirvió como fundamento para mejorar los métodos analíticos y para interpretar resultados de los análisis de suelos. Durante este período Mitscherlich desarrolló el concepto de la tasa de retorno decreciente entre el suministro de nutrimentos y el crecimiento del cultivo. Fue durante este

período que se promovió el monitoreo de la fertilidad del suelo para evitar el agotamiento de los mismos.

El tercer periodo que Anderson (1960), describe va de 1925 a 1950. En este período se disparó la tecnología de los análisis de suelo, debido a que colateralmente se desarrollaron nuevas variedades de cultivos que resultaron más rendidoras, floreció la industria de los fertilizantes y se inició la industria de los pesticidas, agroquímicos que empezaron a estar al alcance de los agricultores. Durante este período se desarrollaron dos corrientes: una, en la que investigadores promovieron el uso de soluciones extractoras multielementales y otra, en la que se promovió el uso de soluciones extractoras para nutrientes específicos. Fue en este periodo en que Chapman y Kelly en 1930 desarrollaron la solución extractora del acetato de amonio 1M para las bases de cambio, solución extractora que sigue en uso hoy en día, 70 años después de su desarrollo, como una de las más importantes para determinar K, Ca, Mg, Na y la Capacidad de Intercambio Catiónico en la mayoría de los tipos de suelos, no siendo el caso de los suelos muy ácidos, donde se requieren otros procedimientos analíticos más adecuados a la química de los mismos. Morgan en 1941 desarrolló la solución extractora universal que lleva su nombre utilizando ácido acético y acetato de sodio a pH 4.8. Al mismo tiempo que Bray y Kurtz en 1945 desarrollaron varios procedimientos para evaluar el contenido de fósforo disponible utilizando NH_4F y HCl. Estos procedimientos se siguen utilizando hoy en día para la determinación conocida como Bray P1 y P2. Melich ya en 1953, desarrolló el extractante multielemental utilizando H_2SO_4 y HCl, conocido como el método del doble ácido o método de Carolina del Norte. Por su parte, Olsen *et al.* (1954) desarrollaron el extractante a base de NaHCO_3 a pH 8.5, el cual ganó popularidad para los suelos neutros y alcalinos y es un método muy popular aún hoy en día en América y parte de Europa para suelos alcalinos. Otros métodos fueron mostrando su ineficacia, como el agua carbonatada, que aún hoy en día, existen laboratorios que lo utilizan y el método de Melich 2 que tampoco mostró suficiente efectividad y ha sido descartado prácticamente en casi todos los laboratorios.

Posteriormente al tercer período, descrito por Anderson (1960), las tendencias modernas continuaron hacia la búsqueda de soluciones extractoras universales, destacando la solución extractora modificada de Morgan (McIntosh, 1969), el extractante Bicarbonato de Amonio-DTPA (Soltanpour *et* Schwab, 1977) y la solución extractora de Melich 3 (Melich, 1984). Uno de los motivos para buscar soluciones extractoras universales fue la aparición de los aparatos espectrofotómetros de masa y emisión ICP que son capaces de analizar miles de muestras en un solo día, en una sola solución extractora. Esto hace el análisis rápido y más económico, sin embargo, no siempre funciona bien como herramienta de diagnóstico para todos los elementos, por ello debe buscarse un balance entre la rapidez, el bajo costo y la efectividad del análisis como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo. Los análisis específicos son más costosos, pero suelen ser más eficientes para diagnosticar el estado de fertilidad general del suelo.

En algunos países de Europa se usa la técnica de electroultrafiltración (Nemeth, 1979), sin embargo, es relativamente cara y requiere de un alto nivel de experiencia técnica. En una época más reciente se ha propuesto el uso de resinas de intercambio amónico y Catiónico como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo, de alta efectividad y con un rango de aplicación muy amplio (Shoenau *et* Hang, 1991; Qian *et al.*, 1992 y 1996), sin embargo, su uso en laboratorios comerciales no se ha generalizado y probablemente esté lejos de que eso ocurra.

Finalmente, es importante recalcar que para mantener la credibilidad en los análisis de suelos ante los usuarios, cualquier método analítico que se utilice para diagnosticar el estado nutricional del suelo, sea multielemental o específico, debe ser respaldado con un buen control de calidad analítico en el laboratorio y debe ser debidamente correlacionado y calibrado en el campo antes de su uso generalizado en una región. La ausencia de correlación y calibración en el ámbito

regional de un método determinado, le resta valor para su uso como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo, esto es particularmente más grave cuando se emplean métodos multielementales como Melich 3, que tienen una escasa o nula validación en México y del cuales hay un escaso soporte de investigación local.

7.1. Normas reconocidas para calidad de suelos y la realización de análisis de suelo.

Es importante resaltar que a nivel Internacional, existen documentos técnicos normalizativos que establecen parámetros de calidad para los suelos y los métodos de ensayo y pruebas requeridos para su evaluación. Por ejemplo existe la Norma ISO TC-190 que establece aspectos tan importantes como son: SC.1. Evaluación de los criterios, la terminología y la codificación; SC.2. Muestreo; SC.3. Los métodos químicos y las características del suelo; SC.4. Los métodos biológicos; SC.5. Métodos físicos; SC.7. Del suelo y evaluación del lugar, entre otros (<http://people.civil.gla.ac.uk/~smart/sme/isotc190.htm>) y que data del año 2005 en vigencia. Para la realización de métodos de ensayo y pruebas aparecen entre otras muchas, las Normas ISO que se recogen en la tabla 6.

Tabla 6. Normatividad ISO de algunos métodos de ensayo para suelos

<p><u>ISO 10573:1995</u> La calidad del suelo - Determinación del contenido de agua en la zona no saturada</p>
<p><u>ISO 11272:1998</u> La calidad del suelo - Determinación de la densidad de carga seca a granel</p>
<p><u>ISO 11274:1998</u> La calidad del suelo - Determinación de la característica de</p>

retención de agua
<u>ISO 11274:1998 / Cor 1:2009</u> . Calidad del suelo. Determinación de las características de retención de agua.
<u>ISO 11275:2004</u> La calidad del suelo - Determinación de la conductividad hidráulica no saturada y la característica de retención de agua - método de la evaporación de Wind
<u>ISO 11276:1995</u> La calidad del suelo - Determinación de la presión del agua de los poros
<u>ISO 11277:2009</u> La calidad del suelo - Determinación de la distribución de tamaño de partículas de material mineral del suelo - Método de tamizado y sedimentación
<u>ISO 11461:2001</u> La calidad del suelo - Determinación del contenido de agua del suelo como una fracción de volumen de extracción de muestras usando mangas - Método gravimétrico
<u>ISO 11508:1998</u> La calidad del suelo - Determinación de la densidad de las partículas
<u>ISO 16586:2003</u> La calidad del suelo - Determinación del contenido de agua del suelo como una fracción de volumen sobre la base de conocer la densidad aparente en seco - Método gravimétrico
<u>ISO 17312:2005</u> La calidad del suelo - Determinación de la conductividad

hidráulica de materiales porosos saturados con un permeámetro pared rígida -

ISO 17313:2004

La calidad del suelo - Determinación de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados con un permeámetro pared flexible

A nivel del continente americano son conocidas las normas de Perú PAN-003-2006 de “Calidad ambiental de suelos para diversos usos”, de Chile NCh2060.Of1999 “Suelos – Calidad de suelos - Muestreo para análisis de fertilidad”, de Cuba N.C. 33:1999. “Calidad del suelo. Requisitos generales para la clasificación de los suelos”, de Colombia NTC 4880-1 “Calidad de suelos”, de Argentina IRAM 50-1:1992, basada en la guía ISO/IEC 2:1991, “Calidad de los suelos”, de Venezuela COVENIN 0113:1998, “Suelos, calidad y acondicionamiento. Fertilizantes enmiendas y acondicionadores de suelos. Definiciones”, entre otras. Por supuesto aparecen las normas mexicanas, NMX-AA-091-1987 “Calidad del Suelo – Terminología”, NMX-AA-025-1984, “Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos - Determinación del ph - método potenciométrico”, NMX-AA-024-1984, “Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de nitrógeno total”, entre otras varias. En este sentido existe la Norma NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

8. Uso de indicadores e índices para evaluación de calidad de los suelos.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo - Río '92 (UNCED) - marcó un hito muy especial al establecer la necesidad de desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del

ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, nacional, regional y global.

La determinación de estos cambios podría ayudar a realizar una mejor evaluación de las dimensiones de los diferentes problemas ambientales, identificar y evaluar los resultados de la aplicación de las convenciones internacionales y los programas de acción, como así también, orientar las políticas nacionales. La aplicación del Capítulo 40 de la Agenda 21 condujo al desarrollo de diversas metodologías que determinaron el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, calidad de suelos, sustentabilidad, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad, planificación territorial, entre otros.

El antecedente más importante surgió de la Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991) cuando publicó un set preliminar de indicadores ambientales. Posteriormente, otras organizaciones han desarrollado programas donde se establecieron listas de indicadores para evaluar la calidad ambiental, tales como, FAO, Banco Mundial, UN Development Program, UN Environmental Program.

En la ciencia del suelo, Blum y Santelises (1994) describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas: el suelo como productor de biomasa; el suelo como reactor con filtros; el suelo como buffer y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; el suelo como hábitat biológico y reserva genética; el suelo como medio físico y el suelo como fuente de recursos y de herencia cultural. Estos conceptos y los sugeridos por Warketin (1996) fueron las bases a partir de las cuales la Soil Science Society of América estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1996). Doran y Parkin (1994, 1996) y Doran *et al.* (1996) establecieron indicadores cuantitativos de calidad del suelo a partir de estos conceptos.

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados (Volveré *et* Amésquita, 2009). Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras. Los indicadores deben ser:

- Limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios;
- Sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben ser propiedades que resuman otras cualidades o propiedades;
- Interdisciplinarios; en lo posible deberán contemplar la mayor diversidad de situaciones por lo tanto incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas, etc.);
- Tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas, asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos (Gallopín, 1995; Doran *et* Parkin, 1996; Doran *et* Zeiss, 2000; Volveré *et* Amésquita, 2009).

Segnestam (2002) a partir de la experiencia realizada por el Banco Mundial señaló la importancia de establecer: la línea de base o de inicio de una actividad que puede impactar positiva o negativamente sobre el ambiente; umbrales para controlar o hacer el seguimiento de impactos negativos que no deben exceder un

predeterminado umbral y además objetivos o metas que permitan evaluar si el impacto positivo de una respuesta es suficientemente largo.

Se han desarrollado listas de indicadores de uso “universal” pensando en todas las situaciones posibles y todos los suelos posibles (Doran *et al.*, 1994, 1996). Por otra parte, se han presentado listas pensadas para situaciones regionales o locales (Brejda *et al.*, 2000; Cantú *et al.*, 2002; Lilburne *et al.*, 2004). Segnestam (2002) señaló la conveniencia de utilizar indicadores locales para evaluar a nivel de escala mayor (regiones, provincias, municipios).

9. Conclusiones.

Uno de los principales recursos que brinda la naturaleza al hombre es el suelo, ya que en él crecen y se desarrollan las plantas, tanto las silvestres como las que se cultivan para servir de alimento al hombre y los animales.

Del suelo obtenemos todos los productos de origen vegetal, algunos pueden directamente servirnos de alimento y otros permiten la alimentación de los animales, de los que no solo obtenemos nutrientes sino otra serie de productos como vestido, calzado y diversos enseres que facilitan nuestra vida.

Los vegetales no solo son el punto de partida de la cadena trófica sino que nos proporcionan fibras textiles, madera, resinas y un sin fin de productos de utilidad inmediata o diferida tras su transformación.

Los bosques y las masas herbáceas permiten mantener el equilibrio gaseoso de la atmósfera y los primeros contribuyen a regular el ciclo del agua en la naturaleza, favoreciendo la condensación de la humedad atmosférica y provocando la lluvia.

Todo lo que antecede no sería posible sin la existencia del suelo, que está limitado en su superficie y de la cual una parte, cada vez mayor, la hemos de dedicar a construir nuestras viviendas, las infraestructuras de transporte, las industrias e

incluso a almacenar nuestros desechos. De ello podemos inferir que sin él no sería posible la vida sobre la tierra, al menos en la forma que la conocemos.

El suelo no es un cuerpo estático sino que mantiene un equilibrio dinámico con el medio que lo rodea. De modo que continuamente se está formando y destruyendo. Su destrucción está provocada por los fenómenos erosivos cuya intensidad natural es similar a la de su formación, una vez alcanzado el equilibrio y alcanzado el espesor máximo que corresponde a su situación natural. Desde este punto de vista, el suelo es un recurso natural renovable, mas la realidad es desgraciadamente diferente y en la actualidad se ha convertido en un recurso no renovable por la forma en que hemos incrementado la velocidad de destrucción mientras que la de formación permanece invariable.

Una vez que el suelo ha alcanzado un grado de desarrollo equilibrado con su medio se detiene la profundización del mismo, pues se detiene o atenúa muy fuertemente la alteración del material original al no existir la influencia de la materia orgánica que no alcanza esa profundidad. La vegetación que vive sobre el suelo necesita obtener de él una serie de elementos minerales, procedentes de la alteración del material original, que le son absolutamente imprescindibles. De este modo, cuando los minerales primarios se encuentran absolutamente alterados cesa el aporte de elementos nutritivos, lo que obliga a que la vegetación se vaya empobreciendo lentamente y disminuyendo el aporte de sus restos al suelo. El final sería una masa de material estéril incapaz de soportar ningún tipo de vida.

Recomendaciones para evitar la degradación de los suelos:

- Restituirles, por medio de la fertilización, los nutrientes que van siendo extraídos por las plantas o que son arrastrados por las aguas.
- Evitar las talas y los desmontes desmedidos, así como las quemas, fundamentalmente en las laderas.
- Preparar los surcos, en zonas de alta pendiente, en forma perpendicular a estas, de manera que el agua, al correr, no arrastre el suelo.

- Proporcionar al suelo la cobertura vegetal necesaria para evitar la erosión.
- Evitar la contaminación que provoca el uso indiscriminado de productos químicos en la actividad agrícola.

9. Bibliografía.

1. Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. y Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119, p. 177.
2. Acevedo-Sandoval, O. A., M. Cruz-Sánchez, y E. Cruz-Chávez. 2002. Distribución de óxidos de Fe, Al y Si en horizontes endurecidos de origen volcánico. *Agrociencia* 36: 401-409.
3. Allen, E.R., G.V. Johnson y L.G. Unruh. 1994. Current approaches to soil testing methods: Problems and solutions. p, 203-220. En: J.L Havlin y J.S. Jacobsen (eds) *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA. ASA. Madison Wisc. USA.
4. Álvarez, CR; FH Gutierrez Boem; MA Taboada; P Prystupa; JF Ocampo. (2004). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp.238. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo*. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
5. Anderson, M.S. 1960. History and development of soil testing. *J. Agric. Food Chem.* 8:84-87.
6. Baldwin, M., Kellogg, C. E., & Thorp, J. 1938. Soil classification. In *Soils and men: Yearbook of agriculture* (pp.979-1001). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
7. Blum, WEH y AA Santelises. (1994). A concept of sustainability and resilience based on soil functions. Pp. 535-542. *In: DJ*.
8. Botta, GF; D Jorajuria; R Balbuena & H Rosatto. 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil Till. Res.* 78(1):53-78.
9. Brejda, JJ; TB Moorman; DL Karlen y TH Dao. (2000). Identification of regional Soil Quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2115-2124.

10. Brissio, P. A. 2005. Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburífera. Tesis de Maestría en Saneamiento y Protección Ambiental. Instituto Superior de Salud y Ambiente. Universidad Nacional del Comahue. Colombia.
11. Browman, R. A., M. F. Vigil, D. C., Nielsen, and R. L. Anderson. (1999). Soil organic matter changes in intensively cropping dryland systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 186-191.
12. Burt, R., Wilson, M.A., Keck, T.J., Dougherty, B.D., Strom, D.E., Lindahl, J.A., 2003. Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8, pp. 51-67.
13. Cantú, MP; AR Becker; JC Bedano; TB Musso y HF Schiavo. (2002). Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD. 6 pp.
14. Carter, D. L., M. Mortland, and W. Kemper. (1986). Specific surface. pp. 413-423. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.* Agronomy 9. Part 1. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. Carter, M.R. (2004a). Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil Tillage Res.* 79: 1-6.
15. Carter, M. R. (2004a). Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. *Soil Tillage Res.* 78: 129-130.
16. Carter, M. R. and B.A. Stewart. (1996). *Structure and organic matter storage in agricultural soils.* Lewis/CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
17. Carter, M., 2004b. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94, 38-47.
18. Cong, W. 1994. *Geología física.* Ed. Limusa. México. p. 18-26.

19. Cumba, A.; Imbellone, P. y Ligier, D. 2005. Propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de suelos del sur de Corrientes. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* Vol. 60, n.3, p. 579-590.
20. Díaz-Zorita, M; GA Duarte & JH Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the sub-humid and semi-arid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65 (1):1-18.
21. Doran, JW y MR Zeiss. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.
22. Doran, JW y TB Parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. *In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.*
23. Doran, JW y TB Parkin. (1996). Quantitative indicators of soil Quality: a minimum data set. Pp. 25-37. *In: Methods for assessing Soil Quality, SSSA Special Publication N° 49, Wisconsin, USA.*
24. Doran, JW; M Sarrantonio y MA Liebig. (1996). Soil Health and sustainability. Pp.1-54. *In: LD Sparks (ed.). Advances in Agronomy, Vol 56. Academic Press Inc. San Diego CA.* Doran, JW & M Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Pp. 1-28. *In: C Pankhurst; BM Doube & VVSR Gupta (eds.). Biological indicators of soil health. CAB International, Wallingford.*
25. Dorronsoro, C. F., J. Aguilar, E. Fernández, J. Fernández, I. García, F. Martín, M. Simon. (2004). Soil pollution by a pyrite mine spill in Spain: evolution in time. *Environmental Pollution* 132:395–401.
26. Erbach, DC; RM Cruse; TM Crosbie; DR Timmons; TC Kaspar y KN Potter. 1986. Maize response to tillage-induced soil conditions. *Trans. ASAE* 29:690-695.
27. FAO-UNESCO, 1975. Land evaluation by the Working Group on Land Evaluation. Roma. *Soils Bulletin N° 32. P. 99-106*

28. Ferlini, H. 2005. Incremento de la materia orgánica radicular en los cultivos de Maíz (*Zea mays*) y Sorgo Granífero (*Sorghum bicolor*) inoculados con *Azospirillum Brasiliense*. Engormix. Vol. 15, N° 7. p. 15-28.
29. Francis, G. S. and T. L. Knight. (1993). Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. Soil Tillage Res. 26:193-210.
30. Gallopin, G. (1997). Indicators and their use :information for decision making. Part 1 Introduction. *In*: B Moldan & S Billharz (eds.). Sustainability indicators. Wiley, Chichester-N. York.
31. Gamón, M.; Gómez, D.; Barreda, I.; Sáez, A.; Lidón, A. 1999. Cuadernos de fitopatología. Revista técnica de fitopatología y entomología, ISSN 0213-4128, Año nº 16, N° 61, p. 57-67.
32. García, I., Dorronsoro, C. 2005. Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es>.
33. Gibas, RJ y JB Reid. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Sci. 8:123-149.
34. Gicheru, P., Ch. Gachene, J. Mbuvi, and E. Mare. (2004). Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. Soil Tillage Res. 75: 173-184.
35. Glinski, J y J Lipiec. 1990. Soil Physical Conditions and Plant Roots. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
36. Gupta, SC & RR Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. Adv. Soil Sci. 6:65-100.
37. Hamilton-Manns, M; CW Ross; DJ Horne y CJ Baker. 2002. Subsoil loosening does little to enhance the transition to notillage on a structurally degraded soil. Soil Till. Res. 68 (2):109-119.
38. Han, F.X., Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S. J., Ding, W.X. 2003. New Approach to Studies of Heavy Metal Redistribution in Soil. Advances in Environmental Research, 8, pp. 113-120.

39. Hillel, D. (1998). Environmental soil physics. Academic Press. San Diego, CA, USA.
40. Hussain, I.; K.R. Olson, y S.A. Ebelkhar. 1999. Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1335-1341
41. Ibañez, J. J. 2006. La Ecuación de los Factores de Estado de Jenny y Reformulaciones Posteriores (Conceptualización de los Geosistemas, Geoecosistemas y el Suelo).
42. Ingaramo, O.E.; Paz Ferreiro, J.; Miras Avalos, J.M.; Vidalvazquez, E. 2007. Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruna. Vol. 32, p. 127 – 137.
43. Isla, R. (2004). Efectos de la salinidad de los suelos sobre los cultivos de cebada (*Hordeum vulgare* L.). Análisis de caracteres morfo-fisiológicos y su relación con la tolerancia a la salinidad. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Salamanca. España, p.5-17.
44. ISO 10573:1995. La calidad del suelo - Determinación del contenido de agua en la zona no saturada.
45. ISO 11272:1998. La calidad del suelo - Determinación de la densidad de carga seca a granel.
46. ISO 11274:1998. La calidad del suelo - Determinación de la característica de retención de agua. Corrección1:2009.
47. ISO 11275:2004. La calidad del suelo - Determinación de la conductividad hidráulica no saturada y la característica de retención de agua - método de la evaporación de Wind.
48. ISO 11276:1995. La calidad del suelo - Determinación de la presión del agua de los poros.
49. ISO 11277:2009. La calidad del suelo - Determinación de la distribución de tamaño de partículas de material mineral del suelo - Método de tamizado y sedimentación.

50. ISO 11461:2001. La calidad del suelo - Determinación del contenido de agua del suelo como una fracción de volumen de extracción de muestras usando mangas - Método gravimétrico.
51. ISO 11508:1998. La calidad del suelo - Determinación de la densidad de las partículas.
52. ISO 16586:2003. La calidad del suelo - Determinación del contenido de agua del suelo como una fracción de volumen sobre la base de conocer la densidad aparente en seco - Método gravimétrico.
53. ISO 17312:2005. La calidad del suelo - Determinación de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados con un permeámetro pared rígida.
54. ISO 17313:2004. La calidad del suelo - Determinación de la conductividad hidráulica de materiales porosos saturados con un permeámetro pared flexible
55. Kabata-Pendias, A. (2000). Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 413.
56. Karlen, DL; MJ Mausbach; JW Doran; RC Cline; RF Harris & GE Schuman. (1996). Soil Quality; concept, rationale and Research Needs. *Soil Science Society of America, Committee*.
57. Kay, BD. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 12:1-52.
58. Kribaa, M., V. Hallaire, P. Curmi, and R. Lahmar. (2001). Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil Tillage Res.* 60:43-53.
59. Lado, M.,A. Paz, and M.Ben-Hur. (2004). Organicmatter and aggregate size interactions in infiltration, soil formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 935-942.
60. Liebig, M. A., D. L. Tanaka, and B. J. Wienhold. (2004). Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Tillage Res.* 78: 131-141.

61. Lilburne, I; G Saprling & y Schipper. (2004). Soil quality monitoring en New Zealand development of an interpretative framework. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104: 533-544.
62. Logsdon, SD; TC Kaspar y CA Cambardella. 1999. Depthincremental properties under no-till or chisel management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63(1):197-200.
63. Lorenz (1969); Lorenz P.B. (1969). Surface conductance and electrokinetic properties of kaolinite beds. *Clays and Clay Minerals* 17, 223–231.
64. Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté. UNAM, México. p.72-50.
65. Mayer, L. and B. Xing. (2001). Organic matter–surface area relationships in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 250-258.
66. Martin, C.W. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena* 39, 53-68.
67. Melich, A. 1984. Melich 3 soil test extractant: A modification of the Melich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409-1416.
68. Moroizumi, T. and H. Horino. (2004). Tillage effects on subsurface drainage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1138-1144.
69. NCh2060.Of1999 “Suelos – Calidad de suelos - Muestreo para análisis de fertilidad”.
70. Nemeth, K. 1979. The availability of nutrients in the soil as determined by eletroultrafiltración (EUF). *Adv. Agron.* 31:155-188.
71. NMX-AA-091-1987 “Calidad del Suelo – Terminología”.
72. NMX-AA-025-1984, “Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos - Determinación del ph - método potenciométrico”.
73. NMX-AA-024-1984, “Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de nitrógeno total”, entre otras varias.
74. Norma Argentina IRAM 50-1:1992, basada en la guía ISO/IEC 2:1991, “Calidad de los suelos”.

75. Norma Colombiana. NTC 4880-1 "Calidad de suelos", que establece parámetros de calidad para suelos de cultivos.
76. Norma Cubana. N.C. 33:1999. "Calidad del suelo. Requisitos generales para la clasificación de los suelo.
77. Norma Venezolana. COVENIN 0113:1998, "Suelos, calidad y acondicionamiento. Fertilizantes enmiendas y acondicionadores de suelos. Definiciones".
78. NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
79. Ochoa, G.; Jaimes, E. J.; Manrique, J.; Oballos, J. 2004. Relación entre el material parental y el pH de los suelos en los Andes venezolanos. Revista geográfica venezolana, ISSN 1012-1617, Vol. 45, Nº 2, 2004 , p. 281-288.
80. OECD. (1991). Environmental Indicators: A preliminary Set, OCDE, Paris. Personal Laboratorio Salinidad. 1982. Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Limusa, Mexico. 172 pp.
81. Olsen, J. K., y DJ. Lyons. 1994. Petiole sap nitrate is better than total nitrogen in dried leaf for indicating nitrogen status and yield responsiveness of capsicum in subtropical Australia- Australian J. of Exp. Agric. 34:835-843.
82. Or, D. and T. A. Ghezzehei. (2002). Modeling post-tillage soil structural dynamics: a review. Soil Tillage Res. 64: 41-59.
83. Otalvaro, I. F.; Cano, C. A.; Osorio, R.; Hincapie, J. E. 2004. Efecto de la meteorización en las propiedades dinámicas de un suelo gabroico. Geología, 57(3): 15-22.
84. Pachepsky, Y. and A. Rawls. (1999). Accuracy and reliability of pedotransfer function as affected by grouping soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1748-1757.
85. Pachepsky, Y., A. Rawls, and J. Gimenez. (2001). Comparison of soil water retention at field and laboratory scales. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 460:462.
86. Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V., Toro, L. 2004. Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series. Environmental Pollution, 132, pp. 189-201.

87. Pagliali, M., N. Vignozzi, and S. Pellegrini. (2004). Soil structure and effect of management practices. *Soil Tillage Res.* 79: 131-143.
88. PAN-003-2006 Norma Peruana que establece la "Calidad ambiental de suelos para diversos usos"
89. Perdomo, C. (2005). Calidad de las aguas y su relación con los sistemas agrícolas. *Ing. Agric.* 15(2):87-95.
90. Petersen, W., P. Moldrup, H. Jacobsen, and D. Rolston, (1996). Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. *Soil Sci.* 161: 9-20.
91. Pineda, H. R. 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de *Glomus Intraradices* en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus L.*) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima.
92. Porta, J.; Lopez, M., Acevedo, R. 2003. Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. Edición 3. Ed. Mundi Prensa, España. p. 139.
93. Qian, P., J.J. Schoenau. y W.Z. Hang. 1992. Use of ion exchange membrane in routine soil testing. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23:1791-1804.
94. Qian, R, J.J. Shoenau, K.J. Greer y Z. Liu. 1996. Assessing plant available potassium in silt using cation exchange membrane on routine soil testing. *Can. J. Soil Sci.* 76:191-194.
95. Rivera, M. M.; Milanés, M.; Ramos, R. 2005. Métodos de control de las principales plagas, enfermedades y malezas en *Calendula officinalis L.* *Rev Cubana Plant Med* 2005; 10(1):32-39.
96. Rondón, C.; Elizalde, G. 2007. Procesos pedogenéticos en un modelo de sistema suelo, formado por nueve subsistemas. *Venesuelos* 2(1):32-36.
97. Sadras, VO; GJ O'Leary & DK Roget. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Res.* 91 (2 y 3):131-148.

98. Sauquillo, A., Rigol, A. y Rauret, G. 2003. Overview of the use of Leaching Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, pp. 152-159.
99. Sauve, S., W. Henderson, and H. E. Allen. 2000. Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environ. Sci. Technol.* 34:1125–1131.
100. Schoenau, J.J. y W.Z. Hang. 1991. Anion exchange membrane, water and sodium bicarbonate extraction as tests for phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 22:465-492.
101. Segnestam, L. (2002). Indicators of Environmental and Sustainable Development. Theories and Practical Experience, *Environmental Economic Series*, Paper N° 89, 61 pp. World Bank, Washington DC.
102. Seguel, O.; Orellana, I. 2008. Relation between soil mechanical properties and pedogenetic processes and use intensity. *Agrosur*, 36(2): 82-92.
103. Seoáñez Calvo M, 1999. Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada al Medio Natural Continental Mundi-Prensa, México. Pág. 60, 181y 290
104. Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agriculture Handbook N° 436. United States of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Second edition, 869 p., Washington, D.C.
- 105.** Soil Survey Staff, keys to soil Taxonomy. United States Department of Agriculture and Natural Resources. Conservation Service. Washington, DC. Decima edición, 2006.)
106. Soltanpour, P.N. y A.P. Schwab, 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro-and micro-nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8:195-207.
107. Tisdale, S.L., W. L. Nelson, J.D. Beaton y J.H. Havlin. 1993. Soil Fertility and fertilizers. 5th Ed. Macmillan. New York.
108. Viets, F.G. 1980. Present status of soil and plant analysis for fertilizer recommendations and improvement of soil fertility p. 9-20. En: Soil and plant

- testing and analysis, PAO Soils Bull. 38/1. Food and Agric. Organ. Of the United Nations Rome, Italy.
109. Volveré, B.; Amézquita, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agron. (Palmira)* 58(1): 35-39.
 110. Warkentin, BP. (1996). Overview of soil quality indicators. Pp. 1-13. *In: GM Cohen & HS Vanderpluym (eds.). Proc. Soil Quality Assessment for the Prairies, Agric. Canada, Edmonton.*
 111. WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
 112. Yariv, S. and K. H. Michaelian. (2002). Structure and surface acidity of clay minerals. pp. 1-38. *In: S. Yariv and H. Cross (eds.). Organo-clay complexes and interactions. Marcel Dekker. New York, NY. USA.*
 113. Zárate, P.; Vargas, D. 2009. El concepto de suelo según el geólogo y el Ingeniero civil. Caso estudio: el subsuelo de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. *Ingeniería Geológica, Riesgo Geológico y Geotecnia.* 21(1):263-271.
 114. Zysset, E; Huber, O; Ferstl, E.; von Cramon, D. 2002. The anterior frontomedian cortex and evaluative judgment: an fMRI study. *NeuroImage* 15(4):983-991.
 115. Zysset, M., P. Blaser, J. Luster, and A.U. Gehring. 1999. Aluminum solubility control in different horizons of a podsol. *Soil Sci. So. Am. J.* 63: 1106-1115.

i. Referencias de internet

1. <http://edafologia.ugr.es/>.
2. <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/>
3. <http://www.elergonomista.com/fisiologiavegetal/relaciones.htm>
4. <http://people.civil.gla.ac.uk/~smart/sme/isotc190.htm> (consultada en Marzo 2010)
5. www.biologia.edu.ar/images/soil.gif
6. www.fagro.edu.uy/~huertas/suelo.html

7. www.deconceptos.com/ciencias-naturales/suelo
8. www.miliarium.com/.../Suelo.asp
9. www.madrimasd.org/blogs/univeso/2006
10. www.uclm.es/.../Prospeccion_geoquimica_1_1.htm