



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

ESCUELA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

***MANEJO DE SUELOS PARA UNA
AGRICULTURA SOSTENIBLE***

T E S I N A

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO HORTICULTOR

PRESENTA:

RAMIRO CRESCENCIO RAMÍREZ GUZMÁN

ENERO DE 2007

APATZINGÁN, MICHOACÁN, MÉXICO





**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
ESCUELA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

LA MESA DE SINODALES QUE REVISÓ LA

T E S I N A

TITULADA

**MANEJO DE SUELOS PARA UNA
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO HORTICULTOR

PRESENTA

RAMIRO CRESCENCIO RAMÍREZ GUZMÁN

A P R O B A R O N :

Presidente del H. Jurado

Sinodal

Sinodal

ENERO DE 2007

APATZINGÁN, MICHOACÁN, MÉXICO



A G R A D E C I M I E N T O S

A MIS ASESORES DE TESIS

M.C. MARIO FIGUEROA CÁRDENAS

ING. GABRIEL EDUARDO VEGA MÉNDEZ

DEDICATORIA

A MI PAPÁ:
Donaciano Ramírez Chávez (+)

A MI MAMÁ:
Concepción Guzmán Gómez.

A MIS HERMANOS:
Norma, Aarón, Miguel, Néstor, Beatriz y Othón.

A MI ESPOSA:
Reyna Corona Torres.

A MIS HIJOS:
Ramiro y Norma.

A MI PADRINO DE GENERACIÓN:
C. Jorge Luís Castañeda Castillo. ExPresidente Municipal de Apatzingán.

A MI PADRINO DE GRADUACIÓN:
C.P. Carlos Prado Duarte.

**A MIS APRECIABLES MAESTROS Y COMPAÑEROS DE LA ESCUELA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS:**

Í N D I C E

	Página
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	viii
Justificación	ix
Objetivos	ix
CAPÍTULO I	
REVISIÓN DE LITERATURA	
Relación de autores y obras consultadas	1
Marco Jurídico sobre los residuos orgánicos.	3
CAPÍTULO II	
MATERIALES Y MÉTODOS	5
CAPÍTULO III	
EL SUELO	
3.1 El suelo como recurso natural	6
3.2 El suelo como unidad de estudio	7
3.2.1 Factores formadores de un suelo	8
3.2.2 Procesos de alteración	8
3.2.2.1 Procesos de alteración física	8
3.2.2.2 Procesos de alteración química	10
3.2.2.3 Mecanismos de alteración química	11
3.2.3 Alteración de las rocas	12
3.2.4 Clasificación de las rocas	12
3.3 Organización del suelo	15
3.3.1 Perfil edáfico	15
3.3.2 Horizontes genéticos	16
3.3.3 Horizontes de transición	17
3.3.4 Horizontes mezcla	17
3.4 Génesis y evolución de los suelos	18
3.4.1 Procesos formadores de suelos	18
3.4.2 Indicadores climáticos	20
3.4.3 Factor biótico	20
3.4.4 Factor geomorfológico	21
3.4.5 Factor geológico	21
3.4.6 Factor tiempo	22
3.5 Procesos edafogenéticos	23
3.5.1 Adiciones	24
3.5.2 Pérdida de componentes	24
3.5.3 Componentes orgánicos del suelo	25
3.5.4 Sustancias húmicas	27
3.5.4.1 Naturaleza de las sustancias húmicas	28
3.5.4.2 Características de las sustancias húmicas	29
3.5.5 Tipos de humus	30
3.6 Propiedades principales de la materia orgánica	30
3.7 Propiedades físico-químicas del suelo	31

3.8 Aireación del suelo	37
3.9 Mecanismos de intercambio gaseoso	38
3.10 Propiedades físicas del suelo	39
3.10.1 Clases texturales	40
3.10.2 Análisis granulométricos	41
3.10.3 Concepto de densidad aparente	42
3.10.4 Estabilidad de los agregados	43
3.10.5 Porosidad	43
3.11 Propiedades hidrológicas del suelo	44
3.11.1 Tipos de agua	44
3.11.2 Distribución vertical	46
3.12 Métodos para la medida de la humedad y potencialidad	48
3.13 Dinámica del agua en el suelo	49
3.14 Clasificación de los suelos	50
3.14.1 Principios generales para la clasificación	51
3.14.2 Clasificación de la FAO/UNESCO	52
3.14.3 Características de la clasificación FAO/UNESCO	54
PROPUESTA Y RECOMENDACION	56
BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE CUADROS Y FOTOS

página

CUADROS

Cuadro 1	Clasificación general de los recursos naturales	7
Cuadro 2	Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en los procesos de mineralización y su disponibilidad	59

FOTOS

Foto 1	Esparcido del biosólido urbano líquido	56
Foto 2	Compostaje de biosólidos	61
Foto 3	Métodos de medición del esparcido orgánico en el suelo . . .	63

RESUMEN

La metodología y los instrumentos que se utilizaron en este trabajo parten de una recopilación bibliográfica para lo cual se revisaron documentos, folletos técnicos y libros relacionados al estudio sobre el manejo de suelos para una agricultura sostenible.

En la introducción se explican las prácticas agrícolas que han adoptado la mayoría de los productores en el municipio de Apatzingán, Michoacán, México, en donde algunos insumos que pudieran aprovecharse para la elaboración de compostas o vermicompostas se queman, por ejemplo los residuos de cosecha y material vegetal que crece de forma natural en las parcelas.

De igual forma, los estiércoles de los animales se entierran, queman o desperdician, convirtiéndose en contaminantes sólidos o líquidos del medio ambiente. Lo mismo sucede con los residuos de alimentos y animales en el hogar y en las industrias que no se aprovechan y simplemente se desperdician.

En la revisión de literatura se menciona autores como Muschler, R. G., (2002), Garro, J., (2000), Corlay, L., (1999); entre otros investigadores que han suscrito artículos científicos acerca de la incorporación de los residuos sólidos a los suelos agrícolas que previamente fueron procesados por medio de métodos de composteo y vermicomposteo.

Así mismo, se describen las propiedades de los suelos y su clasificación de acuerdo con FAO/UNESCO, (1991); con la finalidad de conocer su origen y metamorfosis físico-química, así como el comportamiento de la solución del suelo y los fenómenos que en él ocurren.

De igual manera, se hace referencia a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos publicada en el Diario Oficial de la Federación del 8 de Octubre de 2003, en donde se establece la normatividad

sobre el manejo de los mismos. Además se dan a conocer las modificaciones publicadas por el mismo diario el 22 de Mayo de 2006.

En el capítulo tercero se describen pormenorizadamente la clasificación y propiedades de los suelos considerados como la unidad de estudio. Enseguida se hace referencia a los procesos de alteración de los suelos y sus mecanismos describiéndose los tipos de rocas y agregados así como su perfil edáfico.

En la conclusión se propone el uso de abonos orgánicos procesados por métodos de composteo o vermicomposteo ya que por sus propiedades físico-químicas se consideran los más eficientes mejoradores de suelos.

De igual manera, se explican los procesos y componentes que transforman los desechos orgánicos en ricos fertilizantes fácilmente asimilables por las plantas, así como la manera de hacer compostas o vermicompostas .

Como recomendación final se propone realizar una serie de cambios legislativos en materia de manejo de los desechos orgánicos como es su recolección, transporte, procesamiento y reincorporación a los suelos del municipio de Apatzingán, Michoacán.

INTRODUCCIÓN

Es un hecho que las prácticas agrícolas que han adoptado la mayoría de los productores en el municipio de Apatzingán, Michoacán, México, se basa en la quema de los residuos de cosecha y material vegetal que crece de forma natural en las parcelas, de igual forma los estiércoles de los animales se entierran, queman o desperdician, constituyendo contaminantes sólidos o líquidos del medio ambiente. Lo mismo sucede con los residuos de alimentos y animales en el hogar y en las industrias.

Planteamiento del problema

El problema fundamental al que se enfrenta la humanidad en la actualidad es el incremento creciente de la población y la disminución progresiva en la producción de alimentos.

Esta problemática aún es más aguda en los países subdesarrollados y en especial en las naciones donde habitan millones de personas de escasos recursos, los cuales habitan en su mayoría en zonas rurales con suelos de baja productividad.

La aplicación de tecnologías agrícolas e industriales que han sido elaboradas en países de alto nivel de desarrollo, han generado altos volúmenes de residuos tanto agrícolas como industriales, que se han convertido en fuentes de contaminación para los suelos, mantos acuíferos, las plantas y el hombre.

Esta afectación en la ecología ha sido de alta significación en los países subdesarrollados de América Latina.

Justificación

Las tecnologías de desarrollo antes descritas también han generado insumos como los fertilizantes químicos, agrotóxicos y sustancias bioestimuladoras, que actualmente por su uso desmedido se han convertido en fuentes de contaminación para el hombre y la naturaleza.

El rescate de las tecnologías de producción orgánica puede darle solución a muchos de los problemas planteados, produciendo alimentos sanos sin contaminantes, recuperando los suelos degradados y aumentando la fertilidad de los mismos, así como brindándoles las tecnologías al productor para producir con menos costos, recuperando los suelos y eliminando la contaminación ambiental.

Objetivo

La sucesión de comunidades microbianas que se presenta en el desarrollo de un ecosistema integrado por residuos orgánicos-microorganismos-lombrices-ambiente es poco conocida.

Para aportar información de las alternativas de Manejo de Suelos para una Agricultura Sostenible, este trabajo tiene como objetivo recomendar el uso de los abonos orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo y obtener mayores rendimientos en los cultivos a menor costo.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

Muschler, R. G., (2002); haciendo sólo un acercamiento al concepto, define la sostenibilidad como el conjunto de prácticas que demuestran los compromisos del Ser Humano para producir y consumir de manera respetuosa los recursos (que son limitados), aprovechándolos en lo máximo para obtener beneficios y valores dentro de un consumo racional o ético en el presente y para un impacto positivo en el futuro.

Garro, J., (2000); manifiesta que la agricultura orgánica debe dejar de verse como un simple cambio en el que dejamos o reducimos la cantidad de agroquímicos y aumentamos el uso de las sustancias naturales. Sostiene que para desarrollar los sistemas de producción orgánica, se debe identificar con claridad el entorno, o sea la flora, entomofauna y la vida microbial; este proceso nos lleva a conocer aspectos tanto internos como externos en el manejo de las especies competidoras, microorganismos e insectos en su interrelación con los insectos, nemátodos y microorganismos que afectan a los cultivos.

Corlay, L., (1999); afirma que la sucesión de comunidades microbianas que se presenta en el desarrollo de un ecosistema integrado por residuos orgánicos-microorganismos-lombrices-ambiente es poco conocida. Para aportar información sobre la cinética de las comunidades microbianas, estimó el cambio de la abundancia en el tiempo y la sucesión de bacterias, actinomicetos y hongos, durante la producción vermicomposta en tres materiales de deshecho: paja de avena subproducto de la producción comercial del hongo *Pleurotus*, estiércol bovino de ganado lechero y desechos hortofrutícolas provenientes de un mercado.

Así mismo, Ferrera-Cerrato, R., (1999); evaluó la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nitrógeno (N) y azufre (S) durante el mismo. La paja mostró el mayor número de bacterias y hongos, los

deshechos hortofrutícolas presentaron el máximo número de actinomicetos y un número de bacterias cercano al de la paja, mientras que el estiércol presentó las menores poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos.

Echegaray, A., (1999); encontró que en general, el número de bacterias y hongos decreció respecto al tiempo, sólo los actinomicetos disminuyeron en paja y en deshechos hortofrutícolas y en el estiércol se incrementaron, por lo que no se pudo definir un esquema único de la sucesión microbiana.

Etchevers, Jorge. D., (1999); precisó que las vermicompostas presentaron menores poblaciones de actinomicetos (38 %) y hongos (58 %) que las compostas elaboradas con el mismo material. La cinética microbiana observada en el vermicomposteo de los materiales de deshecho pudo deberse al agotamiento paulatino de compuestos de fácil descomposición, al aumento relativo de compuestos de mayor complejidad estructural y a la formación de nuevas estructuras que a su vez sirvieron de sustrato en procesos posteriores de biodegradación.

Santizo, J. A., (1999); descubrió que los cambios también fueron consecuencia de interacciones de competencia por nutrientes y de depredación entre los organismos presentes en los residuos orgánicos. Las condiciones de pH, CE y temperatura permitieron la proliferación de determinadas poblaciones microbianas e inhibieron a otras.

Álvarez, R., (2002); comenta que es un hecho que las prácticas agrícolas que han adoptado la mayoría de los productores mexicanos se basa en la quema de los residuos de cosecha y material vegetal que crece de forma natural en las parcelas, de igual forma los estiércoles de los animales se entierran, queman o botan, constituyendo contaminantes sólidos o líquidos del medio ambiente; lo mismo sucede con los residuos de alimentos y animales en el hogar y en las industrias; por lo tanto recomienda el composteo y vermicomposteo de la materia orgánica con la finalidad de aprovechar esos insumos agrícolas que por lo regular se desechan.

FAO/UNESCO (1990); al principio intentó definir las diferentes clases de suelos a escala muy pequeña, aunque recientemente realizó una nueva revisión y se basa en un sistema de clasificación similar al anterior, pero con clasificaciones a escala mayor es una de las clasificaciones más aceptadas.

Marco jurídico:

El 8 de octubre de 2003 se publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos, cuyas últimas modificaciones fueron publicadas en el Diario Oficial el 22 de mayo pasado.

Esta ley, de carácter federal, regula el manejo de los residuos sólidos a nivel nacional. También incentiva y fomenta el reciclaje de los productos a través de los programas de manejo para cada residuo.

Aunque esta ley otorga facultades e incentivos a los estados y municipios para enfrentar el impacto de los residuos mediante una gestión integral, no resuelve dos de las principales responsabilidades que recaen en el gobierno local en materia de manejo de residuos: la recolección y el confinamiento.

Es precisamente este encargo el que compete a los municipios de acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Art. 115). Una adecuada reglamentación local resulta indispensable para enfrentar de forma adecuada este reto.

En el QUINTO artículo transitorio de la Última Reforma a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos, DOF 22-05-2006, se establece que los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, deberán expedir y, en su caso, adecuar sus leyes, reglamentos, bandos y demás disposiciones jurídicas.

La utilización de los materiales orgánicos para la creación de composta puede remediar muchos de los problemas relacionados con los residuos. Por un lado, el resultado del proceso de composteo produce un rico nutriente para los cultivos y para los suelos.

En algunos municipios del país ya se empiezan a generar proyectos relacionados con la composta. Estos proyectos se plantean de forma mixta en donde los propios agricultores puedan participar en conjunto con organizaciones de la sociedad civil, Instituciones educativas y el Gobierno local en la creación de compostas para posteriormente utilizarlas en cultivos.

En esos lugares, las vermicompostas, o composta de lombrices, están resultando aún más efectivas debido a su rápido procesamiento y a su nivel de efectividad en los cultivos, además de ser benéficas para los cultivos orgánicos.

CAPÍTULO II

Materiales y Métodos

Los recursos metodológicos que se utilizaron para la elaboración de este trabajo, fueron a partir de la investigación bibliográfica, recurriendo a documentos, libros y folletos relacionados al tema, realizando además una breve recopilación hemerográfica. Así mismo, se incluye información que se obtuvo a través de sitios WEB relacionados al estudio de manejo de suelos para una agricultura sustentable.

La información fue procesada, clasificada y analizada para su discusión y conclusión. Para ello se utilizó material de papelería, una computadora con conexión a Internet con puerto periférico para impresora, enseres de oficina, libretas para hacer anotaciones y formular resúmenes. la información recabada se sistematizó metodológicamente con el formato de tesina, teniendo como resultado final el presente documento.

CAPÍTULO III

EL SUELO

3.1 El suelo como recurso natural

Un recurso natural es cualquier bien capaz de suministrar a su poseedor alguna utilidad o beneficio, en términos económicos o en términos de bienestar. Existen distintos criterios de valoración que supone que existan a su vez varios tipos de recursos; considerando que el funcionamiento de la Tierra es cíclico, pensemos en dos tipos de ciclos:

- a) Ciclos biológicos: la duración de los mismos nos la proporciona el participante más longevo.
- b) Ciclos geológicos: la duración de los mismos es de millones de años.

Debido a estos dos tipos de ciclos aparecen dos tipos de recursos en la Tierra:

- a) Recursos renovables: aquellos que se pueden renovar en un período de tiempo adecuado a escala humana, a su expectativa de vida.
- b) Recursos no renovables: aquellos ligados a ciclos biológicos de muchos millones de años, por lo que no son renovables a escala humana.

En el Cuadro 1 se observa que existen varios grupos de recursos naturales en los que se encuentran los recursos edáficos, los cuales están clasificados como del tipo de suelos para la producción agrícola, en donde se pueden establecer cultivos para alimento humano y ganadero así como bosques o plantas para la obtención de maderas y fibras naturales.

La calidad del suelo es definida como la capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo y es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades para estimar la capacidad del suelo.

Cuadro 1 Clasificación general de los recursos naturales

Grupos	Tipos	Uso/Ejemplo
Recursos minerales	Minerales metálicos	Industria del metal/Blenda (ZnS)
	Minerales industriales no metálicos	Cerámica/Caolinita
	Rocas industriales	Construcción/Arena, grava y yeso
Recursos energéticos (no renovables)	Combustibles fósiles	Vehículos, aviones, etc/Petróleo Centrales térmicas/Carbón
	Combustibles nucleares	Centrales nucleares, usos militares/Uranio
Recursos energéticos dinámicos (renovables)	Energía geotérmica	Centrales eléctricas
	Biomasa	
	Energía eólica	
	Energía hidráulica	
	Energía mareal	
Recursos hidrológicos	Aguas superficiales	Abastecimiento humano, agricultura, industria, refrigeración de centrales eléctricas, etc.
	Aguas subterráneas	
Recursos geotécnicos	Soporte estable y manejable de construcción local o lineal	Edificios, presas, carreteras, ferrocarriles
Recurso edáficos	Suelos de producción agrícola	Cultivos para alimento humano o ganadero, para bosques o plantas de producción de fibra
Recursos culturales y científicos	Sitios singulares	Parque Nacional de Timanfaya
Paisaje		Recreación, turismo, etc.

3.2 El suelo como unidad de estudio.

Un suelo es el resultado del equilibrio entre las formas y materiales geológicos y los agentes que actúan en el exterior (exógenos) en un tiempo determinado. Tales resultados tienen su inicio en la edafogénesis, o proceso de formación del suelo.

El material se altera y se regenera principalmente por gravedad. El material se ordenará formando un perfil edáfico compuesto por distintos horizontes paralelos entre sí y a la superficie del terreno. Una vez que el perfil se ha formado llegaremos a un estado de equilibrio dinámico apareciendo el suelo clímax.

3.2.1 Factores formadores de un suelo

1. Roca original.
2. Clima.
3. Vegetación.
4. Tiempo (a mayor tiempo, mayores posibilidades de alteración).

3.2.2 Procesos de alteración

Por alteración (meteorización o intemperización) entendemos la transformación total o parcial con o sin conservación de volumen de las rocas, los minerales de las rocas, formaciones superficiales previas, etc. al entrar en contacto con la atmósfera. Es un proceso previo a la edafogénesis pero no único.

La roca en contacto con la atmósfera, biósfera o hidrósfera sufre meteorización, que provoca:

- 1) Residuos (trozos de roca original).
- 2) Minerales heredados.
- 3) Minerales transformados.
- 4) Minerales neoformados.
- 5) Materiales solubles, que pueden perderse por procesos de lavado o se incorporan al suelo.

Todos estos materiales entran a formar parte en el proceso de formación del suelo.

3.2.2.1 Procesos de alteración física

Provocan la disgregación mecánica de la roca asociada a una disminución de volumen de la misma, pero sin variación de la composición mineral. Provocan por tanto roturas en los minerales de las rocas debidas a dos tipos de tensiones:

- Endocinéticas: fuerzas generadas dentro de la propia roca. Hay varios tipos:

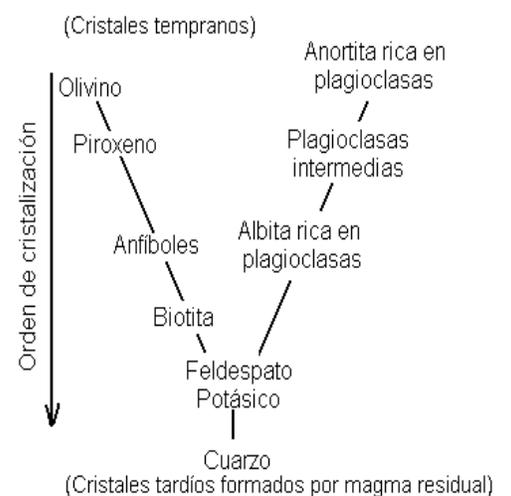
- 1) Descarga: se elimina material de la superficie de la roca por erosión, disminuyendo la presión sobre las rocas subyacentes. Tal disminución de la presión puede provocar la expansión y con ello producirse diaclasas y fracturas (sistemas de grietas paralelas a la superficie. Común en granitos).
- 2) Termoclastia: fracturación de la roca por cambios climáticos, en general diarios (calor del día y frío de la noche). Así, en los desiertos se descascarillan las rocas.

- Exocinéticas: fuerzas generadas fuera de la roca. Hay varios tipos:

- 1) Saturación por agua: importante en arcillas expansivas. Cuando recogen agua la expansión provoca la disgregación del mineral/roca en partículas. Esto genera erosión.
- 2) Crioclastia o cristalización del agua intersticial: congelación del agua entre los poros y fisuras, actuando a modo de cuña. Puede provocar la fracturación de bloques a gran escala o la disgregación de la roca a escala microscópica.
- 3) Cristalización de sales: proceso similar a la crioclastia que genera tensiones a escala microscópica.
- 4) Efecto mecánico de animales o plantas: son las raíces de los árboles, madrigueras de animales, etc. que pueden provocar la disgregación del material.

3.2.2.2 Procesos de alteración química

Se generan componentes minerales distintos a los originales. Dependen de la temperatura y la precipitación. La roca adopta sus componentes a nuevas condiciones de la atmósfera y la hidrósfera.



Es fundamental para la formación del suelo ya que libera elementos cristalizados que reaccionan con componentes del suelo.

En general, está caracterizada porque hay transformaciones que afectan a la composición química y mineralógica mediante reacciones sencillas, exotérmicas e irreversibles en su mayoría que producen nuevos compuestos así como compuestos intermedios entre el original y el final.

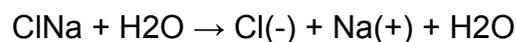
La producción de nuevos materiales depende del tipo de roca original, de la estabilidad de los minerales y de las condiciones del medio en que ocurre la alteración. La estabilidad de los minerales depende del orden de cristalización dado por la serie de Bowen.

La alteración química también depende del tipo de enlace químico existente en los minerales así como de sus características. Según su estabilidad decreciente ante los procesos de alteración química tenemos que: enlaces covalentes>iónico>metálico>puentes de H>fuerzas de Van der Waals.

También depende de las condiciones del medio, siendo las más importantes las de humedad (a mayor humedad, mayores procesos de alteración). Así, por ejemplo, el yeso o la caliza (muy solubles) son más estables en zonas áridas.

3.2.2.3 Mecanismos de alteración química

1) **Disolución:** afecta a las rocas y minerales compuestos por sales solubles (yeso, halita, caliza, etc). Depende del pH del medio, de la temperatura y de la cantidad de agua:



2) **Hidratación/deshidratación:** incorporación o salida de moléculas de agua de la estructura cristalina. Tendremos con ellas un mineral distinto en

su estructura pero no en su composición, provocando además un aumento del volumen que tiene como efecto una disgregación mecánica del mineral:



3) **Hidrólisis:** reacción de una sal con agua para dar lugar a un ácido y una base. Afecta a minerales de tipo silicatado (aluminosilicatos) que se comportan como sales débiles, resultando productos bastante inestables como lo son las arcillas de neoformación.

4) **Carbonatación/decarbonatación:** afecta a casi todo tipo de rocas, sobretodo a las carbonatadas.



5) **Oxidación/reducción:** afecta a los elementos que pueden presentar varios estados de valencia u oxidación (Mn, Fe, S, etc.). Se presentan en forma reducida en las rocas y sedimentos marinos (de tipo estuario) pero se oxidan en contacto con la atmósfera y se generan hidrogeniones que acidifican el pH del medio. Se produce un incremento del volumen del 22%.

3.2.3 Alteración de las rocas

En general se encuentra muy controlada por la porosidad y permeabilidad de la roca, lo que marca la cantidad de agua que entra y provoca el lavado de los elementos constituyentes. La **porosidad** viene expresada por el volumen de los huecos ocupados por el aire en relación con el volumen total de la roca. Normalmente se expresa en %, existiendo varios factores que determinan la porosidad:

- La forma de los granos.
- La disposición de los granos.
- La clasificación de los granos.

La **permeabilidad** es la porosidad eficaz, la cantidad de esos huecos que están interconectados entre sí y permiten que el agua circule por ellos.

3.2.4 Clasificación general de las rocas

Rocas sedimentarias: Formadas por la compactación de los sedimentos, se organizan en estratos y se distinguen:

- Clásticas: areniscas y conglomerados.
- Origen orgánico: carbón y calizas.
- Origen químico: calizas, sales, etc.

a) Las areniscas: se generan a partir de sedimentos lavados por lo que al final queda cuarzo. Su alteración se produce por la disolución del cemento quedando los granos sueltos. Las de origen calcáreo tienen una disolución importante del cemento pero las de cuarzo que se disuelvan. Las formadas por óxidos de hierro presentan la movilidad de este metal por todo el perfil de hidratación.

b) Las ortopizarras dan minerales de la arcilla común muy orientados. El proceso de alteración es muy alto en la superficie ya que presentan grietas y muy bajo en profundidad. Están formados por la compactación de limos y arcillas, por lo que presentan muy baja permeabilidad.

c) Las calizas: son afectadas por la disolución del carbonato cálcico. No son solubles por si solas, pero sí en presencia de agua y CO_2 . Son secundariamente porosas por fracturación, lo que genera paisajes cársticos. En algunos casos las arcillas porosas experimentan disoluciones máximas.

Rocas ígneas: Hay dos tipos:

- Extrusivas: salen al exterior y cristalizan. También se llaman volcánicas (Olivino).
- Plutónicas: se forman en profundidad (Granito).

Las rocas volcánicas se enfrían más rápidamente, teniendo por tanto una estructura cristalina menos estable. Las plutónicas se enfrían más lentamente y como consecuencia su estructura cristalina es más estable. Químicamente se diferencian en:

- Rocas ácidas: más estables por tener una mayor proporción de Sílice.
- Rocas intermedias: algo menos estables.
- Rocas básicas: son las menos estables debido a que su contenido en Sílice es mucho menor.

a) Granitos: son rocas ácidas compuestas por cuarzo, feldespatos y micas, con cristales bien consolidados. Son afectados por los procesos de alteración mecánica (descarga). La alteración química no afecta a los cristales de cuarzo, pero los feldespatos pasan a caolinitas y las micas a minerales de la arcilla, por lo que al final tenemos una disgregación del granito en la que solo queda cuarzo. Este proceso se llama arenización o arenización.

b) Basaltos y Andesitas: son rocas intermedias y básicas, volcánicas de grano muy fino. Se encuentran muy consolidadas por lo que la alteración es a favor de fracturas o grietas, quedando al final minerales de la arcilla y óxidos de hierro.

Rocas metamórficas

Creadas a partir de rocas ígneas o de sedimentos gracias a la presión y la temperatura. Los minerales se presentan muy orientados como consecuencia de la presión, por lo que las rocas metamórficas presentan esquistosidad.

a) Gneis: formado por cristales de grano grueso entre los que se encuentran el cuarzo, feldespatos, micas y granates. En las etapas finales de la alteración queda el cuarzo mientras que los otros minerales pasan a ser minerales de la arcilla. No presentan esquistosidad.

b) Esquistos: como producto final de la alteración aparecen minerales de la arcilla. Se favorece la alteración mecánica, sobretodo la crioclastia. Presentan esquistosidad.

c) Mármoles: formados a partir de caliza metamorfozada. Presenta procesos de disolución del carbonato cálcico, es decir, de carbonatación. No presenta esquistosidad.

d) Cuarcitas: se alteran muy poco. Están formadas por cemento de sílice y cuarzo. Si se altera aparece la disolución del cemento y los granos de cuarzo, lo que es muy difícil que ocurra sin elevadas temperaturas, mucho tiempo y elevada pluviosidad.

3.3 Organización del suelo.

3.3.1 Perfil edáfico

El suelo se distribuye en la vertical por acción de la gravedad y es un sistema abierto en el que aparecen tres fases de la materia:

1) Fase sólida: formada por los agregados minerales y la materia orgánica que interacciona con los minerales. Se distinguen: materiales orgánicos e inorgánicos.

2) Fase líquida: existen poros que pueden estar rellenos de agua, con iones en disolución o en suspensión.

3) Fase gaseosa: de composición similar al aire atmosférico salvo en aquellas zonas en las que la actividad de los organismos libera CO₂. Por eso es bueno airear el suelo (eliminamos el exceso de CO₂).

Si rellenos todos los poros con agua tendremos condiciones reductoras, por lo que los organismos presentes serán anaerobios y aparecerá

la muerte de las raíces de las plantas. En un suelo normal, el 50% se corresponde con la fase sólida, el 25% con la gaseosa y el otro 25% con la líquida. De la fase sólida el 95% se corresponde con la materia mineral y el resto con la materia orgánica.

En el perfil de un suelo observamos los distintos materiales según sus propiedades y los clasificamos según varias características:

- Color.
- Propiedades morfológicas (textura, estructura, etc.).
- Propiedades asociadas (plasticidad, adherencia, dureza, etc.).

Para distinguir estos horizontes debemos observar los procesos principales que han formado el suelo. Estos son:

- **Eluviación:** movilización, transporte y pérdida de los materiales. Corresponde a los horizontes superiores, más superficiales.
- **Iluviación:** representa la inmovilización y acumulación de sustancias en otras zonas del suelo. Corresponde a horizontes subsuperficiales.

El agua es el vehículo de transporte de los materiales. Siempre que haya eluviación no tiene porqué darse la iluviación, pero el hecho de que aparezca iluviación indica que han tenido que darse procesos de eluviación.

3.3.2 Horizontes genéticos

Son los distintos horizontes de los que se compone un suelo. Tenemos horizontes principales que se nombran con una letra mayúscula a la que se le añade una letra minúscula que indica el proceso que ha originado el horizonte. También se utilizan números para indicar su posición dentro del suelo.

Horizontes principales

- **H (histos):** son acumulaciones de materia orgánica sin descomponer (más de 20-30% de materia orgánica) en un medio saturado en agua durante la mayor parte del tiempo. Este material se conoce como turbas.
- **O (orgánico):** capa de hojarasca asociada a los bosques que no interacciona con la materia inorgánica.
- **A:** horizonte mineral oscurecido por aporte de materia orgánica. Se forma bajo el horizonte O. Es uno de los más superficiales y de color oscuro como consecuencia de la materia orgánica.
- **E:** horizontes de eluviación. Horizonte mineral muy lavado, de colores claros.
- **B:** zona de iluviación. Horizontes minerales superficiales ya formados en el suelo por enriquecimiento en arcillas, óxidos de hierro, etc. Colores marrones, rojizos, etc. Es uno de los horizontes donde mejor se desarrollan las estructuras (prismáticas, cúbicas, etc.).
- **C:** material original afectado solo por la meteorización, antes de que se produzcan los procesos edáficos.
- **R:** roca mineral sin disgregar (roca dura).

3.3.3 Horizontes de transición

No sabemos cuando se produce el cambio de un horizonte a otro. Se nombra combinando las letras de los dos horizontes afectados.

3.3.4 Horizontes mezcla

Aparecen cuando dentro de un horizonte tenemos restos de otro claramente identificable.

Subíndices principales

- **p:** horizonte labrado, generalmente asociado al horizonte A.
- **h:** procede de la palabra humus, una acumulación importante de materia orgánica. Se produce tanto en horizontes A como en B, de color oscuro.
- **w (weathering = meteorización):** horizonte donde se han producido procesos de alteración importantes. Generalmente asociado al horizonte B, lo que nos indica que existen arcillas formadas in situ. Colores pardos y rojizos. Se desarrollan muy bien estructuras edáficas.
- **t:** asociado a procesos de translocación. Indica una acumulación importante de arcillas mediante la iluviación. Asociados a horizontes B.
- **k:** acumulación de carbonatos. Frecuentemente asociados a horizontes B y C.
- **y:** acumulación de yeso.
- **z:** acumulación de sales más solubles que el yeso como NaCl, y KCl. Asociados a horizontes B.
- **s:** acumulación de sesquióxidos (óxidos e hidróxidos de Fe y Al). Asociado a horizontes B, muestra colores rojizos.
- **m:** cementación. Asociado a otras siglas (por ejemplo Ckm: cementación debida una acumulación de carbonatos).
- **g:** aparecen manchas oscuras embutidas en una masa rojiza debida a la reducción del Fe.
- **r:** condiciones de reducción muy fuerte, más que en el anterior. Masas de colores grisáceos que indican la presencia de condiciones reductoras.

3.4 Génesis y evolución del suelo

3.4.1 Procesos formadores de suelos.

En el suelo existe un equilibrio dinámico con la atmósfera, la biósfera y la litósfera. A partir de una roca original y mediante un proceso de alteración, aparecen transformaciones del material además de la creación de nuevas sustancias.

Todos estos nuevos materiales se organizan para dar lugar a un perfil edáfico. Hay varios factores formadores de un suelo:

- Factor geológico: influenciado por el tipo de roca y su grado de alteración.
- Factor geomorfológico (topografía): influenciado por el relieve, la pendiente y la geomorfología que se haya desarrollado.
- Factor biótico: influenciado por el tipo de vegetación que tengamos, por la fauna y la actividad humana.
- Factor climático: influenciado por la temperatura, la humedad y el viento.
- Factor tiempo: debe haber tiempo suficiente para que se de la evolución de los materiales.

Se pueden hacer secuencias del suelo en relación a cada uno de estos factores, dependiendo de cual de ellos varíe:

- Tiempo: cronosecuencias.
- Geología: litosecuencias.
- Geomorfología: toposecuencias o catena.
- Factor biótico: biosecuencias.
- Clima: climosecuencia.

Factor climático: Factor determinante ya que regula el aporte de agua al suelo, así como la temperatura:

- La humedad es muy importante en los procesos de hidrólisis y en los de disolución.
- La temperatura marca la velocidad de las reacciones químicas.

3.4.2 Indicadores climáticos

- Contenido en materia orgánica: existe una relación directa entre el contenido de materia orgánica y las precipitaciones, de modo que al aumentar las precipitaciones lo hace el contenido de materia orgánica. Sin embargo, a elevadas temperaturas disminuye el contenido en materia orgánica.
- Contenido en arcillas: cuando existen elevadas precipitaciones existe una mayor presencia de arcillas. Del mismo modo, al aumentar la temperatura lo hace la formación de arcillas de modo exponencial.
- Mineralogía de las arcillas: depende de la alteración. A elevadas precipitaciones y temperaturas aparece la caolinita, mientras que si las precipitaciones aumentan drásticamente aparecen óxidos de Fe y Al.
- Color del suelo: a un mayor número de precipitaciones, el suelo es más rojizo.
- Contenido en CaCO_3 : al aumentar las precipitaciones disminuye su concentración como consecuencia del lavado.
- Grado de alteración mineral: elevadas temperaturas y precipitaciones se traducen en una mayor meteorización. Una roca queda reducida a cuarzo y arcillas procedentes de los minerales originales alterados.

3.4.3 Factor biótico

- Fauna: removilización y alteración de suelos debido tanto a una variada gama de animales excavadores (marmotas, ratones, lombrices, etc) como no excavadores (larvas de insectos, colémbolos, nemátodos y ácaros).

- Hombre: acción indirecta como la destrucción o alteración vegetal.
- Vegetación: sirve como protección frente a la erosión, favorece la alteración de la roca, sintetiza materia orgánica, cohesiona las partículas y actúa como filtro ante la lluvia, la luz y el viento.

3.4.4 Factor geomorfológico

El transporte del material se realiza pendiente abajo, dándose procesos de erosión en las zonas altas y procesos de acumulación en zonas bajas (valles). Aparece una secuencia predecible de materiales a lo largo de la ladera:

- En las zonas altas los suelos se encuentran poco desarrollados, son suelos de tipo residual.
- En la media ladera tenemos un transporte y lavado continuo del material.
- En la zona de ruptura de la pendiente aparece el depósito de todo el material arrastrado.
- En el pie de la ladera aparecen suelos acumulativos muy desarrollados, donde abunda el material más fino.
- En zonas con relieves convexos, el agua circula hacia lugares cóncavos y es ahí donde se deposita el material.
- En las zonas altas se produce una infiltración vertical importante, mientras que en las zonas bajas no suele aparecer.

La misma cantidad de rayos solares cubren áreas de suelo diferentes como resultado de la inclinación, por lo que las distintas áreas se calentarán de distinto modo. Además de la inclinación también influye la orientación de la ladera, así las zonas con orientación Sur (solana) tienen más cantidad de luz y con un mayor poder calorífico, por lo que se produce una alteración de la materia orgánica muy rápida.

En zonas con orientación Norte (umbría), la temperatura es menor, por lo que aparece más vegetación que favorece los procesos de eluviación e iluviación.

3.4.5 Factor geológico

En general, la roca representa la fuente mineral que se incorporará y formará parte de un suelo. Hay varias características de la roca que influyen en el tipo de suelo que se formará, como lo son la composición mineralógica, la permeabilidad y la granulometría.

3.4.6 Factor tiempo

Para la formación de un suelo existen diversos procesos ocasionados por distintas velocidades según el tiempo de desarrollo. En general, la velocidad de formación de un suelo es muy lenta, por lo que si se pierde un suelo es prácticamente irrecuperable a una escala temporal humana.

Suelos con un material suelto e inestable se desarrollan antes que los que tienen un material compacto y estable (1mm/año frente a 0.001 mm/año). En un gráfico de evolución del suelo apreciamos que en los primeros momentos tenemos un desarrollo más rápido.

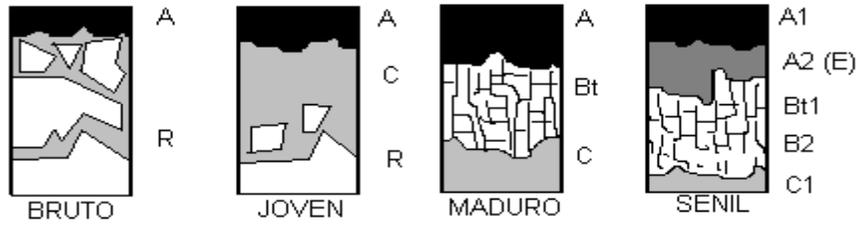
La formación de un suelo se acelera por el clima (humedad, elevadas temperaturas y precipitaciones), por la presencia de vegetación, la permeabilidad del suelo (mejor en suelos sueltos) y topografías planas.

Con el tiempo conseguiremos un mayor desarrollo y diferenciación de los horizontes.

- Las propiedades asociadas a los horizontes A es la presencia de materia orgánica. Se estabiliza aproximadamente entre los 200-100.000 años.
- En los horizontes B aparece la génesis de la arcilla, lavado de carbonatos y eluviación, que son procesos muchos más lentos que los que aparecen en los horizontes tipo A (el desarrollo de los horizontes A es mucho más rápido que el de los horizontes B).

- En los horizontes K aparece la acumulación de carbonatos, siendo tal acumulación favorecida con el transcurso del tiempo, lo que hace que se encuentren a mayor profundidad.

El tipo de desarrollo de un suelo permite analizar el grado de evolución de un suelo:



- Bruto: sin desarrollo.
- Joven: desarrollo del horizonte C.
- Maduro: desarrollo del horizonte Bt, con formas prismáticas.
- Senil: desarrollo del horizonte E debido a un mayor lavado.

3.5 Procesos edafogénicos.

Los procesos de alteración estudiados en el tema anterior tienen como función preparar la roca original para que reaccione con la materia orgánica y se desarrolle el suelo. Los procesos edafogénicos tienen lugar dentro del propio suelo y son responsables de la adquisición de la identidad del mismo.

La actuación de las raíces, el hielo, etc. es continua durante el desarrollo del suelo, pero también hay otros procesos como son:

- Adiciones.
- Transformaciones.
- Translocaciones.
- Pérdidas.

3.5.1 Adiciones

- **Incremento de la materia orgánica** directamente relacionado con la presencia de vegetación, lo que será responsable del oscurecimiento de los horizontes superficiales.
- **Aporte directo del material** por medio de los ríos (acumulación en terrazas), coluviones por gravedad, procesos eólicos o aportes humanos (suelos desarrollados sobre restos de basura, etc.).
- **Aporte de agua**, esencial para la mayoría de los procesos. El agua puede provenir de la superficie, del nivel freático o de las precipitaciones.
- **Aporte de O₂**, que condiciona la aireación del suelo. El oxígeno está relacionado con los procesos redox que intervienen en la formación del suelo.

3.5.2 Pérdida de los componentes

Se produce de varias maneras:

- **Lixiviado**: se produce la migración continuada de un elemento del suelo. En general tenemos un lavado del componente en todo el perfil, por lo que acabará abandonándolo por completo.
- **Erosión**: se produce en los horizontes superficiales (A, E) quedando truncado el perfil del suelo. Más tarde evoluciona como un nuevo suelo mediante procesos de formación distintos dependiendo de la temperatura, humedad, et.
- **Evaporación**: supone la pérdida de ciertos componentes gaseosos.
- **Pérdida de CO₂**: se produce por la mineralización de la materia orgánica. Como consecuencia la posibilidad de que se disuelvan los carbonatos disminuye.

3.5.3 Componentes orgánicos del suelo

Los suelos minerales se forman a partir de materiales sin materia orgánica, pero posteriormente se incorporará y tendrá un papel importante aun siendo un componente minoritario. Aparecerá en mayor o menor medida en todos los suelos. Interviene de forma activa en la formación del suelo, condiciona su comportamiento en relación con las plantas y microorganismos del suelo ya que tiene gran influencia en el movimiento y almacenamiento del agua, influye en el intercambio catiónico y además es una fuente importante de nutrientes.

Dentro de la materia orgánica de un suelo se distingue:

- **Materia orgánica no humificada:** compuesta por la biomasa animal y vegetal que se transforma por la actividad microbiana.
- **Humus:** dentro de él distinguimos a su vez:
- **Sustancias no húmicas:** incluyen todos los materiales orgánicos con características químicas identificables (azúcares, aminoácidos, polisacáridos y proteínas). La mayoría son fácilmente biodegradables, por lo que presentan una vida corta dentro de los suelos.
- **Sustancias húmicas:** no presentan características físicas y químicas definidas (fórmula química, punto de fusión, etc.). Proporcionan el color oscuro al suelo y tienen carga negativa, además tienen carácter ácido, son hidrófilos y químicamente complejos, con un elevado peso molecular. Son compuestos relativamente oxidados y estables a la biodegradación que se generan en el propio suelo por la transformación de otros materiales.

El contenido en carbono orgánico de un horizonte es un dato muy útil que muestra la acumulación de materia orgánica, lo que es un criterio importante para la clasificación de los horizontes (Hístico=20-30% de m.orgánica). El % en C orgánico de un suelo permite diferenciar suelos minerales de suelos orgánicos. Otra medida importante es la relación C/N lo

que proporciona una idea del grado de descomposición de la materia orgánica (en suelos agrícolas C/N=8-14). Existen 4 fuentes de la materia orgánica:

- 1) Acumulación de restos y residuos de plantas y animales.
- 2) Descomposición de tejidos orgánicos por acción mecánica de la fauna y los microorganismos.
- 3) Degradación o descomposición de moléculas orgánicas complejas a otras más sencillas. Este proceso se llama biodegradación si en él intervienen los microorganismos.
- 4) Reorganización de algunos productos de degradación, sintetizándose otros nuevos.

Cuantitativamente, la mayor parte de la materia orgánica del suelo procede de los vegetales y el resto de animales. Los tejidos vegetales se componen en un 75% de agua y un 25% de materia seca, de la cual un 10% son compuestos minerales y el resto compuestos orgánicos. A nivel de elementos químicos, los compuestos orgánicos estarán formados por orden de importancia por H, C y O; constituyendo aproximadamente el 90% de los tejidos vegetales. El 10% restante se corresponde con N, S, P, K, Ca, y Mg.

Estos elementos químicos están integrados en las estructuras de hidratos de C (30-80%), ligninas (10-30%), proteínas (1-15%) y ceras, grasas y resinas (1-8%). Diferenciamos tres etapas sucesivas en la transformación de los compuestos orgánicos:

- 1) **Transformación inicial:** alteración de los restos vegetales en su composición y estructura antes de caer al suelo (hojas y tallos atacados por microorganismos en el mismo árbol). Consiste en la pérdida de sustancias orgánicas y elementos minerales.
- 2) **Acumulación y destrucción mecánica:** la hojarasca, ramas, etc. se acumulan en el suelo y se degradan poco a poco por la acción mecánica de animales que reducen el tamaño de los residuos, mezclándose entonces con la fracción mineral.

- 3) **Alteración química:** se produce una intensa transformación de los materiales orgánicos, que se mezclarán con los materiales del suelo y se infiltrarán. Los restos orgánicos perderán rápidamente su estructura celular y se convertirán en un material amorfo cada vez más negro de composición totalmente distinta a la original. Poco a poco, los restos se desintegrarán y se introducirán en los distintos niveles del suelo, entrando en contacto íntimo con la fracción mineral.

3.5.4 Sustancias húmicas

Pueden tener dos orígenes:

- 1) Degradación química y biológica de los residuos y restos de plantas y animales.
- 2) Actividad de síntesis de los organismos del suelo.

Ambos procesos hacen que la materia orgánica original se transforme en unos compuestos más estables en el suelo. Se puede producir una descomposición de la materia orgánica no humificada, lo que conlleva que un 60-80% del C orgánico del suelo sea devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, debido al proceso de la mineralización (proceso que tarda aproximadamente 1 año).

Tal mineralización consiste en la transformación de un elemento desde una forma orgánica a una inorgánica gracias a la actividad de los microorganismos. Además de producirse CO₂ se liberan elementos minerales solubles como los nitratos y fosfatos. Los iones minerales liberados podrán ser asimilados por las plantas. Hay por tanto dos procesos contrapuestos:

- Humificación: responsable de la acumulación de materia orgánica en el suelo.
- Mineralización: responsable de la destrucción de la materia orgánica.

Dependiendo de las características de cada suelo y del tipo de materia orgánica predomina uno de los dos procesos, pero siempre se darán

conjuntamente en mayor o menor medida. Así, la materia orgánica total de un suelo en un momento dado será la diferencia entre la masa total recibida y la biomasa mineralizada.

El carbono orgánico no mineralizado comienza un proceso de oxidación más lenta, sufriendo profundas transformaciones hasta ser incorporado por sustancias húmicas o formar parte de la biomasa microbiana. Tal biomasa está formada por microorganismos menores de $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ que intervienen en los procesos de humificación responsables de la formación de compuestos no sintetizables por las células vivas.

La humificación puede ser rápida si la materia orgánica es sencilla en composición y más lenta cuando interviene la biomasa microbiana. Independientemente de la velocidad del proceso el producto final serán sustancias húmicas y la proporción de las mismas en el suelo dependerá de factores internos (compuestos químicos de restos vegetales) y externos (tipo de microorganismos, textura del suelo, pH, etc).

Los elementos precisos para el metabolismo vegetal son tomados en forma mineral por las raíces, por lo que si no existiera un ciclo biogeoquímico de renovación de la materia mineral los suelos se volverían estériles rápidamente.

3.5.4.1. Naturaleza de las sustancias húmicas

Se estudian separándolas unas de otras mediante su fraccionamiento basado en la solubilidad que tienen en medios ácidos y alcalinos. Las técnicas de separación no permiten aislar compuestos químicos únicos sino que separan mezclas de compuestos con propiedades similares y un mismo comportamiento ante los mismos reactivos. De forma empírica se dividen en ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas:

- **Ácidos fúlvicos:** se comportan de igual manera antes reactivos alcalinos, pero no precipitan en HCl ya que son solubles en él.

- **Ácidos húmicos:** se pueden separar con reactivos alcalinos, pero no son solubles en HCl.
- **Huminas:** compuestos extremadamente difíciles de aislar.

3.5.4.2 Características de las sustancias húmicas

Son sustancias amorfas de carácter ácido muy polimerizadas ($P_m=10.000-50.000$ g/mol), que presentan un núcleo de carácter aromático unido a una serie de grupos reactivos en la periferia responsables de sus propiedades. También puede haber cadenas alifáticas.

Las características y la naturaleza de las sustancias húmicas están relacionadas con los parámetros ambientales del suelo.

El humus tiene carga eléctrica negativa que dependerá del pH, por lo que se trata de una carga variable originada por la rotura en los bordes de las moléculas y en los grupos funcionales. Básicamente ocurre una disociación o unión de protones al grupo hidroxilo (OH-), carboxilo (COOH-), amino (NH₂-) o fenólico (C₆H₄OH).

Estas sustancias húmicas hacen que el suelo tenga un poder tamponador además de una elevada CIC dependiente del pH (100-300 mol+/Kg) y superficie específica (800-900 m²/g).

3.5.5 Tipos de humus

Se clasifica en tres tipos en función de su grado de evolución:

- Mor: la materia orgánica está poco transformada.
- Moder: la materia orgánica está algo más evolucionada.
- Mull: materia orgánica muy evolucionada. El horizonte es de color negro y muy rico en ácidos húmicos.

3.6 Propiedades principales de la materia orgánica

A) Propiedades físicas

- Proporciona un color oscuro al suelo.
- Proporciona una estructura estable al suelo ya que las sustancias húmicas tienen un gran poder aglomerante que ejercen sobre la materia mineral, produciendo flóculos. Aparecen entonces estructuras favorables para el suelo.
- Proporciona al suelo una gran retención de agua, lo que favorece el asentamiento de la vegetación.
- Aumenta la temperatura del suelo, ya que el color negro absorbe más radiación.
- Protege al suelo frente a la erosión gracias a que los restos vegetales y animales de la superficie lo protegen de la erosión eólica e hídrica y el humus hace de aglomerante de las partículas.
- Protege al suelo de la contaminación porque la materia orgánica es capaz de absorber elementos de tipo contaminante, evitando que lleguen a los acuíferos.

B) Propiedades químicas

- Las sustancias húmicas tienen propiedades coloidales debido al pequeño tamaño y elevada carga. La fase coloidal interacciona con las soluciones del suelo y las raíces.
- Presentan una elevada CIC, por lo que son una buena reserva de nutrientes.
- Influyen en el pH del suelo, ya que tienden a acidificarlo.
- La materia orgánica es un agente de alteración del suelo por su carácter ácido.

C) Propiedades biológicas

- La materia orgánica es un aporte importante para todos los microorganismos que viven en el suelo, así como una fuente de energía.

3.7 Propiedades Físico-Químicas del suelo

3.7 1 Propiedades químicas del suelo

Los elementos químicos que nos encontramos en el suelo pueden encontrarse en tres posiciones distintas:

- En la fase sólida: estos elementos están inmovilizados en las estructuras minerales.
- En la interfase sólido-líquida: los elementos se sitúan en la superficie de las partículas o en su área de influencia. Están unidos a la superficie por enlaces químicos.
- En la fase líquida: el agua presenta elementos en solución además de partículas sólidas. Estos iones de las soluciones del suelo precipitan cuando éste se seca y vuelven a la solución cuando se moja.

La reacción de un ión con el agua se llama hidratación y consiste en que el ión queda rodeado por moléculas de agua. Las reacciones de hidratación son importantes porque los iones hidratados se unen con menos fuerza a la superficie de las partículas.

Los elementos de la fase líquida presentan una gran movilidad entre los horizontes del suelo (translocación) y pueden salir de los mismos (lixiviación). La concentración de iones en el suelo es baja, excepto en los suelos salinos.

Fenómenos de adsorción: La adsorción se define como la asociación de la materia (átomos, moléculas e iones) a la superficie de un determinado

sólido. Se produce en la interfase sólido-líquida y aparecen distintos tipos de enlaces:

- Fuerzas entre moléculas sin carga: las adsorciones se producen mediante fuerzas de Van der Waals y puentes de H.
- Fuerzas entre iones y átomos: intervienen enlaces iónicos y covalentes.

Los materiales sobre los que se produce la adsorción son los minerales de la arcilla y los compuestos orgánicos. Los procesos de adsorción se producen por la interacción de la carga de la superficie de estos compuestos y los iones de la disolución.

Carga de los sólidos: La carga puede proceder de:

- La estructura de un mineral: entonces es independiente de las condiciones ambientales y se denomina carga permanente, donde las sustituciones son isomorfas.
- De la rotura en los bordes y los grupos funcionales superficiales del mineral, son cargas variables dependientes del pH.

Las cargas variables son importantes si tenemos una elevada superficie específica, por lo que las arcillas presentan una gran cantidad de estas cargas, ya que su tamaño de grano es pequeño y son planas.

Los óxidos e hidróxidos también presentan una gran cantidad de cargas variables. Son importantes cuando tenemos grupos OH⁻ en la superficie de los cristales, ya que generan fácilmente H⁺ en medios ácidos y se disocian en medios básicos.

En los compuestos orgánicos también se generan cargas por la disociación de grupos OH⁻ o la unión de H⁺ a grupos funcionales (hidroxilo, carboxilo, amino y fenólico).

Variación de la carga con el pH

- A pH ácido: tenemos cargas positivas permanentes y cargas negativas variables. La carga global es positiva si la carga positiva aumenta y la negativa disminuye. La carga global es cero en el punto isoeléctrico.
- A pH básico: tenemos cargas permanentes y otra cantidad de cargas dependientes del pH, generándose grandes cantidades de cargas negativas.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se define como el número de moles de iones positivos que se adsorben y pueden ser intercambiados por unidad de masa seca del suelo bajo condiciones estándar. Se expresa en mol⁺/Kg y depende de factores como la carga superficial del mineral, de su superficie específica y de la cantidad de cargas permanentes y variables.

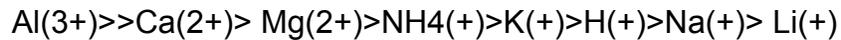
Como la carga negativa neta de una partícula procede de las cargas permanentes y variables, la CIC está determinada por el pH. Así el valor de la CIC de un suelo ácido será menor que el de otro con una solución tampón, por lo que la CIC se determina a pH 7 u 8.2. La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) es la CIC a un determinado pH del suelo con una solución que no sea tampón.

Tipos de cationes intercambiables

Los cationes intercambiables más abundantes son Ca(2+), Mg(2+), Na(+), K(+), Al(3+), NH₄(+), H(+) y Li(+). Proceden de:

- La meteorización de las rocas.
- Los procesos de mineralización de la materia orgánica.
- Aportes externos de soluciones que circulan por el suelo.

La presencia o predominio de unos cationes u otros está condicionada por el medio. No existe una secuencia de adsorción que tenga una validez general, aunque una secuencia típica para la adsorción de cationes es:



Reacciones de intercambio catiónico

Las reacciones de intercambio catiónico presentan ciertas características:

- Son casi siempre reversibles.
- Son estequiométricas.

La presencia de superficies cargadas en cualquier tipo de partículas va a suponer que existen iones de carga contraria compensándola. Estos cationes están generalmente hidratados, formando complejos de esfera externa en la superficie, por lo que son intercambiables. En estos procesos de intercambio definimos:

- **Materiales adsorbentes:** son componentes del suelo que acumulan material en su superficie formando complejos de esfera interna o externa.
- **Cambiadores:** componentes del suelo en cuyas superficies se acumulan iones de forma reversible porque en ellos se forman complejos de esfera externa (arcillas y materia orgánica).
- **CIC:** propiedad de un cambiador para adsorber los cationes de la fase líquida formando complejos de esfera externa. A la vez que adsorben los cationes se produce la destrucción de complejos de esfera externa, por lo que se establece un equilibrio dinámico entre los cationes de la solución externa y los cationes que ocupan sedes de intercambio.

Las sedes de intercambio son las posiciones de la superficie del cambiador en las que se establece el enlace que da lugar a un complejo de esfera externa.

Así, una sede de intercambio será ocupada progresivamente con distinta probabilidad por diferentes cationes en función de la concentración de esos cationes en la solución exterior. Esta posibilidad de intercambio catiónico tendrá un efecto importante en el comportamiento del suelo:

- Controla la disponibilidad de nutrientes por las plantas.
- Interviene en los procesos de floculación y dispersión de las arcillas y así tienen importancia en la formación de agregados.
- Determinan el papel del suelo como depurador natural ya que permiten la retención de determinados elementos contaminantes.
- Son reacciones muy rápidas.
- Cumplen la ley de acción de masas, la dirección de la reacción está controlada por la cantidad de cationes.

3.7.2. El intercambio aniónico

Se produce en suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos o en suelo ácidos de zonas tropicales, o en general, en suelos en los que la carga de sus materiales sea variable. Es importante que exista una elevada concentración de óxidos de Fe y Al.

Los suelos de caolinita son propicios para que haya un intercambio aniónico porque es de los pocos minerales de la arcilla que tiene toda su carga variable, y en condiciones ácidas presenta carga positiva. Al aumentar la capacidad de intercambio aniónico disminuye la CIC.

La adsorción de aniones en el suelo puede tener efectos importantes en la nutrición de las plantas, ya que determinados compuestos como los sulfatos no estarán disponibles para tal nutrición.

3.7.3 Acidez y Basicidad del suelo

El término “reacción de un horizonte” hace referencia al grado de acidez y basicidad de un suelo y se expresa mediante un valor de pH. Este término se utiliza más que el “pH de un suelo”.

La forma más habitual de determinar la reacción de un suelo es midiendo el pH en una suspensión de agua y suelo. El grado de acidez y basicidad está controlado por la cantidad y tipo de cationes adsorbidos en el suelo.

Los efectos perjudiciales de la acidez se manifiestan a $\text{pH} < 5.5$, los cuales se encuentran relacionados con la toxicidad del Al y la baja abundancia de nutrientes. Los suelos con carbonato cálcico tienen un valor de $\text{pH} = 7.5-8.5$, usándose el término de suelo alcalino o sódico cuando el $\text{pH} > 8.5$.

El valor del pH del suelo afecta a las propiedades físicas y gaseosas del suelo, y condiciona el crecimiento vegetal. La movilidad de los elementos en el suelo varía en función del valor del pH, en la medida de que el suelo sea orgánico o mineral, aunque en general los elementos son más móviles a pH ácidos que básicos.

La acidez de un suelo está condicionada por la presencia de $\text{Al}(3+)$, que es capaz de formar hidróxidos. Además, la presencia de H^+ en el suelo solo tiene importancia en condiciones de acidez ($\text{pH} > 4$), siendo su presencia característica de suelos orgánicos.

En general, la notación simplificada de la acidez de un suelo se hace en función de los protones, aunque realmente la acidez tiene su origen en la hidrólisis del Al. Los suelos presentan una determinada CIC, lo que hace que se comporten como tampones o mecanismos de protección frente a variaciones bruscas de la acidez o basicidad.

Debido a esto el poder tamponador de un suelo aumenta con el contenido de arcillas y materia orgánica (responsables de una elevada CIC). La capacidad de un suelo de actuar como un depurador natural está relacionada con esta capacidad tamponadora, ya que el suelo es capaz de admitir residuos dependiendo de su CIC.

3.8 Aireación del suelo

Las condiciones de aireación de un suelo van a depender de la eficacia que tenga ese suelo en el intercambio de gases con la atmósfera. La presencia de oxígeno resulta fundamental para la respiración de las plantas y de todos los organismos. Pueden darse dos situaciones:

- **Mala aireación del suelo:** se generan condiciones reductoras y se dan en suelos con un drenaje impedido o en suelos en los que la circulación de las aguas por medio de los poros sea lenta. Debido a esto, la entrada de oxígeno en el suelo va a ser progresivamente menor y el poco oxígeno disponible será utilizado por las plantas y los organismos, que son incapaces de renovarlo.
- **Buena aireación del suelo:** la composición de los gases del suelo presenta una analogía con la composición atmosférica (79% de N₂ y 21%/20% de O₂ o CO₂ respectivamente). Las cantidades de CO₂ y O₂ varían dependiendo de las condiciones de aireación.

3.9 Mecanismos de intercambio gaseoso

El intercambio de gases se produce en la interfase suelo-atmósfera, siendo su composición gaseosa idéntica siempre que ambos se encuentren en equilibrio. Tal equilibrio se rompe por el consumo de oxígeno por parte de las plantas y los microorganismos del suelo y la consecuente formación de CO₂.

Tal actividad provoca que exista una distinta concentración de estos dos compuestos en la atmósfera que en el suelo, lo que causa una transferencia de gases entre ambos sistemas por tres mecanismos:

- Difusión de moléculas de gas: proceso debido a que se establecen gradientes de presión parcial en los gases de unos puntos a otros. La difusión es un mecanismo lento que se produce desde los puntos de mayor concentración hasta los de baja concentración, continuándose a lo largo del proceso hasta llegar a un estado de equilibrio.
- Flujo de masa de una mezcla de gases: el flujo de gases ocurre por gradientes de presión, cambios de temperatura o variación del volumen de los poros disponibles. Este mecanismo es importante en suelos de tipo expansible.
- Transporte de oxígeno disuelto en agua: el agua que circula por el suelo puede llevar oxígeno disuelto, permitiendo así la circulación de este gas.

El intercambio de gases se ve afectado por diversas causas:

- El grado de estructuración del suelo.
- Porosidad total del suelo.
- Distribución de la porosidad: si la porosidad está dentro de los agregados o entre los agregados, es decir, que tiene que existir permeabilidad para que se facilite el flujo de gases.

***Nota importante:** un suelo puede ser muy poroso pero tener una permeabilidad baja debido a que no existe comunicación entre dichos poros.

3.10 Propiedades físicas del suelo

A) Textura del suelo

La granulometría de un suelo expresa las propiedades relativas de las distintas partículas de minerales con un tamaño inferior a 2 mm. Las diferentes proporciones se agrupan en clases de tamaños similares (fracciones granulométricas). Para estudiar la granulometría es necesario destruir los agregados del suelo.

La textura es una expresión sintética de las características granulométricas de cada horizonte. Los términos de granulometría y textura son sinónimos, siendo una característica muy estable del suelo. Las distintas fracciones utilizan una serie de valores límite para diferenciarse:

a) >2mm: elementos gruesos. A partir de este tamaño las fuerzas de unión entre los granos actúan con dificultad, por lo que las partículas no se mantienen cohesionadas.

b) 200 μ m: límite superior para las arenas finas según el ISSS. Por debajo de este tamaño los granos formadores de las rocas originales aparecen separados. Esta fracción es de gran importancia para los estudios mineralógicos.

c) 50 μ m: límite superior para el tamaño limo según la USDA. El predominio de limos confiere a los suelos características físicas desfavorables, por lo que suelen ser poco estables.

d) 20 μ m: límite superior para el tamaño limo según el ISSS.

e) <2 μ m: tamaño arcilla, con elevada CIC y superficie específica.

f) <0.2 μ m: tamaño arcilla pero con comportamiento coloidal.

3.10.1 Clases texturales:

Las distintas combinaciones de las proporciones de arena, limo y arcilla presentes en un horizonte se pueden agrupar en unas pocas clases texturales. Tales clases texturales proporcionan una idea de síntesis de la granulometría general de un suelo y son útiles para determinar sus características. En estas clases se prescinde de los contenidos en grava del suelo, estudiándose sólo las fracciones con un tamaño de grano <2mm.

Al establecer las distintas clases texturales se busca agrupar suelos con un comportamiento similar ante el agua y las plantas, fijando así límites de similitud entre los distintos suelos. Con estas clases también se considera que la importancia de ciertas fracciones es mayor que otras que se encuentran en

su mismo %. Para representar las clases texturales se utilizan los triángulos de textura.

La cantidad de arcilla de un suelo es mucho más determinante para su comportamiento que el resto de las fracciones, lo que se pone de manifiesto en la denominación de las clases texturales:

- Con una pequeña cantidad de arcilla se utiliza el término “acilloso” en la caracterización del suelo.
- Con un 20% de arcillas se utiliza el término “franco arcilloso”.
- Para el contenido en limo no se utiliza el término “limoso” hasta que su presencia en el suelo no supere el 40%.
- Para las arenas se precisa de un 44% para utilizar el término “arenoso”, pero sus propiedades no se manifiestan hasta alcanzar el 70%.

3.10.2 Análisis granulométricos:

Se realizan en el laboratorio mediante una segregación de las partículas agrupadas en las distintas fracciones. Para que los granos estén separados se requiere la destrucción de los materiales que los mantienen unidos en forma de agregados. Los resultados obtenidos se expresan de forma gráfica de distintas formas:

- Diagramas texturales.
- Diagramas representativos de un perfil.
- Diagramas semilogarítmicos.
- Diagramas circulares o de barras.

La importancia de las distintas fracciones se debe principalmente al tamaño, el número y la superficie específica de las partículas, la cual es muy importante para determinar la reactividad de un suelo. La superficie específica de una partícula varía de forma inversamente proporcional a su tamaño.

La acción de las distintas fracciones tiene una determinada significación según el predominio de una u otra:

a) Elementos gruesos: disminuye la cohesión de los horizontes con arcilla, lo que favorecerá la penetración de las raíces. Si se encuentran en una proporción suficientemente elevada, la permeabilidad del suelo aumenta. Si se encuentran en la superficie frenan la erosión y las pérdidas de agua. Si son abundantes se dificulta la movilidad de los organismos y disminuye la capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes. Ejercen además un efecto abrasivo sobre la maquinaria y la deformación de las raíces.

b) Arena gruesa: presentan una importante cantidad de macroporosidad, por lo que la permeabilidad suele ser alta. Los suelos suelen ser poco compactos y fáciles de labrar, con un almacenamiento bajo de nutrientes debido a su baja CIC. La capacidad de retención de agua también es baja.

c) Arena fina: propiedades intermedias entre arena gruesa y tamaño limo.

d) Limo: los suelos con limo pueden presentar costras superficiales y en ellos la infiltración de agua es lenta y su estructura poco estable. La permeabilidad será media o baja y su compacidad media. La erosión es bastante alta, teniendo una capacidad media para el almacenamiento de agua y nutrientes.

e) Arcilla: los suelos serán químicamente fértiles debido a su elevada CIC. La capacidad de retención de agua es elevada y la permeabilidad baja, ya que aunque muestran una elevada porosidad los poros no se encuentran comunicados. La compacidad es alta, por lo que no serán fáciles de labrar y las raíces de las plantas no penetran con facilidad.

3.10.3 Concepto de densidad aparente

Se define como la masa de suelo por unidad de volumen que ocupa la muestra en el campo. El suelo tiene dos tipos de densidades:

- La densidad real.
- La densidad aparente, que tiene en cuenta el volumen ocupado por los poros.

La densidad aparente refleja el contenido total de poros de un suelo, es decir, la compactación y la permeabilidad. Nos ayuda a transformar datos en el laboratorio, ya que los % en peso se pueden expresar como % en volumen real en campo. Se debe medir en cada horizonte y está relacionada con la estructura del suelo, por lo que depende de los mismos factores.

Se trata de un valor importante pero con limitaciones debido a que no proporciona información del tamaño de los huecos y de si están interconectados entre si; tampoco sobre el tipo de fuerzas que dan lugar a la estructura. Ambos son aspectos importantes a la hora de predecir el movimiento del agua a través de los poros, es decir, la permeabilidad.

3.10.4 Estabilidad de los agregados

La estabilidad representa la resistencia a que se modifiquen o destruyan los agregados. El agente principal es el agua, ya que hincha los agregados y los dispersa; además, los agregados de la superficie del suelo son dispersados por el impacto de las gotas de lluvia.

Cuando los agregados se mojan, el agua va entrando por su porosidad de forma que comprime el aire que hay en el poro, lo que hace que se desquebraje el agregado.

3.10.5 Porosidad

El volumen de la fase gaseosa y líquida de suelo cuando se encuentra seco define el espacio ocupado por los huecos del suelo, la relación entre el volumen de los huecos y el volumen total o porosidad.

La geometría de los poros y sus conexiones controlan el comportamiento del agua y proporciona una mayor información del comportamiento del suelo que el valor numérico de la porosidad.

3.11 Propiedades hidrológicas del suelo.

La fase líquida del suelo está formada por agua en forma de distintas soluciones. El agua procede fundamentalmente de la atmósfera, nivel freático, etc. y las soluciones con iones proceden de la alteración de los minerales y la materia orgánica.

El agua ejerce importantes funciones para la formación del suelo, ya que interviene en los procesos de alteración química y física en la traslocación. También tiene gran importancia en la fertilidad del suelo. Para un buen desarrollo del suelo se necesita de gran cantidad de agua.

La fase líquida circula a través de los poros y queda retenida en algunos espacios, por lo que está en constante competencia con la fase gaseosa para poder ocupar esos huecos.

Los diferentes cambios climáticos de una zona determinada y más concretamente las precipitaciones, varían el % de agua en relación a los gases del suelo.

3.11.1 Tipos de agua

Cuando el agua atraviesa el suelo queda distribuida y sometida a distintas fuerzas, cuya intensidad depende del tipo de material que atraviese.

Podemos encontrar **agua estructural** (forma parte de las estructuras de los minerales) y **agua en estado vapor**. La humedad de un suelo es la cantidad total de agua que obtenemos en una muestra en el laboratorio.

Aparecen varios tipos de clasificación:

1) Desde un punto de vista físico

a) Agua higroscópica: retenida por fuerzas de tipo eléctrico debido a que las moléculas de agua son bipolares las caras de los cristales tienen carga eléctrica. No es un agua utilizable por las plantas (no es agronómica) porque la fuerza de succión es inferior a la fuerza que une el agua con los granos de mineral. Suele estar absorbida directamente de la humedad atmosférica por lo que forma una fina película alrededor de los granos.

b) Agua capilar: cuando tenemos dos fluidos no miscibles (agua y aire) se produce una atracción entre sus moléculas debidas a la tensión superficial, que unida a la tendencia de las moléculas de agua a adherirse a los sólidos hará que sea retenida por los poros llenos de aire.

Cuando un terreno recibe gran cantidad de agua, el suelo poroso se saturará de agua que descenderá por gravedad. La parte que no desciende queda retenida por la capilaridad y es aprovechable por las plantas ya que la fuerza de succión de las raíces es mayor que la fuerza capilar. Aparece por tanto dos tipos de agua:

- a) No absorbible: se introduce en tubos capilares $<0.2 \mu\text{m}$, por lo que la fuerza capilar será muy fuerte.
- b) Absorbible: se introduce en tubos capilares de entre $0.2-8 \mu\text{m}$, por lo que constituye una reserva de agua para las plantas.
- c) **Agua gravitacional:** agua no retenida en los suelos porque no son capaces de hacerlo. Hay dos tipos:
 - i. De flujo lento: circula por poros de entre $8-30 \mu\text{m}$; si el tamaño es menor, el agua es de tipo capilar absorbible. Tarda entre 10 y 30 días en atravesar un suelo y durante este tiempo es absorbible por las plantas.
 - ii. De flujo rápido: poros mayores de $30 \mu\text{m}$. El agua no queda retenida y pasa rápidamente al subsuelo, pudiendo llegar al nivel freático.

2) Desde un punto de vista agronómico

Podemos definir varios términos:

- **Capacidad máxima:** todos los poros del suelo están saturados, por lo que no existe fase gaseosa.
- **Capacidad de retención:** cantidad máxima de agua que puede retener el suelo y presenta el almacenamiento de agua en él. Se produce después de las precipitaciones, cuando el agua gravitacional abandona el suelo y experimenta pérdidas por evaporación y absorción radicular. Debido a esto es difícil de medir, por lo que para compensar esta dificultad se propuso el término de capacidad de campo.
- **Capacidad de campo:** cantidad de agua de un suelo cuando se pierde el agua gravitacional de flujo rápido (2 días después de las últimas lluvias).
- **Punto de marchitamiento:** representa la cantidad de agua que no pueden absorber las plantas una vez que el suelo se ha secado (agua higroscópica y capilar no absorbible).
- **Agua útil:** agua aprovechable por las plantas. Representa el agua de la capacidad de campo en el punto de marchitamiento.

Estos términos son aplicables y característicos de cada tipo de suelo:

- Suelos arenosos: baja capacidad de campo. Una gran parte del agua es útil para las plantas debido a que el punto de marchitamiento también es bajo.
- Suelos arcillosos: alta capacidad de campo, pero con poca agua útil ya que el punto de marchitamiento también es alto.
- Suelos intermedios: mayor cantidad de agua útil debido a una elevada capacidad de campo y un punto de marchitamiento bajo.

3.11.2 Distribución vertical

En un perfil edáfico en el que el agua se encuentra en equilibrio distinguimos dos zonas:

1) De aireación o vadosa: mezcla de agua y aire en la porosidad. Está parcialmente saturada excepto cuando existe infiltración. Su límite superior es la superficie del suelo y el inferior es la zona de saturación. Distinguimos a su vez:

a) Subzona de evapotranspiración: abarca desde la superficie del suelo hasta donde sucede la evapotranspiración. Su profundidad será variable debido al tamaño de las raíces y su profundidad.

b) Subzona intermedia o potencia intermedia: abarca cientos de metros en zonas muy áridas y no aparece en las húmedas. Parece ser que la saturación se encuentra en la superficie. Es la zona de tránsito del agua gravitacional.

c) Subzona capilar: no es muy potente y su presencia está controlada por el equilibrio entre la fuerza capilar y el paso de agua.

a. **Zona de saturación:** todos los poros están llenos de agua. El límite superior es la zona conocida como superficie freática, que define el lugar geométrico de todos los puntos donde el agua se encuentra sometida a presión atmosférica. Por debajo de ella los puntos estarán sometidos a la presión atmosférica más la presión correspondiente a la columna de agua que se encuentra encima. Por encima de ella el agua se encuentra sometida a una presión inferior a la atmosférica debido a que la fuerza capilar tiene sentido opuesto.

3.12 Métodos para la medida de la humedad y potenciales

Para medir la humedad el método más utilizado es el de la pérdida de peso de una muestra con un contenido desconocido de agua al calentarla con una estufa. La humedad se define como:

$$H = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} \times 100$$

Este contenido en humedad del suelo es importante que se exprese en función de la fuerza con la que el agua se encuentra retenida, porque el comportamiento del agua es distinto dependiendo del tipo de fuerza. Cuando el agua se encuentra retenida por fuerzas muy pequeñas puede ser absorbida por las plantas, pero cuando está fuertemente retenida no se mueve a lo largo del perfil y no puede ser asimilada por las plantas.

Para medir el potencial de succión existen dos métodos:

- **Método de campo o tensiométrico:** consiste en introducir un tensiómetro en el suelo. Este aparato tiene en la punta una bujía porosa de material cerámico y se encuentra cerrado herméticamente lleno de agua. Lleva además acoplado un manómetro que nos permite medir diferencias de presión. Cuando está en contacto con el suelo, éste succiona parte del agua de la bujía, lo que nos da un incremento de presión asociado a tal fenómeno de succión.
- **Placa de P o membrana de Richards:** la muestra de suelo se somete a una serie de presiones. Cuando alcancemos una presión igual a la de succión, el agua saldrá con incrementos mínimos de presión por un tubo de desagüe. Se mide en unidades PF: logaritmo decimal de las fuerzas de succión en g/cm². Las medidas de humedad de un suelo se deben acompañar de las fuerzas a las que se encuentra sometida el agua.

Ejemplo:

35%	_____	PF = 2.5
20%	_____	PF = 4.2
10%	_____	PF = 6

3.13 Dinámica del agua en el suelo

El agua puede ascender a lo largo del perfil debido a las fuerzas de capilaridad. Este efecto es de gran importancia en suelos áridos en los que la fuerza de capilaridad está condicionada por la humedad existente en los distintos horizontes. Los horizontes más profundos tienen una mayor humedad que los más superficiales.

El agua también se mueve de forma lateral cuando aparecen relieves inclinados en zonas montañosas.

Permeabilidad: Facilidad de circulación del agua en el suelo. Es un factor muy importante que controla toda la actividad biológica, además de los procesos edafológicos. Está condicionada por la estructura y la textura del suelo y se evalúa por la velocidad de infiltración del agua en el suelo:

- En los suelos arenosos hay una mayor velocidad de infiltración.
- En los suelos arcillosos hay una menor velocidad de infiltración.

Se utilizan distintos valores o anotaciones para definir el grado de humedad:

- dm/h: elevada permeabilidad.
- cm/h: permeabilidad moderada.
- mm/h: baja permeabilidad.

La velocidad de infiltración es siempre igual para un mismo suelo, alcanzando su valor máximo cuando está seco. A medida que el suelo se va saturando de agua va admitiendo una menor cantidad de agua hasta que se llega a una situación con valores constantes en la permeabilidad.

3.14 Clasificación de suelos

Hay numerosas clasificaciones de suelos atendiendo a ciertos criterios:

- Base geológica: en función del tipo de roca original del suelo.
- Base química: en función del catión dominante, caracteres químicos, etc.
- Base climática: hay a su vez tres tipos:
 - a) Suelos zonales: evolución dependiente del clima.
 - b) Suelos intrazonales: evolución independiente del clima.
 - c) Suelos azonales: suelos poco evolucionados en los que no está claro el factor responsable.
- Base mixta: caracteres aclimáticos con base geológica, etc.
- Base genética: se basa en las propiedades de origen genético.
- Base morfométrica: utilizan propiedades medibles en el suelo, ya sea en el laboratorio o en el campo.

Las dos clasificaciones más aceptadas son:

- Soil Taxonomy (soil survey staff)-
- FAO/UNESCO.

Se basan en determinadas características diferenciables elegidas para clasificar los distintos tipos de suelo.

3.14.1 Principios generales para la clasificación

Las clasificaciones de carácter nacional están siendo abandonadas, aunque se suelen utilizar como términos complementarios en otro tipo de clasificaciones. Tanto la clasificación de la Soil Taxonomy como la de FAO/UNESCO utilizan caracteres diferenciables, medibles de forma cuantitativa y muy numerosos. Dan lugar a diferentes clases definidas de forma muy rigurosa y precisa. Al utilizar estos criterios las diferentes clases son mutuamente excluyentes. Evitan cualquier tipo de subjetividad ya que no se basan en criterios cualitativos y no utilizan consideraciones genéticas, que son siempre subjetivas.

Debido a la importancia de los procesos formadores de un suelo se utilizan muchos caracteres diferenciadores que son el resultado de tales procesos. Por ello, aunque las clasificaciones son de tipo morfométrico habría que considerarlas como de origen morfogenético.

También se utilizan propiedades importantes para el uso del suelo. Una de las ventajas de usar estas clasificaciones es que se refieren tanto a suelos vírgenes como para suelos agrícolas, pero la nomenclatura está definida por criterios genéticos y puede dar lugar a ciertas confusiones, por lo que ahora se utilizan los horizontes diagnósticos.

Existen otros caracteres diferenciadores como lo son las propiedades diagnósticas, que son importantes para la clasificación de suelos y van a estar definidos constitutivamente. Ambas clasificaciones utilizan el mismo criterio nomenclatural para cada suelo:

- Los horizontes diagnósticos se utilizan en el primer estadio de la clasificación.
- Las propiedades diagnósticas se utilizan para establecer subdivisiones de menor rango.

Cada clasificación reconoce horizontes y propiedades diagnósticos diferentes, pero algunos son comunes a ambas. La FAO/UNESCO ha utilizado muchos nombres populares de los suelos y la Soil Taxonomy utiliza caracteres basados en los regímenes de temperatura y humedad.

3.14.2 Clasificación de la FAO/UNESCO

Al principio intentó definir las diferentes clases de suelos a escala muy pequeña, aunque recientemente realizó una nueva revisión y se basa en un sistema de clasificación similar al anterior, pero con clasificaciones a escala mayor. Es una de las clasificaciones más aceptadas.

A.1) Horizontes diagnóstico superficiales

- **Horizonte mólico:** rico en materia orgánica (>1%) por lo que es de color oscuro (croma < 3.5 cuando está húmedo y un value < 5.5 cuando está seco). Son horizontes de gran espesor, con más de 10cm si se encuentra sobre roca o más de 20cm y 1/3 de solum cuando el solum es mayor de 75cm (el solum es la parte biológicamente activa del suelo que aparece en los horizontes A y B y tiene procesos edafogenéticos). Además presenta más de un 50% de saturación en bases y suele tener una buena estructura.
- **Horizonte úmbrico:** parecido al anterior pero con un grado de saturación en bases < 50%. Son iguales a simple vista.
- **Horizonte ócrico:** tiene un color demasiado claro para ser alguno de los dos anteriores o demasiado poco carbono orgánico, o es demasiado delgado. Son duros y macizos, sobretodo cuando se secan.

A.2) Horizontes diagnóstico subsuperficiales

- **Horizonte álbico:** de tipo E, donde las arcillas y los óxidos de Fe han sido eliminados. El color blanquecino está determinado por los granos primarios de cuarzo y feldespato.
- **Horizonte árgico:** elevado contenido en arcillas acumuladas de forma iluvial, aunque pueden ser generadas por procesos petrogenéticos. Cuando las arcillas son de iluviación las partículas forman revestimientos (cutanes).
- **Horizonte espódico:** de color oscuro y muy rico en materiales iluviales. Constituido por materia orgánica, Fe_3Al_2 y Fe_2O_3 y con una gran capacidad de cambio dependiente del pH. Gran área superficial, por lo que retienen mucho agua. Suelen estar por debajo de horizontes tipo álbico.
- **Horizonte cálcico:** acumulación secundaria de carbonato cálcico en un horizonte de tipo C o B, incluso A (por erosión). Su presencia se manifiesta por colores blanquecinos y el análisis mediante HCl. Están enriquecidos en carbonato cálcico en 15cm como mínimo en un contenido mínimo del 5%. Si descansa sobre materiales calizos aparece >50% en carbonatos, aunque esta condición no tiene porqué cumplirse. Los carbonatos se acumulan formando cutanes, nódulos o venas. Cuando la acumulación es tan grande que las demás propiedades del horizonte desaparecen se le denomina **horizonte hipercálcico** (>50%).
- **Horizonte petrocálcico:** mismas condiciones que el anterior pero más endurecido.
- **Horizonte vértico:** >30% de arcillas expansibles. La hidratación y deshidratación de las mismas hace que aparezcan cuñas, agregados prismáticos y slickensides. Su consistencia es dura y cuando están secos muestran grietas de más de 1cm de anchura y >50cm de profundidad.

B) Propiedades diagnóstico

- **Cambio textural brusco:** fuerte aumento del contenido de arcillas entre los horizontes.
- **Carbonatos secundarios:** generados en el perfil, forman nódulos y revestimientos.
- **Lenguas albilúbricas:** son penetraciones anchas (>15mm) de un material de tipo álbico, que entra de forma irregular en un horizonte arcilloso.

D) Materiales diagnóstico: son materiales originales en los que los procesos edáficos no han tenido una importancia relevante.

- **Flúvicos:** suelos formados con materiales fluviales recientes. Presentan superficies estratificadas.
- **Antropogeomórficos:** resultantes de la actividad humana (escombreras, anteras, etc.). los de tipo úrbico son materiales terrígenos que proceden de las construcciones.

3.14.3 Características de la clasificación FAO/UNESCO

- Base de referencia: primer nivel de clasificación con 30 grupos de suelos.
- Sistema WRB: segundo nivel de clasificación. Se le ponen adjetivos a los 30 tipos de suelo anteriores.

27 de estas clases ya estaban definidas en la antigua clasificación de la FAO, apareciendo 3 nuevas clases. El nombre de las unidades de suelo es binomial, en el que la primera palabra refleja el grupo y la segunda la característica principal del mismo. Los suelos se agrupan en función de su característica más importante:

- **Histosoles:** suelos orgánicos muy ricos en materia orgánica (>20%) sin descomponer en gran parte. La mayoría están saturados de agua

durante largos períodos. Tienen horizontes mólicos o fólicos. Típicos de turbas y turberas.

- **Vertisoles:** suelo de elevado contenido en arcillas (>20%) y los cambios de humedad producen movimientos. Tienen horizontes de tipo vértico con cuñas, grietas y gilgai.
- **Fluvisoles:** desarrollados a partir de materiales flúvicos recientes. Tienen un perfil estratificado y su contenido en materia orgánica decrece de manera irregular (puede que tengan más en zonas profundidad que en las superficiales). Presentan baja evolución y tienen horizontes tipo mólico, ócrico, úmbrico, hístico, taquídico, yémico, sálico o sulfúrico.
- **Calcisoles:** importantes acumulaciones de carbonatos, con horizontes tipo ócrico o vértico que son cálcicos o petrocálcicos. También de tipo ártico, pero impregnados de carbonatos.
- **Gypsisoles:** parecidos a los anteriores pero con horizontes gybsicos o petrogybsicos.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA Y RECOMENDACIÓN PARA EL MANEJO DE SUELOS

4.1 Propuesta

Se consideran abonos orgánicos los estiércoles, compostas, fermentados, vermicompostas, abonos verdes, residuos de cosechas y residuos orgánicos industriales. Los abonos orgánicos son variables en su composición química, física y biológica, y su aplicación constante mejoran las propiedades físico química y biológica de los suelos, así como la sanidad de los cultivos.

Esparcido del biosólido urbano líquido



La composta es una mezcla de materiales orgánicos con cierto grado de descomposición, tiene consistencia grumosa, color oscuro y aroma de buena

tierra. Para hacer una composta es necesario convertir materiales orgánicos de ciertos tipos, en material orgánico descompuesto de forma aeróbica, este material es rico en compuestos orgánicos fácilmente accesible para las plantas, posee quelatos y materiales inorgánicos, ácidos húmicos, fúlvicos y otros compuestos, los cuales mejoran las propiedades físico-química de los suelos.

El suelo es una entidad viviente ya que el componente orgánico del suelo lo constituyen organismos vivos y muertos. Un suelo rico en materia orgánica y microorganismos es un indicador de alta fertilidad y disponibilidad de nutrientes.

Los microorganismos descomponen los residuos orgánicos liberando agua y sustancias minerales, mineralizan el humus, transforman los elementos no disponibles en disponibles , participan en los procesos de fijación biológica del nitrógeno atmosférico y en la oxidación reducción de los nutrientes.

Los microorganismos utilizan la energía del carbono para su metabolismo, por lo que existe una relación directa entre microorganismos, fertilidad del suelo y contenido de materia orgánica en el suelo.

La actividad biológica en el suelo dominada por los microorganismos descompositores de la materia orgánica controla el flujo y ciclo del carbono, de energía y de los elementos esenciales para la vida.

La velocidad en que un residuo es consumido por la microbiota del suelo depende de la constitución química y de las condiciones ambientales, ejemplo: residuos con altos tenores de lignina y compuestos aromáticos son de difícil descomposición y aquellos con altos tenores de carbohidratos solubles o celulosa son de fácil descomposición.

Las bacterias representan entre el 25 y 30% de la biomasa microbiana del suelo y están involucrada en la descomposición en la materia orgánica y ciclaje de los nutrientes, fijación biológica del N, producción de sustancia del crecimiento y otros procesos.

Los Actinomicetos tiene propiedades de hongos y de bacterias representan una pequeña porción de la microbiota del suelo son importantes, ya que degradan sustancias que no son digeridas por las bacterias y hongos, como fenoles, quitinas, parafinas, humus y otros.

Son capaces de descomponer la M.O., a altas temperaturas, como en el proceso de compostaje e incorporación de abonos verdes al suelo, controlan el equilibrio microbiano al producir antibióticos como la estreptomicina.

Entre las especies existentes la más importante es la del género *Streptomyces* (del 70% al 90%), existen otras como *Antinomycetes*, *Frankia*, etc.

Los hongos poseen la mayor masa microbiana, alcanzan hasta un 80%, su presencia esta sujeta a los tenores de M.O. Entre estos sobresalen los del género *Deuteromycetes*, como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Verticillum*, etc.

Sus principales funciones son heterotróficas sobre los restos vegetales y formación de simbiosis del tipo micorrízicas y parásitas.

Cuando se adiciona un residuo orgánico al suelo, la población microbiana es estimulada, la demanda de nutrientes aumenta, la respiración del suelo (tasa de liberación de CO₂ aumenta y los nutrientes minerales como el NO₃⁻ son absorbidos en grandes cantidades. Dependiendo de la relación C/N puede agotarse el N del suelo).

Cuadro 2 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) en los procesos de mineralización y disponibilidad.

RELACIÓN			PROCESOS	DISPONIBILIDAD
C/N	C/P	C/S	INMOVILIZACION (I) MINERALIZACION (M)	NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺ PO ₄ ³⁻ SO ₄ ²⁻
>30	>300	>400	I > M	DISMINUYE
20- 30	200- 300	200- 400	I = M	NO ALTERADA
<20	<200	<200	I < M	AUMENTADA

Cuando los residuos orgánicos tienen contenidos menores de 1.2%N y 0.2%P producen inmovilización, al menos temporalmente, cuando el contenido se eleva a rangos de 1.8%N y 0.3%P se promueve la mineralización.

4.1.1 Materiales usados para hacer una composta

Uno de los aspectos a tener en cuenta para realizar una composta es el local, el cual puede ser similar al usado para un estercolero, o un área bajo sombra de árboles. Todos los residuos que provengan de vegetales, animales, residuos de cocina, hojas, zacates, pastos, pajas, aserrín, hierbas secas, hierbas verdes, residuos de cosecha, pulpa de café, pulpa de cacao, cáscaras de huevos, cenizas, residuos de la industria azucarera, minerales, etc., pueden ser utilizados para hacer una composta.

4.1.2 Método de preparación de la composta

Las dimensiones de la composta están en dependencia del material disponible, oscilando el ancho entre 1 y 1.5 metros, la altura en proporciones semejantes y el largo entre 2 y 10 metros en caso que la elaboración de la composta sea manual, en el caso que sea mecanizada (alzadora, pala frontal o acanteradora), se pueden elaborar pilas hasta de 50 metros de largo y 3 metros de altura.

El primer paso es espaciar los materiales, acomodando los mismos sin comprimirlos, formar una pila agregando los materiales por capas.

El orden es variable dependiendo de las tecnologías utilizadas, pero es importante la estabilidad de la pila a medida que aumentan las capas. Humedecer las capas sin que exista exceso de agua.

Los pastos, hierbas y diversos materiales contienen carbohidratos y proteínas que son excelentes nutrientes para las bacterias, los cuales las

descomponen rápidamente. Espaciar sobre estas capas estiércol curado y si este está seco humedecerlo.

Hojas secas, tallos, aserrín y materiales de madera seca se descomponen lentamente, por lo que se recomiendan cortarlos bien y mezclarlos con material verde o agregar nitrógeno extra.

Es importante agregar suelo para evitar la descomposición anaerobia, además el suelo aporta la microbiota para favorecer la descomposición de la M.O. cada capa añadida de los diferentes materiales se deben humedecer.

La última capa debe ser de suelo y la altura de la pila no debe exceder de 1.5 metros , si se hace la composta manualmente.

La pila de composta puede hacerse al aire libre y pueden utilizarse arcones o cajones de lados para mantener la pila con espacios libres para que circule el aire. Un método práctico para conocer si las capas que componen la composta tiene buena humedad consiste en tomar muestras y exprimir las con las manos, si la humedad es la adecuada, aparecerá agua entre los dedos, en caso contrario se debe añadir agua hasta obtener la humedad deseada.

Compostaje de biosólidos



La composta debe moverse semanal o quincenal para airearse, se debe cubrir para evitar que se laven los nutrientes con la lluvia. Los microorganismos necesitan aire, por lo que no deben comprimirse los materiales añadidos.

El volteado de la composta consiste en deshacer el montón, de tal forma que se mezcle el material de la parte superior, medio e inferior de la composta. Debe compostarse a los 3 meses. Si los materiales están bien picados puede estar lista a los 1.5 meses, ya que hay más superficie expuesta a la descomposición y hay más penetración del aire y el agua.

Una de las formas de comprobar si la composta esta fermentando, es la elevación de la temperatura, la misma alcanza valores entre 50 y 60 OC. Si la eleva hasta valores entre 70 y 75 OC. se debe añadir agua o comprimir la composta, para disminuir el calentamiento.

Se debe medir la temperatura 2 ó 3 veces por semana en tres puntos diferentes, el máximo de calentamiento se alcanza a los 15 días, posteriormente

comienza a bajar lentamente. Posterior a cada volteo se vuelve a elevar la temperatura, disminuyendo con el tiempo.

Se da cuenta que se terminó el proceso de compostaje cuando este fría la pila, tenga buen olor y los materiales estén bien descompuestos. En general se recomienda hacer 3 pilas de composta, una que este lista a los 3 meses, otra con material parcialmente descompuesta y otra en las primeras etapas de la descomposición.

4.2 Recomendación

La utilización de los materiales orgánicos para la creación de composta puede remediar muchos de los problemas relacionados con los residuos. Por un lado, el resultado del proceso de composteo produce un rico nutriente para los cultivos y para los suelos.

En el Municipio de Apatzingán, Michoacán, se empiezan a generar proyectos relacionados con la composta. Estos proyectos se plantean de forma mixta en donde los propios agricultores puedan participar en conjunto con organizaciones de la sociedad civil, Instituciones de nivel superior y el Gobierno local en la creación de compostas para posteriormente utilizarlas en cultivos.

Las vermicompostas, o composta de lombrices, están resultando aún más efectivas debido a su rápido procesamiento y a su nivel de efectividad en los cultivos, además de ser benéficas para los cultivos orgánicos. Evidentemente existen complicaciones en la legislación que deben intentarse subsanar. Por ejemplo, el hecho de que un camión recolector no disponga de una doble separación no debe impedir la transportación de los residuos de forma separada.

Por tal motivo, nuevamente se deben realizar modificaciones a la legislación local. Las nuevas reformas tendrán que señalar que los camiones recolectores podrán hacer la recolección de forma terciada. Por un lado, podrán establecer días de la semana en los cuales se recolectará únicamente residuos

orgánicos y otros días de la semana para los inorgánicos. El compromiso de los sindicatos y la vocación de servicio de los trabajadores relacionados con el aseo público o servicios municipales es importante para lograr este cometido.

Hay que señalar que la recolección de residuos sólidos de forma separada facilita, tanto a los trabajadores de limpia y al aprovechamiento de los residuos para su reciclaje o reuso. De manera tal que, lejos de poner en riesgo sus empleos o su salud, la separación de residuos dignifica las labores de los trabajadores que manejan residuos.

El buen manejo de las compostas o vermicompostas, su tratamiento y la incorporación del material resultante a los suelos agrícolas constituye un reto para todos los sectores de la población y solamente con la cooperación de todos se resolverá el problema de los residuos.



La solución al problema comienza con la clasificación de la basura orgánica e inorgánica, con la reducción de los desechos en nuestro entorno y con la implementación de una nueva cultura en el manejo sostenible de los suelos por parte de todos y cada uno de los sectores de la población.

BIBLIOGRAFÍA:

Corlay, L., (1999); Departamento de suelos. Universidad autónoma Chapingo (56230). Chapingo, Estado de México.

Echevers, J., (1999); Departamento de Estadística (ISEI), Colegio de Posgraduados (56230), Montecillo, Estado de México.

FAO/UNESCO (1991); Características, descripción y clasificación de suelos.

Ferrera-Cerrato, R., (1999); Departamento de Postgrado en Especialidad Edafológica (IRENAT). Colegio de Postgraduados (56230), Montecillo, Estado de México.

Garro, A., (2000); Ministro de Agricultura. Instituto Nacional de Aprendizaje. Primer Encuentro de Investigadores en Agricultura Orgánica (PITTA), 9-10 Nov. 2000; Costa Rica.

Gómez, R., (2004); Investigador Titular B, ECOSUR, Unidad Tabasco. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social Unidad Golfo Xalapa, Veracruz, México

Muschler, R. G., (2002); Departamento de Agricultura Ecológica del Centro Agropecuario Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); 7170, Costa Rica.

PÁGINAS WEB:

Arnold Ricalde de Jager: despertares222@yahoo.com.mx www.organi-k.org

<http://www.istmodetehuantepec.htm>