

1. Introducción

Los suelos no constituyen una masa sólida indivisible, sino que en su análisis encontramos diversos componentes **sólidos, líquidos y gaseosos**, que ocupan los espacios sólidos y porosos. Estos presentan características propias que, en la mutua influencia que se ejercen y en las diferentes cantidades de sus componentes, le proporcionan a aquellos, sus particulares características y propiedades.

2. Componentes sólidos

2.1. Constituyentes rocosos

Las rocas integrantes de la fracción sólida del suelo, decimos que son "agrupamientos" de minerales. Podemos encontrar en la naturaleza diferentes tipos de rocas: Igneas, Sedimentarias y Metamórficas.

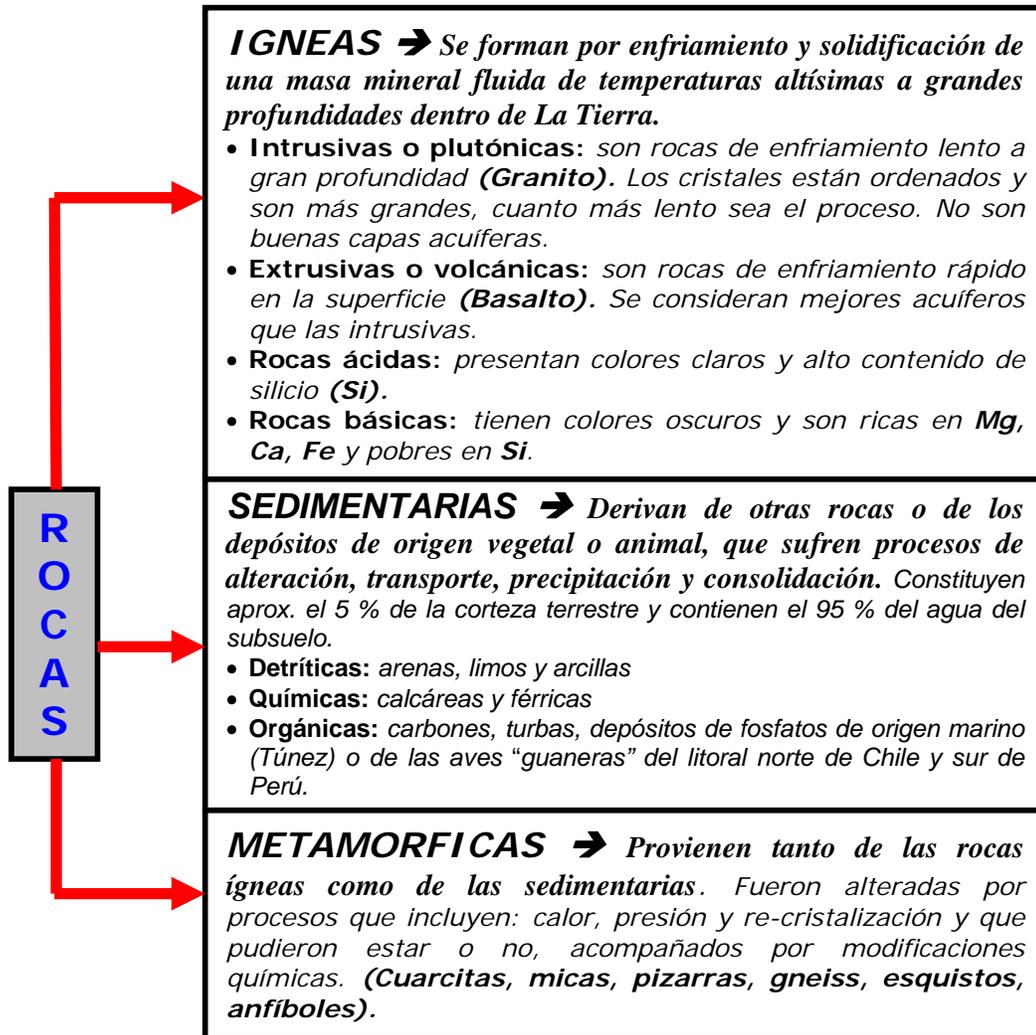
◆ En las rocas ígneas, la masa mineral fluida, está conformada mayormente por un material silíceo denominado "**MAGMA**" que fluye desde las profundidades en estado casi líquido. En su formación interviene el fuego, de aquí su nombre. Al no existir actividad volcánica en nuestro territorio, que haga aflorar este tipo de materiales, podemos considerar que es un proceso que no continúa.

◆ En las rocas sedimentarias, se producen procesos de erosión, meteorización y arrastre de los detritos, de los productos derivados del ataque químico y/o de la deposición por los animales marinos o las aves durante miles de años y luego se produce un proceso de consolidación de los mismos en las nuevas rocas. Este ciclo por el contrario, puede repetirse en forma continua.

El ataque original de las rocas que dieron lugar a los detritos, puede ser eólico o hídrico. Estos agentes las atacan y luego transportan los materiales resultantes.

◆ En las rocas metamórficas, llamamos "**METAMORFISMO**", al proceso por el cual las rocas son sometidas a temperaturas y presiones muy altas a grandes profundidades. Como ejemplos más destacados tenemos a los gneiss (formado por cuarzo, feldespatos y mica), esquistos, pizarras, rocas cuarcíticas, anfíboles, etc.

Figura N° 1.- Tipos de rocas



2.2. Constituyentes minerales

Vamos a dar ahora un rápido vistazo, ya que no es el principal objetivo de este curso, a los **MINERALES** o sea la "materia prima" que da origen a los

MINERALES
Son sustancias inorgánicas naturales, con propiedades físicas y químicas únicas y bien definidas.

suelos y a los cuales proporcionan algunas de sus principales características heredadas. Para estudiarlos podemos dividirlos en **PRIMARIOS Y SECUNDARIOS**

2.2.1. Minerales primarios

Son los que mantienen en el suelo, la misma forma que en las rocas originales.

- Grupo del cuarzo
- Grupo de los anfíboles y pirovenos
- Grupo de los feldespatos
- Grupo de la olivina
- Grupo de las micas
- Grupo del apatito

Cuadro N° 1.- Minerales primarios presentes en los suelos

1) Grupo del cuarzo

Proviene de las rocas ígneas cuarcíticas, donde predomina la Sílice (Si). Son muy resistentes a la alteración química y totalmente insolubles en agua.

2) Grupo de la olivina

Es un grupo de minerales muy susceptible a las alteraciones y solo se los encuentra en suelos muy poco alterados y meteorizados. Forman parte del basalto y aportan óxidos de hierro (Fe).

3) Grupo de las micas (moscovita)

Es un grupo de minerales muy resistentes e insolubles. Cuando se descomponen, liberan potasio (K). Proviene de las rocas ígneas ácidas.

4) Grupo de los anfíboles y pirovenos

Son fácilmente descompuestos y aportan arcillas y hierro a la fracción mineral del suelo. Proviene de las rocas ígneas básicas, tales como el basalto.

5) Grupo de los feldespatos

- **Potásicos (microclima y ortosa):** Son fuente del macronutriente potasio. Son resistentes a la meteorización, pero se descomponen en presencia de agua y anhídrido carbónico (CO₂) formando arcillas y liberando el potasio. Aparecen en los granitos.

- **Sódico cálcicos (plagioclasas):** las encontramos en las rocas ígneas básicas. Se descomponen fácilmente: liberando sodio (Na) y calcio (Ca). El primero en exceso es tóxico para las plantas.

6) Grupo del apatito

Es un grupo muy importante pues es la fuente única y original de todo el fósforo (P) del suelo (macronutriente esencial para las plantas). Son en general muy poco solubles, y cuando se solubilizan, se transforman en fosfatos complejos de hierro, calcio y aluminio (Al). Pueden aparecer en varios tipos de rocas, pero siempre en porcentaje muy bajo en ellas.

En el cuadro de los principales nutrientes vegetales, se pueden visualizar algunos entre los muchos elementos químicos que podemos encontrar en los minerales primarios y/o secundarios y que directamente los van a nutrir, siendo por lo tanto, imprescindibles para la vida vegetal, por formar parte de todos los procesos químicos y de la propia estructura de las células y tejidos.

A la lista de la derecha y que constituyen los principales elementos químicos que son además nutrientes vegetales, debe sumarse el **Carbono (C)**, que los vegetales pueden extraer de la propia atmósfera, por su capacidad de aprovechamiento del anhídrido carbónico atmosférico, en el conocido **Ciclo del Carbono**. O también a partir de complejos procesos bioquímicos en los que interviene la materia orgánica de los suelos y que también están compuestos por **Nitrógeno (N)** e **Hidrógeno (H)**. El primero es extraído del aire o aportado por los fertilizantes o la materia orgánica.

K → Potasio
Fe → Hierro
Si → Sílice
Al → Aluminio
Na → Sodio
P → Fósforo
Ca → Calcio
Cu → Cobre
Mg → Magnesio
Mo → Molibdeno
Mn → Manganeseo
Co → Cobalto
S → Azufre
Zn → Zinc
B → Boro

2.2.2. Minerales secundarios

Son los que se originan de la alteración de los minerales primarios. Son una fuente fundamental de nutrientes para las plantas

Entre los minerales secundarios de los suelos, también distinguimos varios grupos diferentes:

- ⊗ Grupo de los carbonatos de calcio (CaCO_3) y magnesio (CaMgCO_3)
- ⊗ Grupo de los óxidos de hierro
- ⊗ Grupo de las arcillas

El término "**ARCILLAS**" como veremos a continuación, puede tener varios significados. Para nosotros, tiene dos significados diferentes pero muy relacionados:

1) **ARCILLA** → *Es el nombre de un grupo particular de minerales secundarios bien definidos.* Este concepto es el que usaremos en este capítulo.

2) **ARCILLA** → *Es un tipo de textura particular de los suelos, también conocido como "textura arcillosa", que veremos en el Capítulo 10, en que estudiamos la física de los mismos.*

Cuadro N° 2.- Minerales secundarios presentes en los suelos

1) Grupo de los carbonatos de calcio y magnesio

Calcio: lo encontramos en la calcita y dolomita. Es un importante factor de control de la acidez y alcalinidad de los suelos.

Magnesio: lo encontramos en la dolomita, roca usada para la fabricación del cemento Portland.

2) Grupo de los óxidos de hierro

Oxidos cristalinos (Hematita y Goethita). Forman parte de la fracción arcilla. Son muy estables y aportan los colores rojos, pardos, rojizos y pardos amarillentos de los suelos.

Grupo de los óxidos amorfos (Limonita)

3) Grupo de las arcillas

Grupo del caolín (caolinita, arcilla tipo 1:1)

Grupo de la montmorillonita (arcilla tipo 1:2:1)

Grupo de la hidromica (illita)

- Desde el punto de vista *mineralógico*, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades fisico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm).
- Desde el punto de vista *petrológico*, la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.
- Para un *sedimentólogo*, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 mm.
- Para un *ceramista*, una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada, se convierte en una pasta plástica.
- Desde el punto de vista económico, las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 mm. Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan los 2 mm.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

2.3. Materia Orgánica (MO) de los suelos minerales

La materia orgánica de los suelos minerales (entre un 50 y un 95 %, según Greenland), que forma parte de la porción sólida, integrando el **COMPLEJO ORGANO – MINERAL** del mismo, es el producto de la acumulación de los residuos de animales y especialmente de las plantas. Estos materiales están en activo estado de desintegración y sujetos al ataque por parte de los microorganismos del suelo y finalmente son resintetizados formando complejos nuevos. Por consiguiente se pueden considerar un constituyente transitorio de los suelos y deben ser renovados constantemente por la adición de nuevos residuos de materia orgánica.

Los restos pos-mortales de los animales, pertenecientes a toda la fauna superior y/o la meso o microfauna, son depositados sobre y dentro del perfil de suelos. Los residuos enteros o trozos de las plantas, pueden constar de: troncos, ramas, tallos, cortezas, hojas, raíces, flores, frutos, coberturas y partes vegetales en general. Cada uno de los constituyentes de los animales y/o la vegetación, presentan una constitución química específica y diferente, por lo que los productos de su degradación, también van a ser distintos.

La fracción orgánica está integrada por compuestos complejos de **Carbono (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N)** y numerosos elementos menores. Generalmente representa un índice o indicador del nivel de fertilidad de los suelos.

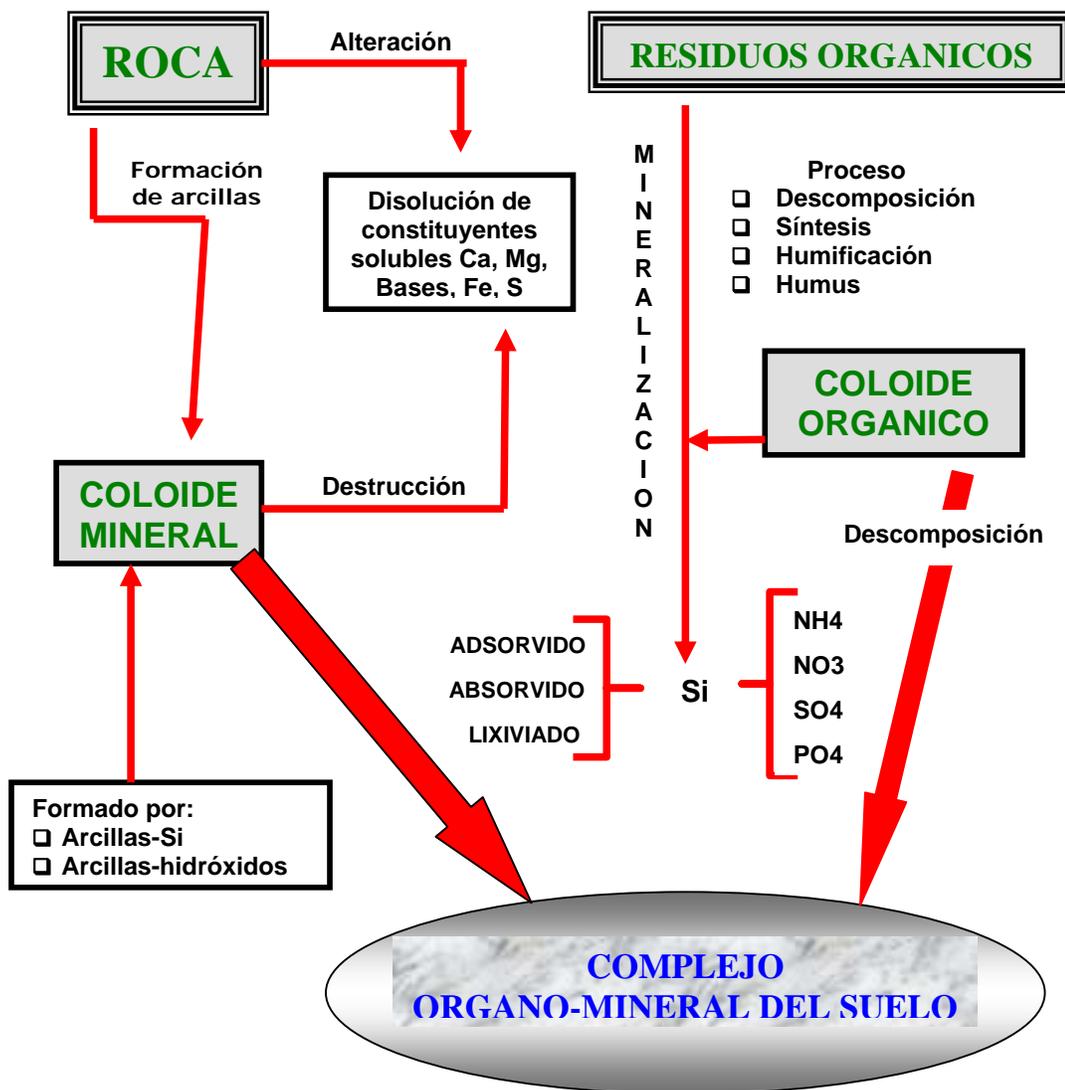
Cuadro N° 3.- Principales funciones de la Materia Orgánica de los suelos

- **Agente granulador de las partículas minerales.**
- **Responsable de la formación de agregados en el suelo.**
- **Regulador del contenido de agua de los suelos.**
- **Fuente de energía de los microorganismos.**
- **Produce sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento de los microorganismos.**
- **Fuente muy importante de microelementos para la nutrición de las plantas.**
- **Mejora la “esponjosidad” de los horizontes superficiales.**
- **Aumenta la aireación de los suelos.**
- **Reduce la plasticidad y la cohesión.**
- **Aumenta la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).**
- **Aumenta el intercambio de aniones: sulfatos y fosfatos.**
- **Favorece la disponibilidad de N, P y S a través de los procesos de mineralización.**
- **Regula el pH a través del aumento de la capacidad tampón.**
- **Afecta la coloración de los suelos, haciéndolos más oscuros.**
- **Participa directamente en los procesos pedogenéticos.**

Esta porción sólida, es la única fuente natural de nitrógeno (importante macronutriente) que existe para todos los vegetales, excepto para las plantas de la familia de las leguminosas: tréboles, alfalfa, lentejas, arvejas,

porotos, garbanzos, habas, chauchas, lotus, etc. Estas tienen la particularidad de fijar este elemento químico desde la propia atmósfera, mediante la asociación simbiótica no patógena, con una bacteria (*Rhizobium sp.*) que vive en forma de nódulos en sus raíces y que es natural en muchos suelos, pero que también puede ser inoculada.

Figura N° 2.- Formación del Complejo Organo – Mineral del suelo
(Esquema de Sheefer-Welk)



Como se dijo, además de ser la principal fuente natural de nitrógeno, la materia orgánica es una fuente muy importante de otros elementos esenciales menores y en muchos suelos (fundamentalmente los desarrollados en condiciones desérticas y/o semidesérticas), también de algunos elementos mayores. El fósforo total proviene hasta en un 33 % de la misma fuente.

El contenido de MO de nuestros suelos es en general pequeño: sólo alcanza al 3 ó 5 % en la mayoría de los horizontes superficiales de los suelos minerales típicos, de muy buena calidad, vírgenes o intocados o con muy poca alteración o modificación realizada por el hombre. Sin embargo podemos encontrar unos pocos ejemplos de suelos considerados excepcionales (en general con muy buenas características agrícolas) con un

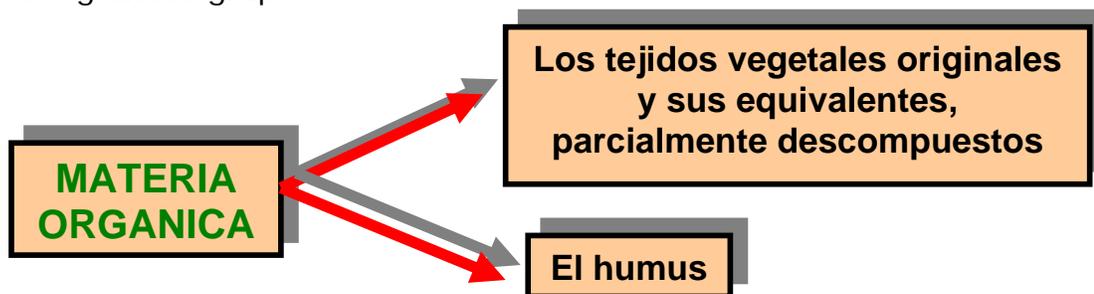
porcentaje cercano al 6 %. Especialmente no tenemos en cuenta los suelos orgánicos o turbosos (no minerales), que poseen normalmente porcentajes muy altos de materia orgánica y que en general presentan otras limitaciones para su uso agrícola.

Este contenido es dinámico, pudiendo sufrir grandes oscilaciones por diversos motivos, en corto tiempo. En muchos suelos minerales de nuestro país, bajo agricultura constante durante muchos años sin el uso de prácticas agronómicas adecuadas, la materia orgánica ha venido sufriendo una constante degradación, pérdida o erosión (oxidación), pudiendo alcanzar actualmente porcentajes máximos entre el 1 y el 2,5 %. Esto está bien demostrado por las crecientemente pésimas condiciones agrícolas de muchos de tales suelos, peores cuanto más bajo es este porcentaje y más deteriorador y agresivo ha sido su manejo. En otras latitudes, se han observado zonas desérticas con suelos con un máximo de un 0,5 %, y en el otro extremo, zonas de turberas con suelos orgánicos (turbas o turbosos) con tenores de un 90 a 95 %. Sin embargo, pueden encontrarse algunos ejemplos en que con porcentajes bajos de MO, con muy alto aporte de nutrientes provenientes de la fertilización, pueden obtenerse rendimientos agrícolas aceptables.

La turba proveniente de los Bañados de Carrasco por ej, que fue estudiada en 1978, tiene un tenor de 60 % aproximadamente de materia orgánica, un pH promedio de 6,5 % y profundidades variables entre 0,70 m y 2,0 m. Está constituida principalmente por: lignina, celulosa, hemicelulosa, proteínas, azúcares y ácidos húmicos y fúlvicos.

Un objetivo debe ser entonces, buscar revertir esta situación de degradación, preservando o aumentando los porcentajes de materia orgánica, junto al uso de prácticas agronómicas conservadoras y/o recuperadoras de las condiciones físico-químicas del suelo. La desertización, compactación de los suelos, salinización, erosión, reducción o pérdida de la fertilidad natural, disminución y casi desaparición de la productividad, son algunas de las consecuencias de las malas prácticas.

Para estudiar mejor la materia orgánica de los suelos, la podemos dividir en dos grandes grupos:



Los primeros constituyen los aportes desde frescos a más o menos descompuestos, que constantemente producen las raíces y partes aéreas de las plantas superiores. Estos materiales están sujetos a un fuerte ataque de los organismos, que los utilizan como fuente de energía y material de recuperación frente a su propio desgaste.

Las sustancias coloidales, que son los productos más resistentes de esta descomposición, tanto los sintetizados por microorganismos como los resultantes de la modificación de los tejidos originarios de las plantas, se

llaman colectivamente "mantillo" o "humus". Este material normalmente de color negro o pardo oscuro, es de naturaleza coloidal. Su capacidad para almacenar agua o iones nutrientes, es mucho mayor que la de la arcilla, que es su producto inorgánico similar. El humus se encuentra íntimamente asociado a aquella, formando el llamado complejo arcilla-humus. De esta forma, pequeñas cantidades de humus hacen aumentar enormemente la capacidad productiva del suelo.

COLOIDE

Es una partícula extremadamente pequeña, con propiedades especiales diferentes de las que caracterizan a las partículas mayores o las infinitamente pequeñas que aparecen en las soluciones verdaderas

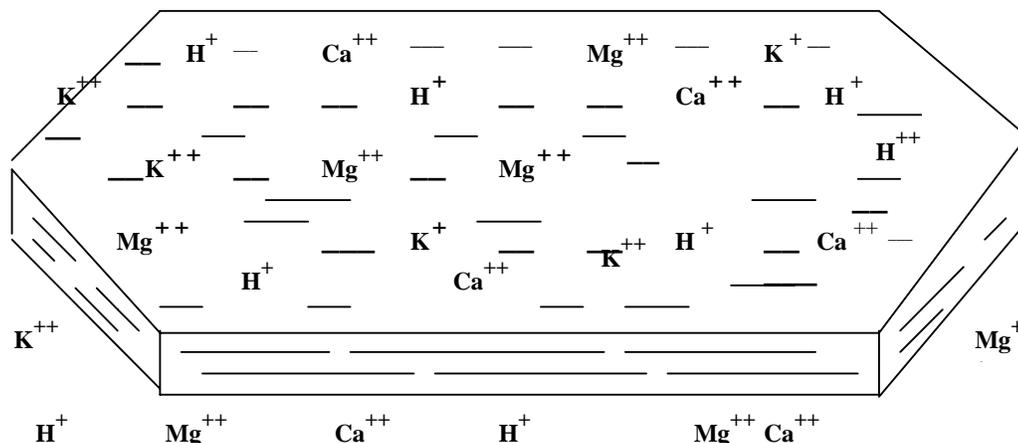
Las cargas eléctricas del complejo arcilla-humus permiten la retención de iones de signo contrario, generalmente cationes, que se encuentran en equilibrio con los de la solución del suelo (agua + iones en solución) con los que se pueden intercambiar.

La cantidad total de cationes que puede retener el suelo constituye la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que se expresa en miliequivalentes por 100 grs de suelo (meq/100 grs de suelo) siendo ésta una característica importante para determinar la fertilidad del suelo.

El concepto de fertilidad de los suelos, está ligado al más amplio, de la nutrición de las plantas. Este tema, como concepto general, viene a poner de relieve, algunas de las causas que pueden disminuir la calidad de los suelos y por lo tanto su productividad.

Pocos suelos pueden describirse como netamente estériles. Factores tan importantes como el calor, la humedad, las características químicas y dentro de ésta el concepto químico de la acidez, pueden ser la causa de la baja productividad de los cultivos, justificando entonces hablar de infertilidad. Puede ser precisamente la acidez de los suelos, la causa más frecuente de una marcada infertilidad.

Figura N° 3.- Esquema de una partícula de arcilla con cargas negativas y cationes retenidos eléctricamente.



Fuente: Elaboración propia en base a "Suelos del Uruguay" Nuestra Tierra. 18. Marchesi, E. y Durán, A.

Los cationes intercambiables generalmente presentes en el suelo son: Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio. Genéricamente son denominados bases

intercambiables (cationes).

La cantidad de bases intercambiables expresada en porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, se denomina "porcentaje de saturación de bases".

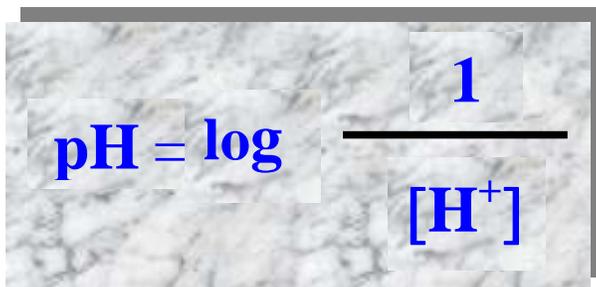
El hidrógeno también aparece en forma intercambiable y compensa las cargas negativas no neutralizadas por las bases. Este se encuentra en equilibrio con el de la solución del suelo, de cuya concentración iónica, depende su acidez (pH).

2.4. Reacción o pH del suelo

La acidez de un suelo, así como la riqueza en algunos nutrientes, puede variar notablemente de una región o campo a otro y entre distintos tipos de suelo.

Esta acidez puede ser consecuencia del trabajo del hombre o haber sido (parece que "desde siempre"), una característica de muchos de ellos. En algunos casos es tan baja, que no ha podido crecer nunca una vegetación que soportara tales condiciones. En otros sin embargo, los suelos han tenido una reacción neutra o muy cercana a ella, de un modo permanente, desde que se empezaron a cultivar.

La presencia de *iones* H^+ en un medio químico cualquiera (como es el suelo), determina su reacción, medida por el "pH", que varía como veremos después, entre límites muy precisos. Este concepto es inseparable del correspondiente al poder amortiguador o "tampón" del suelo. Es decir la facultad de resistir las variaciones de su pH, que está en relación directa con


$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

la proporción del complejo arcilla-humus.

La acidez o alcalinidad, que se expresa por medio del pH y cuyo valor está dado por el co-logaritmo de la concentración de iones hidrógeno H^+ , en realidad mide la actividad del ión hidrógeno en la solución del suelo.

La escala de pH abarca desde 0 a 14, o sea desde un máximo de acidez (0), hasta un máximo de alcalinidad (14), pasando por un pH considerado neutro (7), la correspondiente al agua pura y destilada.

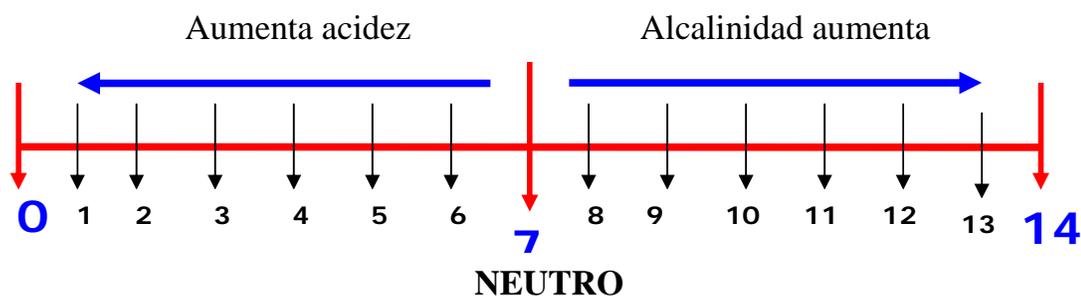
Los valores de pH de los suelos de regiones húmedas como las nuestras, oscilan normalmente entre 4,5 y 8. Los valores superiores o inferiores, pueden ser comunes en los suelos de regiones áridas, pero presentan grandes restricciones para el crecimiento vegetal.

La acidez real está representada por el H^+ iónico que existe en la solución del suelo, siendo además la que se puede medir con un aparato denominado "peachímetro" o con papeles especiales que reaccionan ante los diferentes grados de acidez (de una solución de suelo y agua destilada) virando de color, pudiendo ser luego

ACIDEZ TOTAL
La acidez total de un suelo es la suma de la acidez real o activa, más la acidez potencial

comparados con una escala de colores. Por otra parte, la acidez potencial es la del H^+ que ocupa posiciones intercambiables en la arcilla o la materia orgánica.

Figura N° 4.- Rangos de ph ó acidez



2.4.1. Componentes gaseosos. Aire del suelo.

Las raíces de los vegetales sólo se desarrollan en forma adecuada, en un medio debidamente aireado. Todo lo que impida la normal circulación del aire y por lo tanto, la adecuada difusión de sus gases constituyentes, limita entonces este desarrollo. El suelo interviene en el crecimiento de las raíces por su contenido de aire.

Los poros del suelo, no ocupados por el agua, contienen gases que constituyen la atmósfera del suelo.

Los componentes son los mismos que los de la atmósfera libre, pero su proporción relativa difiere algo de ésta. Pueden contener así mismo, también productos gaseosos derivados de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Cuadro N° 4.- Rangos de pH y tipos de suelos

TIPOS DE SUELOS	PH
Muy ácido	Hasta 4
Acido	4 – 5
Moderadamente ácido	5 – 6
Débilmente ácido	6 – 7
NEUTRO	7
Débilmente alcalino	7 – 7,5
Moderadamente alcalino	7,5 – 8
Alcalino	9
Muy alcalino	+ de 9

Fuente: elaboración propia

La actividad biológica realizada por las raíces de las plantas y los organismos que viven dentro del perfil del suelo, sustraen el oxígeno de la atmósfera del suelo y expelen al medio el anhídrido carbónico (CO_2), por consiguiente es necesario un intercambio continuo, apareciendo sin embargo, más pobre en aquél y más rico en éste, que el propio aire libre. Pero este gas carbónico es la principal fuente de carbono (C) de las plantas verdes. Constituye el 40 % de la materia seca. La planta descompone el CO_2 y fija el carbono (a través de la función clorofilica, la fotosíntesis y la energía solar), con el que construye toda su estructura.

La mayor parte de los cultivos sólo se pueden desarrollar normalmente si la concentración de CO_2 alrededor de sus raíces, no es demasiado alta y la del O_2 demasiado baja, pues el aire contenido en el interior del suelo, controla los procesos químicos en la raíz y en sus alrededores próximos.

Cuadro N° 5.- Composición media de la atmósfera libre y la del suelo

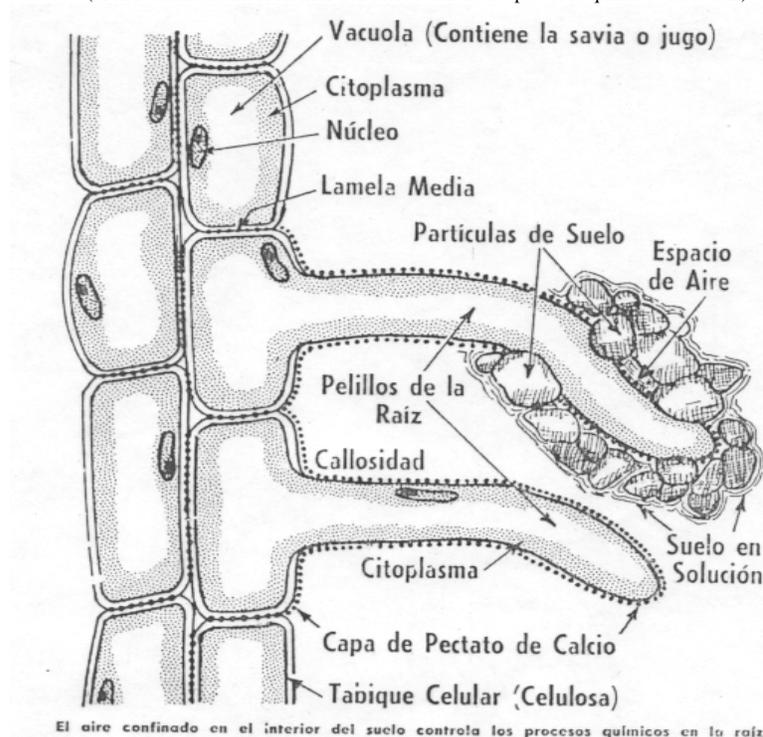
COMPONENTES	SUELO	ATMÓSFERA LIBRE (%)
Oxígeno (O ₂)	20,80	20,96
Nitrógeno (N)	79,00	79,01
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	0,15 – 0,65	0,03

Fuente: Durán, A. "Agrología". Mimeografiado

Una buena aireación sólo puede darse en los suelos con un buen porcentaje de poros libres de agua, por los que circula libremente el aire. De allí la importancia de evitar los excesos de agua, pues ésta en demasía, desaloja el aire de los poros, provocando la conocida asfixia radicular. Esta es muchas veces irreversible (si tiene una duración larga), o por lo menos limitando o acortando la vida y el desarrollo de los vegetales.

Figura N° 5.- Esquema de una raíz rodeada por las partículas de suelo

(el aire confinado en el interior del suelo controla los procesos químicos en la raíz)



Se produce un activo intercambio gaseoso entre la atmósfera y el suelo, el que al parecer, sucede en su mayor parte por simple difusión de las moléculas gaseosas. Al producirse excesos hídricos, el suelo se empobrece en O₂ por acumulación del CO₂, al impedirse la libre difusión de los gases, provocándose entonces los problemas mencionados. En suelos bien drenados, hasta 1 m de profundidad aproximadamente, el oxígeno presente es superior al 17,5 %.

4.- Componentes líquidos. Agua del suelo.

4.1. Introducción

El agua es imprescindible para la vida y es un componente fundamental de los seres vivos. La encontramos presente en todos ellos, desde los más sencillos como las algas unicelulares o los más pequeños como los microorganismos, hasta los más complejos como los vegetales y los animales superiores, incluyendo al hombre. Pero menos del 1 % es usada directamente en los procesos vitales y el resto se usa como reactivo, como constituyente y/o es perdida por la transpiración.

AGUA

- Principal constituyente protoplasmático de las células vegetales y animales (85-90 % del peso fresco)
- Reactivo en la fotosíntesis y los procesos hidrolíticos
- Solvente de minerales, gases, ácidos y solutos orgánicos
- Mantenimiento de la turgencia celular
- Crecimiento celular, forma de las células, movimiento estomático

Cuadro N° 6.- Contenido de agua de varios tejidos vegetales (% de peso fresco)

Organo Vegetal	Vegetal / denominación botánica	Tipo de tejido	Contenido de agua
Raíces	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Región apical de la raíz	93,0
	Pino (<i>Pinus taeda</i>)	Región apical de la raíz	90,2
	Pino (<i>Pinus taeda</i>)	Raíces micorríticas	74,8
	Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	Raíz comestible	88,2
	Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	Sistema radicular (completo de 7 semanas)	87,5
Tallos	Espárrago (<i>Asparragus officinales</i>) Cv Altilis	Tallo comestible	88,3
	Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	Promedio de tallos de 7 semanas	87,5
	Pino (<i>Pinus echinata</i>)	Madera	50-60
Hojas	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Hojas inferiores	94,8
	Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	Promedio de hojas de 7 semanas	81,0
	Repollo (col) (<i>Brassica olerácea</i> var. <i>Capitata</i>)		86,0
	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Hojas maduras	77,0
Frutos	Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)		94,1
	Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i>)		92,1
	Frutillas (<i>Fragaria x ananassa</i>)		89,1
	Manzana (<i>Malus silvestres</i>)		84,0
Semillas	Maíz (<i>Zea Mays</i>) Dulce comestible		84,8
	Maíz común (<i>Zea mays</i>)		11,0
	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)		10,2
	Maní (<i>Arachis hypogea</i>)		5,2

Fuente: Steward, FC.

Saliendo de la biología encontramos el agua también en todo tipo de

tareas y ambientes agropecuarios en algunas de sus múltiples formas y usos.

El suelo no podía escapar a esta realidad. Dentro de él, el agua ocupa un importante lugar con variadas funciones. Pero esta agua forma parte, al igual que el resto, de un mismo ciclo denominado "ciclo hidrológico".

En la **Figura N° 6**, pueden observarse las mínimas proporciones de agua que podemos encontrar en el suelo (0,16 % del agua total del planeta Tierra) y su relación con la cantidad que se encuentra en el resto de la naturaleza.

El conocimiento de los procesos y factores que afectan el origen, la existencia y la circulación del agua del subsuelo, observables en los Ciclos Hidrológicos de la **Figura N° 8**, es esencial para la captación y usos adecuados de dichas fuentes de agua y también para conocer las funciones, características y consecuencias de su acción.

La disponibilidad de agua se está convirtiendo rápidamente en uno de los problemas claves para la agricultura moderna, por eso se piensa que puede llegar a faltar el agua, antes que muchos combustibles. Su disponibilidad y calidad, son una gran limitante y condicionante para la producción agrícola y compite directamente con el consumo humano en muchas zonas, sobre todo las que tienen baja disponibilidad. Por esto se están poniendo a disposición de la producción en estas zonas, aguas de peor calidad, recicladas etc, buscando optimizar su uso por todos los medios.

En este capítulo tendremos en cuenta el agua desde el punto de vista de su participación como un componente fundamental dentro del suelo y no como un capital predial. Por ello no se tiene en cuenta el riego, las fuentes de agua, el transporte, ni el bombeo etc.

El suelo es considerado un gran reservorio (no inerte) de agua, que se llena y se vacía con el aporte de los riegos y/o de las precipitaciones y con la actividad vegetal y las exigencias atmosféricas. Por lo tanto no tiene mucho sentido estudiar el agua del suelo separado del sistema que forma, junto a la atmósfera y a los vegetales. Es decir que nos referimos al SISTEMA: *SUELO – PLANTA – ATMÓSFERA*.



4.2. Distribución y circulación del agua en el subsuelo.

El Ciclo Hidrológico.

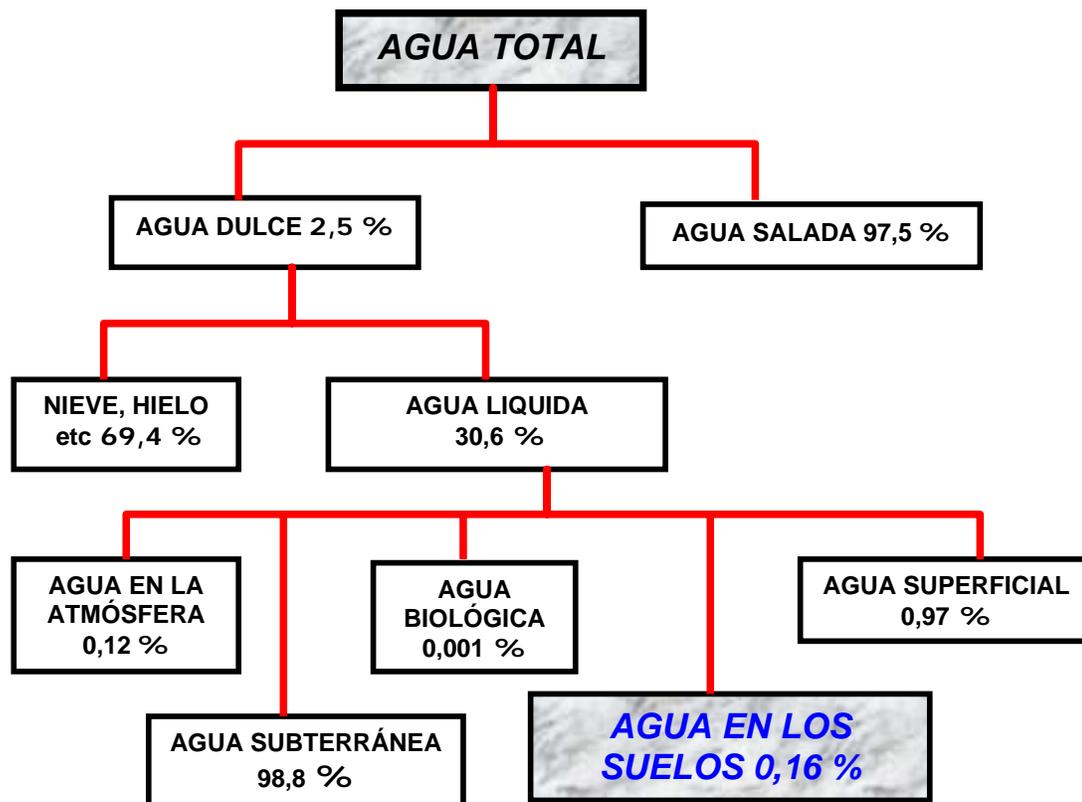
Con el nombre de **CICLO HIDROLOGICO**, conocemos entonces, al sistema cerrado (formado por varios subsistemas) de circulación del agua en estado líquido, vapor o sólido entre los océanos y otras fuentes de agua, a la atmósfera, de ésta a la superficie de la tierra, dónde se

CICLO HIDROLOGICO

Secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida.

infiltra hacia el sub-suelo o se vuelve a evaporar hacia la atmósfera, volviendo una y otra vez en el mismo ciclo (circulación continua) y pasando por diversos pasos intermedios que todos conocemos. Como vemos, el agua permanece dentro del sistema, no saliendo de él y sólo se modifican su distribución y estado. **Este sistema sólo es posible por el aporte energético proveniente de la radiación solar y la acción de la fuerza de gravedad.**

Figura N° 6.- Distribución del agua en el planeta Tierra

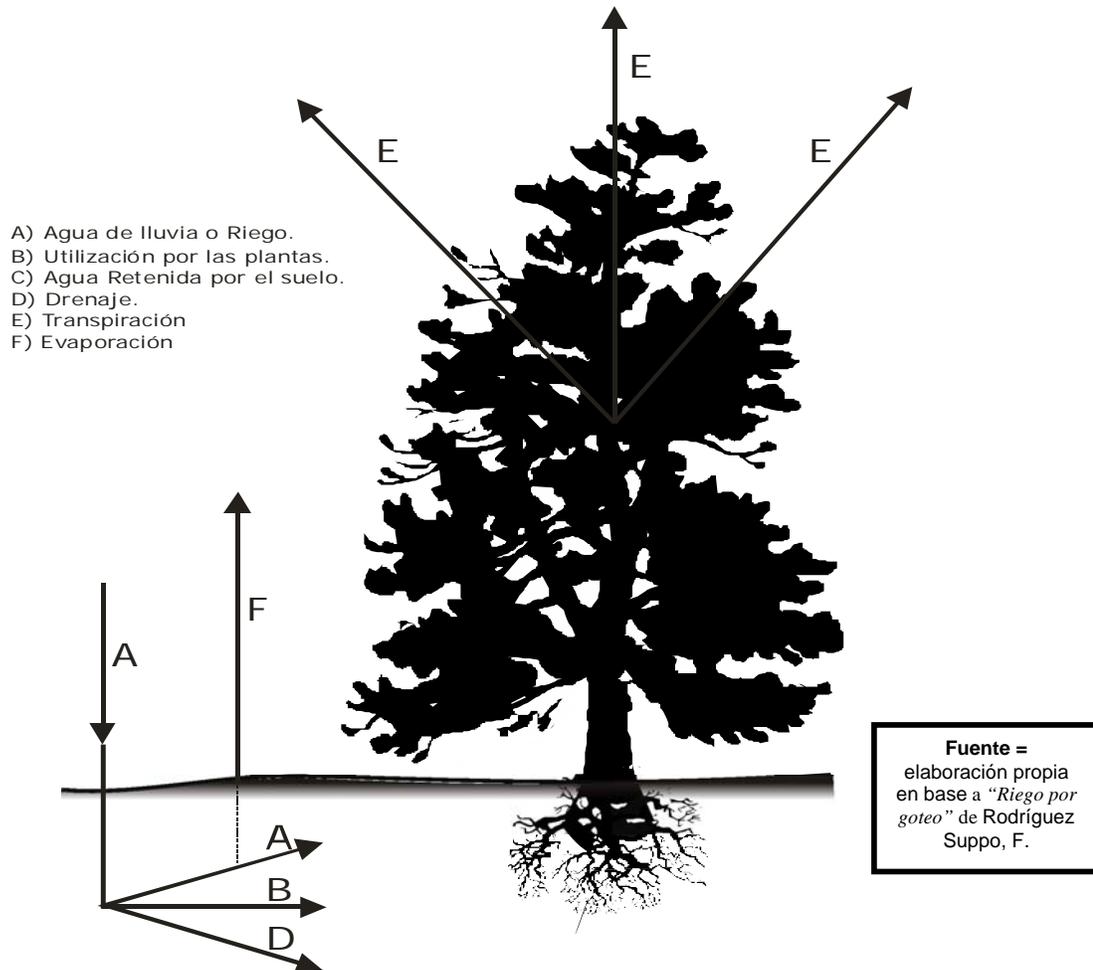


Fuente: Elaboración propia en base al folleto explicativo "Agua Subterránea". Un recurso para riego y para toda la sociedad.

Se estima que este ciclo se formó hace unos cuatro mil quinientos millones de años, con el agua que la Tierra contenía ya en su interior en forma de vapor de agua. Siendo nuestro planeta en su origen, una enorme bola en constante fusión, con cientos de volcanes activos en su superficie, el magma, cargado de gases con vapor de agua, emergió por ellos a la superficie, debido a las erupciones volcánicas permanentes. Luego la Tierra se enfrió, el vapor de agua se condensó y cayó nuevamente al suelo en forma de lluvia.

Decimos que este ciclo, comienza con la *evaporación* del agua desde la superficie de los océanos u otros cuerpos de agua superficiales, como lagos y ríos. A medida que se eleva el vapor, el aire humedecido se enfría y se transforma en agua, luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar los 1.000 Km; a este fenómeno se le llama *condensación*. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes.

Figura N° 7.- Sistema AGUA-SUELO-PLANTA



Cuando las gotas de agua caen por su propio peso, se produce lo que se denomina *precipitación*. Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo, con una estructura cristalina, en el caso de la nieve o con estructura granular, en el caso del granizo. En cambio, cuando la temperatura de la atmósfera es más bien cálida, el agua se precipita como lluvia. La precipitación incluye también el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua, que es a lo que comúnmente llamamos *rocío*, o por congelación del vapor, las famosas *heladas*, tan comunes en nuestro medio y que hacen mucho daño si son tardías.

EVAPOTRANSPIRACION

La pérdida de agua desde los vegetales (transpiración) y desde el suelo directamente (evaporación), constituyen las necesidades de agua de las plantas (Rovira, L. 2001)

El agua que se precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte será aprovechada por los seres vivos. Otra, es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; una porción más, se escurre por la superficie del terreno, concentrándose en surcos, originando así las líneas de agua, formando corrientes o cursos, cada vez de mayor

tamaño, llegando hasta ríos, mares, lagos, lagunas etc.

El agua restante se *infiltra*, esto es, penetra en el interior del suelo formando "capas" de agua subterránea; a esto se le conoce como *percolación*. Este escurrimiento subterráneo pasa a través de medios porosos como los suelos, con gran lentitud, alimenta también los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Figura N° 8.- El Ciclo Hidrológico (1)



Fuente: "Síntesis sobre las problemáticas del agua en la producción agropecuaria". Hofdtadter, R., García, F. Estol, E. 1979

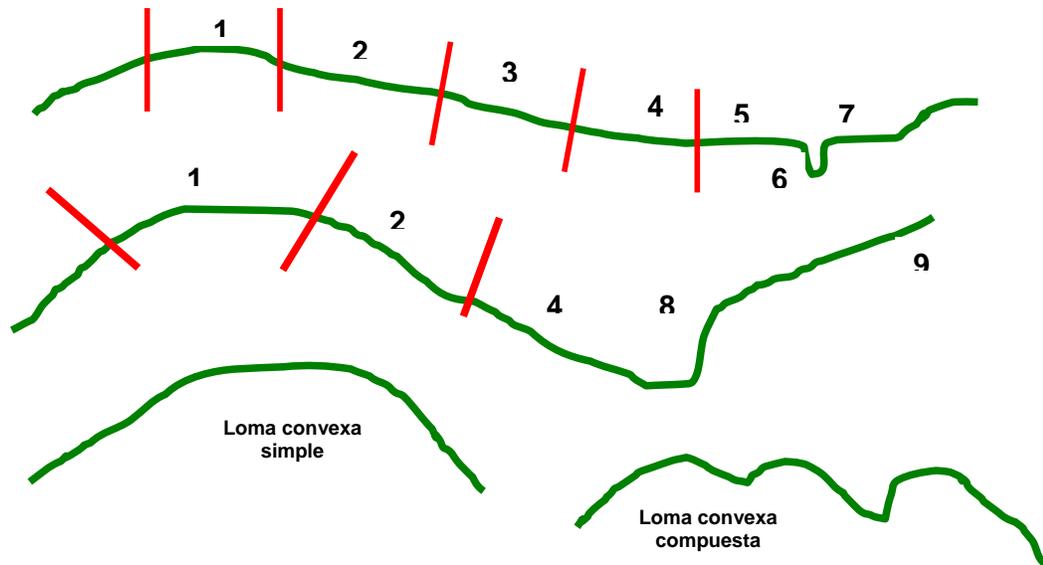
El agua infiltrada puede volver a la atmósfera por el mecanismo de la *evapo-transpiración*, o bien, puede alcanzar la profundidad de las napas freáticas. Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo, también alimentan lagos y océanos. En algún momento, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la *evaporación*. Por eso se dice que la cantidad total de agua que existe en la Tierra (en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa), se ha mantenido constante desde la aparición de la humanidad.

El término de *evapotranspiración* se emplea cuando hablamos de la cantidad de agua que se mueve en conjunto, por medio de los procesos de evaporación y transpiración.

A continuación diremos algunas cosas de estos procesos. Al evaporarse, el agua deja atrás muchos de los elementos que la contaminan o la hacen no apta para beber (sales minerales, químicos, desechos). Por eso se dice que el ciclo del agua nos entrega un elemento puro.

Figura N° 9.- Posiciones en el relieve relacionadas con el escurrimiento de agua.

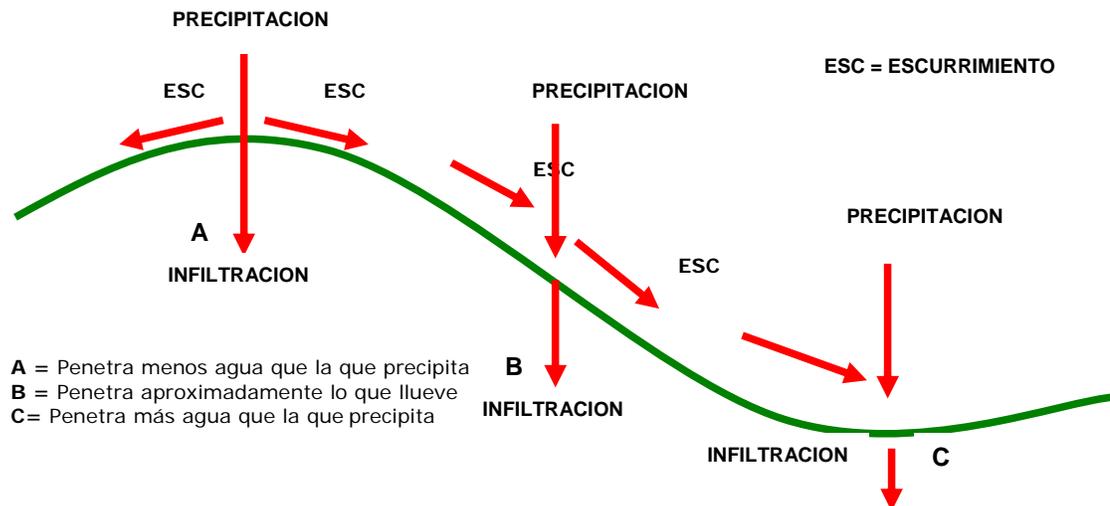
1	Divisoria de aguas	4	Ladera baja	7	Terraza
2	Ladera alta	5	Planicie aluvial	8	Vaguada
3	Ladera media	6	Cauce	9	Meseta



Existe también otro proceso purificador del agua y que forma parte de este ciclo, se trata de la *transpiración* de las plantas. Las raíces de las plantas absorben el agua, la cual se desplaza hacia arriba a través de los tallos o troncos, movilizándolo consigo los elementos que necesita la planta para nutrirse. Al llegar a las hojas y flores, se evapora hacia el aire en forma de vapor de agua. Este fenómeno es la transpiración.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes.

Figura N° 10.- Penetración y escurrimiento del agua en el relieve



La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la

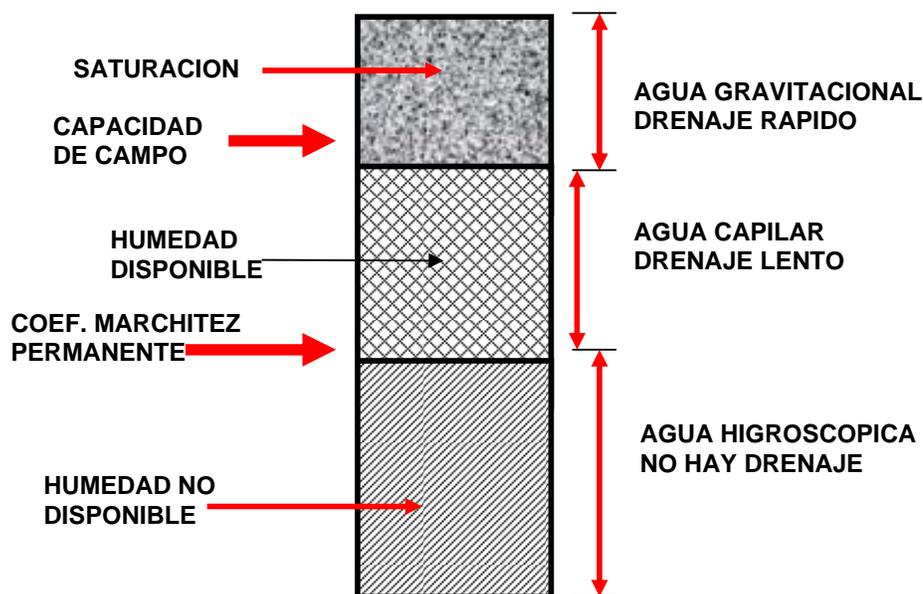
erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra. El ciclo hidrológico puede ser visto así, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el planeta.

En la llamada “solución del suelo”, encontramos el agua y las sustancias minerales disueltas en ella. Cumple entonces también la función de solubilizar las sales, que van a ser transportadas hacia las raíces nutriéndolas.

El contenido de agua del suelo es sumamente variable, dependiendo de las precipitaciones que se produzcan, los riegos que se realicen o la evaporación desde el suelo y la transpiración desde las plantas.

El suelo permite el pasaje de una parte del agua del riego y de una parte de las precipitaciones, hacia las napas freáticas. Dicho movimiento descendente se debe a la influencia de la fuerza de gravedad. Pero el suelo posee además la capacidad de retener una parte del agua que se filtra. Esta retención supone la presencia de fuerzas capaces de contrarrestar la acción de la gravedad. El agua así retenida, se pierde más o menos lentamente por evaporación o es absorbida, al menos en parte por las plantas.

Figura N° 11.- Clases de disponibilidad de agua en el suelo para las plantas y características del drenaje. (Adaptado de Hansen, Israelsen, y Strigham, 1979 citado por Rovira, L. y Cardelino, G. 1987)



Fuente: Baccino Giannetto, G. "Manual de Riego. Una guía para productores que se inician en el riego".

El suelo se provee de agua a través de la infiltración de al menos una parte de las precipitaciones y el riego. El agua de las napas freáticas, es una fuente importante sólo en aquellos suelos en que éstas se encuentran a poca profundidad, en cuyo caso el ascenso capilar puede ser de magnitud significativa.

En las Figuras N° 9y 10, se pueden observar como las diferentes posiciones en el relieve así como también la forma de éste, influyen en el escurrimiento del agua por la superficie así como en la infiltración de ésta dentro del perfil y por lo tanto en su acción en profundidad.

En la Figura N° 10, en el caso de la posición C, vemos que se puede

convertir en una zona mal drenada o incluso anegada, si la infiltración es menor que el agua que recibe (la aportada por la precipitación más la que escurre por la ladera) y la naturaleza del terreno, los impedimentos artificiales y/o la misma topografía, pueden impedir la salida natural de dicha agua.

4.3. Retención del agua por el suelo.

El fenómeno de retención de agua por el suelo, está relacionado al tamaño y distribución de los poros y a la atracción que ejerce la fracción sólida sobre la humedad. Tal vez una de las formas más sencillas de analizar las relaciones suelo-planta, es siguiendo los cambios que ocurren durante y a continuación de una lluvia o de la aplicación del agua de irrigación.

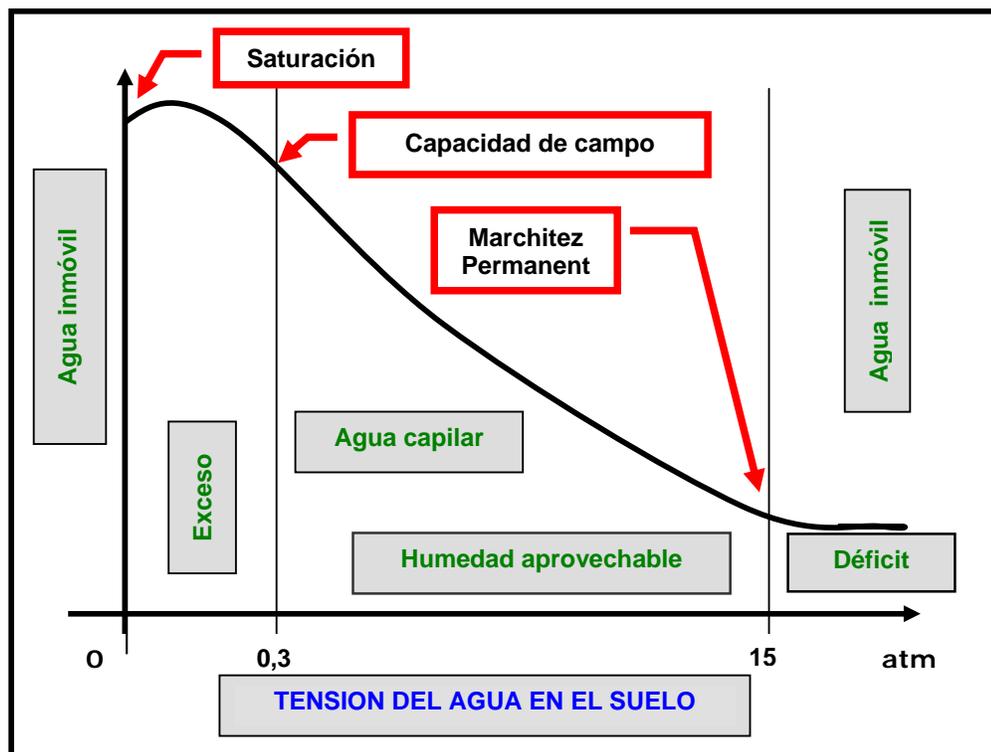
4.3.1. Capacidad máxima de retención de agua

En suelos bien drenados, tal situación tiene lugar por cortos períodos de tiempo, por ejemplo inmediatamente después de un fuerte agregado de agua proveniente de la lluvia o del riego. Los suelos muy pobremente drenados, como los pantanosos por ejemplo, pueden estar a su capacidad máxima de retención en forma permanente o casi permanente. (Ver la "Porosidad", como una propiedad física de los suelos, en el **Capítulo N° 10**).

**CAPACIDAD MAXIMA DE
RETENCION DE AGUA**

**Es el contenido máximo de agua
de un suelo cuando todos los
poros están llenos de este líquido**

Figura N° 12.- Estados de humedad del suelo



La lectura del **Cuadro N° 7**, nos dice por ejemplo, que un suelo arcilloso que tenga una capacidad del 11,6 %, podemos interpretar que por cada 100 Kg de ese suelo, encontraremos 11,6 Kg de agua. Y que por cada 100 Kg de un suelo arenoso, encontraremos entre 4,1 y 5,8 Kg de agua. Por lo tanto, podemos observar que los suelos pesados o arcillosos, tienen una gran capacidad de almacenaje, mucho mayor que los arenosos.

La permeabilidad, es la velocidad de infiltración del agua en el perfil, que es mucho mayor en un suelo arenoso o liviano, que en uno pesado (denominación antigua que aún se usa mucho en nuestro medio por la claridad del concepto que encierra, en contraposición a los livianos o arenosos y que alude a la facilidad o no para el laboreo). Esto es muy importante tenerlo en cuenta para el riego y no sobre o subvaluar el contenido de arcilla, limo o arena.

Cuadro N° 7.- Capacidad de almacenamiento de agua en los diferentes suelos (%)

Textura	Capacidad del suelo	PMP	Agua disponible
Arenoso	9	2	7
Arenoso franco	14	4	10
Franco arenoso	23	9	14
Franco	34	12	22
Franco arcilloso	30	16	14
Arcilloso	38	24	14
Arcilloso bien estructurado	50	30	20

Fuente: "Orientaciones básicas para el uso del riego en la producción granjera". Rovira, L. PREDEG N° 5. Enero 2001. PMP = Punto de Marchitez Permanente.

4.3.2. Capacidad de campo (C.C.)

Una vez que se "corta" el suministro de agua a un suelo bien drenado, una parte de la misma percolará a través del suelo hacia las profundidades. Este movimiento de agua virtualmente cesa a las 24 ó 48 hs de iniciado. En este momento se dice que el suelo se encuentra a **CAPACIDAD DE CAMPO**.

Cuando el suelo está en su capacidad de campo, el agua está retenida con muy poca fuerza, aproximadamente con 0,05 Kg/cm², pero a medida que el suelo pierde agua, esta fuerza va aumentando.

4.3.3. Coeficiente de Marchitez Permanente (C.M.P.) (*)

Si en el suelo a capacidad de campo se están desarrollando plantas, éstas absorberán agua y disminuirá la cantidad de la misma retenida por el suelo. Parte del agua absorbida por las plantas se pierde en la atmósfera por transpiración y parte directamente desde el suelo por evaporación desde la superficie.

Cuadro N° 8.- Agua retenida y permeabilidad de los diferentes tipos de suelos

Suelos	Agua retenida (%)	Permeabilidad máxima (mm/h)
Arenosos	4,1 – 5,8	19
Arenosos francos	5,8 – 9,1	12,7
Franco-arenosos	6,6 – 11,6	10,9
Franco	8,3 – 16,6	8,9
Franco-limosos	10 – 15	7,6
Franco arcillosos	10,8 – 17,5	6,4
Arcillo-limosos	11,6 – 20,8	5
Arcillosos	11,6 - 20	3,8

Fuente: Rodríguez Suppo. F. "Riego por goteo". 1982

Cuadro N° 9. - Parámetros hídricos del horizonte superficial de algunos suelos del Uruguay (Tomado de García, 1980)

Suelo (Anterior denominación)	Suelo (Nueva denominación)	Capacidad de campo (mm/10 cm)	Coefficiente de Marchitez (mm/10 cm)	Agua disponible (mm/10 cm)
Pradera Parda Media	Brunosol Sub-Eutrítico Típico	38,0	18,0	20,0
Grumosol	Vertisol Ruptico Lúvico	39,1	21,3	17,8
Pradera Arenosa	Argisol Sub-Eutrítico -Ocrico Melánico	24,7	9,7	15,0
Pradera Arenosa	Argisol / Planosol -Dístrico	18,3	5,8	12,5

Fuente: Rovira, L. y Cardellino, G. "Elementos de riego para productores". 1986. MGAP.

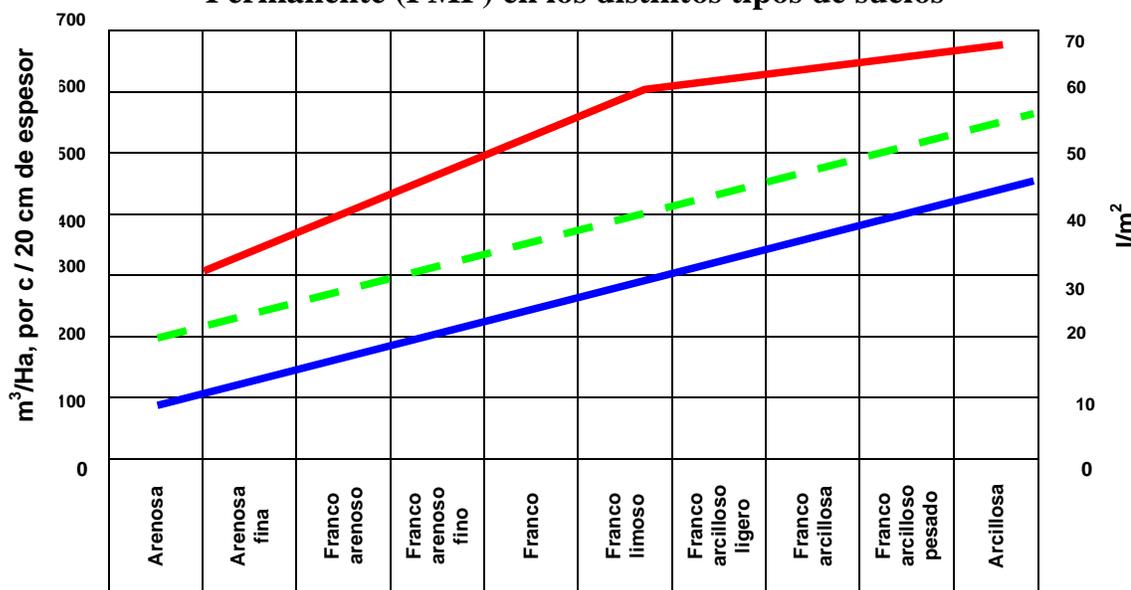
La disminución del agua retenida en el suelo, provocará el marchitamiento de las plantas, al principio sólo durante el día por la acción del sol, para recuperarse en la noche al disminuir la demanda o exigencia atmosférica. Finalmente, si rápidamente no se agrega agua al suelo, el suministro de agua a las plantas, será tan lento que ellas se marchitarán en forma permanente e irreversible, muriendo luego. El suelo al llegar a este punto, se encuentra en su **COEFICIENTE DE MARCHITEZ PERMANENTE (CMP)**. En este momento, se considera que la fuerza de retención del agua es aproximadamente de unos 16 Kg/cm².

De todas maneras, se considera que bastante antes de llegar a esta etapa y desde el punto de vista productivo-económico, aunque se recuperen las plantas por el agregado de agua, probablemente no se recuperarán los rendimientos perdidos, ni la calidad de los productos, ni el atraso en el ciclo de vida del cultivo, por lo que debe hablarse realmente de pérdida de productividad.

Si el suelo es ahora estudiado por métodos adecuados, se puede observar que aún posee una cierta cantidad de humedad. Esta agua remanente ocupa los poros más pequeños o aparece como "películas" de humedad alrededor de las partículas individuales del suelo. Es obvio pues que una cierta

cantidad del agua contenida en el suelo, no es aprovechable por las plantas.

Figura N° 12 Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) en los distintos tipos de suelos



Fuente: Rodríguez Suppo, F. "Riego por goteo". 1982

4.3.4. Coeficiente higroscópico

Si una muestra de suelo en el punto del Coeficiente de Marchitez se deja en el laboratorio, en una atmósfera saturada de vapor de agua, perderá aún algo de ella, que es la retenida en los microporos más diminutos.

El suelo en este punto, aún contiene cierta humedad, asociada a las partículas individuales, especialmente las coloidales. Esta agua está retenida tan fuertemente que no se comporta como líquida y solo se mueve en forma de vapor. El contenido de humedad del suelo en este punto se denomina **COEFICIENTE HIGROSCÓPICO**.

De lo expuesto anteriormente surgen dos hechos:

- El agua está retenida en el suelo con una cierta tensión, la cual debe ser vencida para extraerla.
- Cuanto menor es el contenido de agua, mayor es la tensión con que está retenida

Hay dos fuerzas fundamentales involucradas en los mecanismos de retención de agua: la **ADHESIÓN** y la **COHESIÓN**.

ADHESIÓN → Es la atracción de las superficies de las partículas sólidas sobre el agua

COHESIÓN → Es la atracción de las moléculas de agua entre sí

Las moléculas de agua son retenidas rígidamente por adhesión a las superficies sólidas y éstas moléculas a su vez, retienen por cohesión otras moléculas de agua.

Mediante ambos mecanismos, el agua es retenida con tenacidad tanto menor, cuanto mayor es la distancia a la superficie de las partículas. En consecuencia cuando el suelo está casi saturado, es fácil eliminar una cierta cantidad de agua. Pero al disminuir el contenido de humedad en el suelo, la

energía de retención de la misma aumenta y por lo tanto mayor será la fuerza necesaria para extraer la misma cantidad de agua.

Cuadro N° 10.- Guía para evaluar el contenido de agua del suelo

(Rovira, L, y Cardellino, G. 1987)

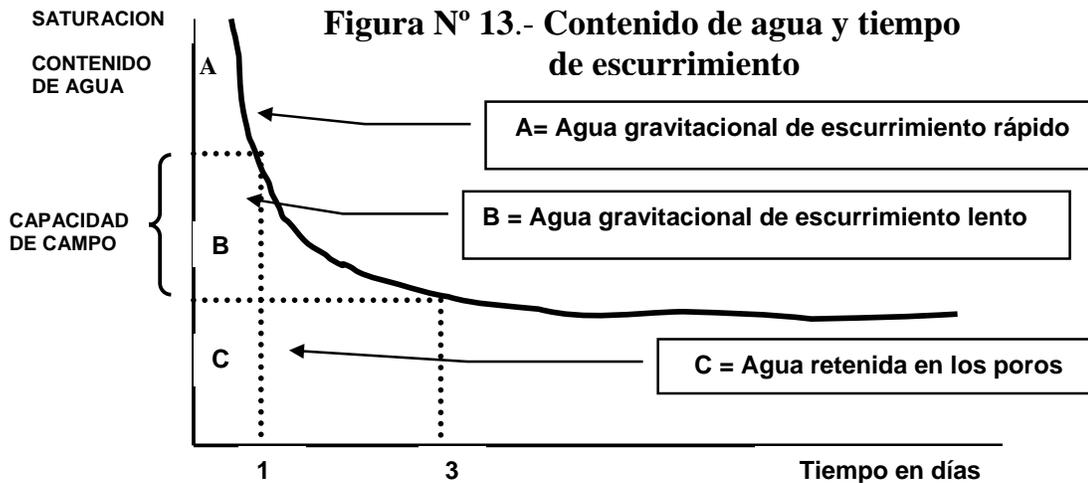
Agua disponible del suelo (%)	Palpamiento o apariencia del suelo		
	Textura arenosa	Textura media	Textura arcillosa
0 a 25	Seco, suelto, fluye entre los dedos	Seco, polvoroso, en ocasiones ligeramente costroso, pero fácilmente reducible a polvo	Duro, desecado, agrietado. En ocasiones, con granos sueltos en la superficie
25 a 50	Parece seco, no se forma bola con la presión	Tiende a desmoronarse pero se mantiene compacto con la presión	Algo moldeable. Forma una bola con la presión.
50 a 75	No se forma bola con la presión, pero rara vez se mantiene compacta	Forma bola un tanto plástica y en algunas ocasiones puede alisarse ligeramente con la presión	Forma una bola y brota entre los dedos al apretarse.
75 hasta capacidad máxima (100 %)	Tiende a aglutinarse o forma bola de poca consistencia, se desmenuza fácilmente y nunca queda lisa	Forma bola y es muy moldeable. Se alisa fácilmente, siempre que tenga un porcentaje elevado de arcilla	Brota fácilmente entre los dedos y parece aceitosa al tacto
A capacidad máxima (100 %)	Al comprimir, no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra pero si queda en la mano el contorno húmedo de la bola	Al comprimir no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra, pero sí queda en la mano el contorno de la bola	Al comprimir, no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra, pero sí queda en la mano el contorno húmedo de la bola

Fuente: "Manual de Riego". Una guía para productores que se inician en el riego. Baccino Giannetto, G. **Nota:** La bola se forma al comprimir un puñado de suelo con mucha firmeza.

La energía de retención del agua se expresa en distintas unidades. Un medio de expresarlas es en términos de la altura en centímetros de una columna de agua cuyo peso equivale exactamente a la tensión considerada. Para evitar trabajar con cifras muy altas, se puede usar no la altura directa, expresada en cm de la columna de agua, sino el logaritmo de dicha altura, denominándose entonces a este valor **pF**. La expresión de la tensión con que el agua es retenida en el suelo en centímetros de agua o en unidades de **pF**, es de poco uso en la actualidad.

El método más generalizado en el presente, es el de expresar la tensión en atmósferas o bars dónde:

1 atmósfera (atm) → 760 mm de mercurio (Hg)
 1 bar → 750 mm de Hg



A = Ocupa poros de $\phi > 30 \mu$ y está retenida con menos energía que 0,1 atm.

B = Ocupa poros de ϕ entre 30 y $8,6 \mu$. Está retenida con energía entre 0,1 y 0,3 atm.

C = Agua retenida en poros de $\phi < 8,6 \mu$ y con energía de unas 0,3 atm.

Si se determinan los valores de la tensión con que el agua es retenida a diversos contenidos de humedad, se pueden construir gráficas que indican la relación: energía de retención / contenido de agua. La forma de las gráficas varía de un suelo a otro (si bien las tendencias son similares) en función de la textura.

Cuadro N° 11.- Tabla de equivalencias de las distintas unidades de la tensión

Altura en cm de una columna de agua	Atmósferas o bars de presión	Valores de pF
1	1/1000	0
100	1/10	2
346	1/3	2,54
1000	1	3
15.849	15	4,2
31.623	31	5,4
10.000.000	10.000	7

Quando el suelo está muy húmedo, basta una pequeña tensión para extraer algo de agua y contrariamente, cuando el suelo está casi totalmente

desprovisto de agua, esta es retenida a tremendas presiones negativas (tensiones).

A una mínima tensión, cualquiera sea su valor, los suelos con mayor contenido de coloides (arcillas y materia orgánica) poseen un contenido de agua más elevado. Esto es lógico, ya que cuanto mayor es el tenor en coloides, mayores son el espacio poroso total y la superficie adsorptiva.

4.4. Clasificación física del agua del suelo

AGUA LIBRE

- Agua del suelo por encima de la Capacidad de Campo.
- Retenida a baja tensión (< 0,337 bars).
- Es indeseable, pues se pierde por drenaje.
- Se mueve bajo la influencia de la gravedad.
- Elimina nutrientes, pues produce lixiviación.

AGUA CAPILAR

- Contenida en los microporos, entre la capacidad de campo y el coeficiente higroscópico.
- Está retenida a tensiones comprendidas entre 0,337 y 31 bars.
- Es sólo parcialmente aprovechable por las plantas.
- Se mueve por ajuste del espesor de los films de agua, desde los gruesos a los finos.

AGUA HIGROSCOPICA

- Esta contenida en el suelo por debajo del coeficiente higroscópico.
- Retenida a tensiones mayores a 31 bars.
- Retenida por los coloides del suelo.
- Carece prácticamente de propiedades líquidas.
- Se mueve principalmente en forma de vapor.

Si bien los cambios de tensión que ocurren al variar el contenido de agua son graduales, se pueden establecer límites que separan distintas formas o tipos de humedad edáfica. Los mismos son arbitrarios, puesto que los límites entre ellos también tienen este carácter, pero de todas maneras facilitan el estudio de las relaciones **SUELO - PLANTA - AGUA**

Sobre la base de la energía con que es retenida, el agua del suelo se ha clasificado en tres tipos: **LIBRE**, **CAPILAR** e **HIGROSCOPICA**, siendo sus propiedades más importantes las siguientes:

4.5. Clasificación biológica del agua del suelo

De lo expuesto anteriormente, es evidente que no toda el agua presente en el suelo es aprovechable por las plantas. Desde el punto de vista de su utilidad para el desarrollo de los vegetales, el agua del suelo se divide en tres clases: **SUPERFLUA**, **DISPONIBLE** y **NO DISPONIBLE**.

4.5.1. Agua superflua

El agua en exceso de la retenida a capacidad de campo, no es beneficiosa para las plantas, sino que por el contrario resulta perjudicial.

Los efectos adversos de este tipo de agua, llamada superflua o libre son: la disminución de la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas y para los microorganismos por exclusión del aire en los poros y la eliminación de nutrientes por percolación hacia los horizontes más profundos. Este último efecto es más grave en los suelos de texturas gruesas por su mayor permeabilidad. Los nutrientes más solubles son lavados y migran primero.

4.5.2. Agua disponible

Se considera que está disponible para las plantas, el agua retenida entre la Capacidad de Campo y el Coeficiente de Marchitez Permanente. O sea la que se encuentra retenida entre 0,337 y 15 bars de tensión. El coeficiente de marchitez, según lo demuestran numerosas experiencias, es una constante del suelo, en forma independiente de la planta usada para la determinación.

Llama la atención que los síntomas que presentan los vegetales frente a los excesos de agua, son casi idénticos a los que presentan en su punto de marchitez o por debajo de éste.



4.5.3. Agua no disponible

No toda el agua que se encuentra disponible en el suelo, es absorbida por las plantas con igual facilidad. La experiencia demuestra que al aproximarse el contenido de humedad al CMP, la velocidad de absorción de agua por las raíces, disminuye sensiblemente, no alcanzando para mantener un crecimiento óptimo y perdiendo rendimientos.

Cuando se realiza agricultura con riego, éste debe suministrarse antes de que el contenido de agua del suelo disminuya hasta el CMP haciéndolo cuando se ha consumido entre el 50 y el 85 % del agua disponible.

Téngase en cuenta que hay sensibles diferencias entre especies vegetales, en cuanto a ésta característica y por lo tanto en cuanto a sus necesidades de aporte de agua en frecuencia de riegos, cantidad de éstos y momento de aplicación.

4.6. Retención de agua y porosidad del suelo

Como se ha mencionado anteriormente, la relación entre la cantidad de

agua presente en el suelo y la energía con que ella está retenida, da una curva continua.

Los límites que separan los distintos tipos de agua son más o menos arbitrarios, pero resultan de gran utilidad. Así mismo se puede dividir el espacio poroso total del suelo, por el tamaño de los poros, haciendo uso de la relación existente entre el diámetro de los mismos y la tensión con que el agua es retenida.

La clasificación tradicional de los poros del suelo, en capilares y no capilares o en micro y macroporos respectivamente, ha sido criticada por razones tanto técnicas como terminológicas. Mientras tanto, **De Boodt y De Leenher** en 1959, propusieron una clasificación por tamaño del espacio poroso, las características de los poros y las tensiones a las que se retiene el agua, que es científicamente válido y de utilidad práctica.