

Elementos de Edafología y Edafotecnia

A) Definiciones.—B) Génesis de los suelos.—C) Composición de los suelos.—D) Propiedades de los elementos componentes de un suelo.—1.º Arcilla.—2.º Limo.—3.º Arena.—4.º Grava.—5.º Agua. Agua edáfica.—a) Agua de constitución.—b) Agua de cristalización.—c) Agua de imbibición.—d) Agua adhesiva.—e) La higroscopicidad.—f) Agua pelicular.—g) Agua capilar.—h) Agua gravitante.—i) Agua hielo.—j) Agua vapor.—k) Curvas de humedad.—l) Cambios físicos producidos por el agua en los suelos.—m) Interpretación electro-química de los fenómenos producidos en el complejo agua-suelo.—6.º Las sales.

PRIMERA PARTE.—EDAFOLOGIA

Capítulo I.—Propiedades de los suelos

A —DEFINICIONES.

Tierra es la denominación de un material proveniente de la desintegración y de la movilización geológica de las rocas originales de la corteza terrestre.

En el término «desintegración y movilización geológica» se incluyen todas las acciones mecánicas, físicas, químicas y bióticas que pudieran afectar en cualquier forma la situación y las características de los materiales superficiales del planeta.

La *tierra* es el material que constituye los *suelos*.

Suelos o *mantos* son las capas de material térreo ubicadas en la corteza terrestre, dispuestas en forma regular o irregular, y que difieren específicamente de sus vecinas. Ejemplo: sobre una capa de material arcilloso—*suelo arcilloso*—puede existir otra de tierra vegetal—*suelo vegetal*—. Ambos suelos son específicamente distintos.

Perfil edafológico es el sistema sucesivo de mantos desde la superficie hacia abajo, hasta la roca madre.

En general, el conjunto de mantos de un perfil puede ser clasificado en tres *horizontes*:

El horizonte superior, denominado *eluvial*, contiene materiales que han sufrido integralmente los procesos que nos sirvieron para definir a la tierra

El segundo horizonte—el *iluvial*—contiene, más o menos transformados, aquellos materiales del eluvial que el agua ha extraído por lavado y acción química, y arrastrado luego hasta los mantos inferiores.

El último horizonte es la *roca madre* o *substratum* poco alterado.

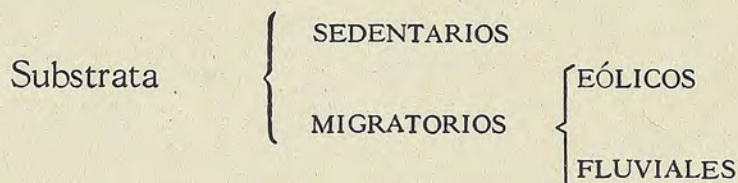
Este esquema sencillo se complica cuando en un perfil se superponen capas correspondientes a formaciones geológicas sucesivas. En este caso los mantos inferiores se denominan *muertos*. También circunstancias locales pueden determinar la formación de varios tipos de suelos, cuyo conjunto recibe el nombre de *complejo edafológico*. Es posible aun que, por otras circunstancias, también de carácter local, no existan los mantos superiores de un perfil. Se habla entonces de *ruina edafológica*.

Los suelos están constituidos por partículas, minerales y orgánicas, conglomeradas o no, cuya procedencia se estudia brevemente en lo que sigue.

B.—GÉNESIS DE LOS SUELOS.

Como de todas las cosas, de los suelos puede afirmarse que son «productos del tiempo». Así, sus características en un instante determinado, no son funciones exclusivamente de las propiedades de la roca madre o *substratum* que les dió origen; sino también de su edad y de la naturaleza e intensidad con que han actuado en el *tiempo* los agentes transformadores, mecánicos, físicos, químicos y bióticos.

Los substrata que originan suelos se clasifican en la siguiente forma:



Un *substratum* es sedentario cuando se ha constituido por desintegración de la roca madre subyacente; es decir, cuando no ha sido movilizado por los agentes exteriores.

Los substrata migratorios resultan de la acumulación de partículas traídas por el agua o el viento desde otras regiones. Los que son traídos por el agua se llaman fluviales; y los que por el viento, eólicos.

Sobre todos los fenómenos de transformación de las capas superficiales del planeta influye preponderantemente la energía radiante que nos llega del sol.

En lo que sigue expondré un ejemplo típico de desintegración de roca.

Nuestra roca más característica es el granito; el cual, como se sabe, se compone de mica, feldespato y cuarzo.

La mica es un silicato hidratado de aluminio, potasio y magnesio. El feldespato es un silicato doble de aluminio, potasio, sodio y calcio. El cuarzo es sílice pura.

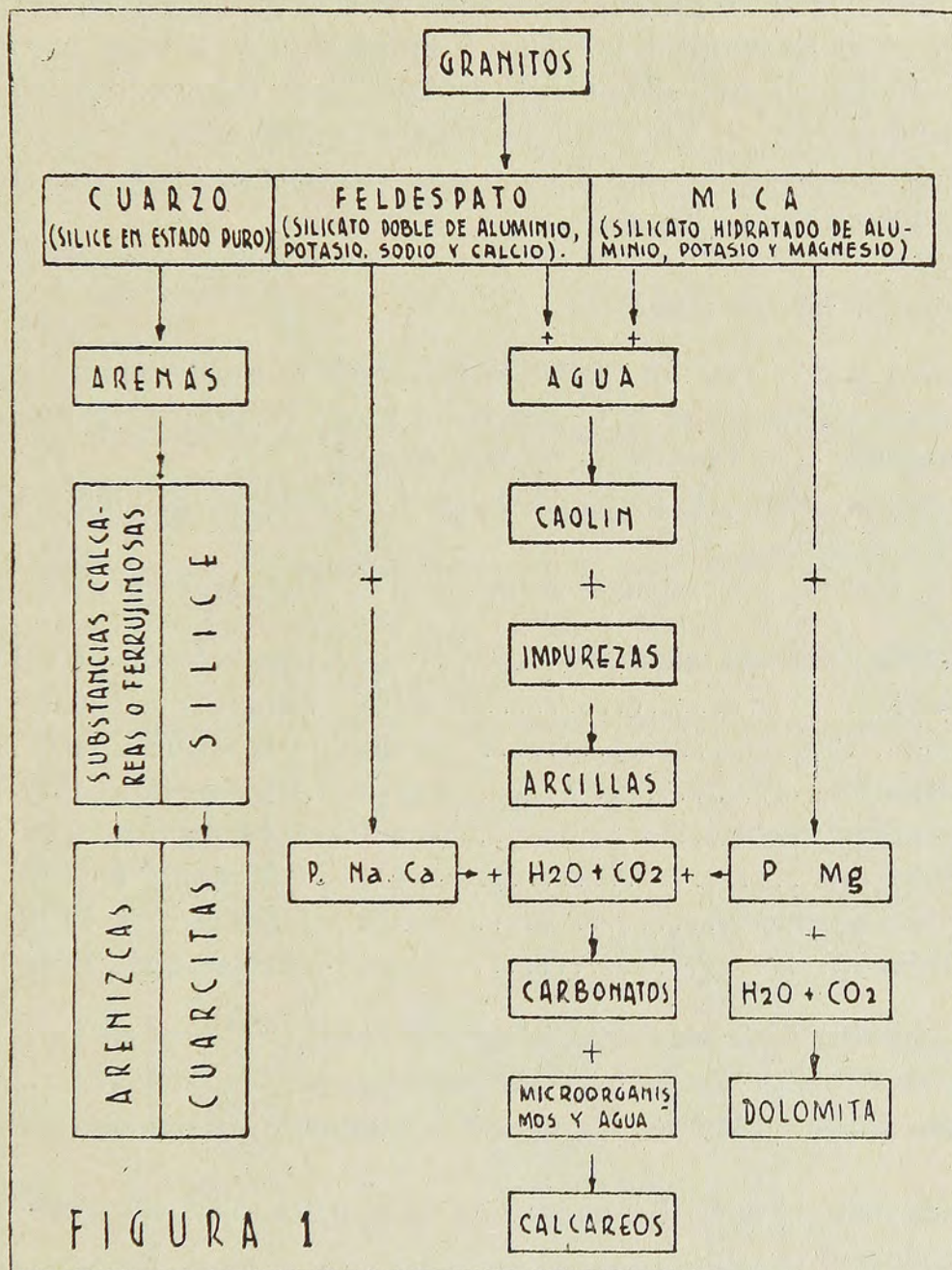
Los agentes atmosféricos destruyen el granito; a la vez por acción mecánica, física y química. El mecanismo de la destrucción es el que sigue:

El anhídrido carbónico, con el sodio, potasio y calcio, da carbonatos solubles en agua cargada con CO_2 , la cual los disuelve y los transporta lejos de sus sitios de origen. Con esto, la mica y el feldespato quedan reducidos a un compuesto inestable—un silicato de aluminio—que en contacto con el agua se hidrata para formar caolín: el cual con diversas impurezas, recibe el nombre de *arcilla*.

El cuarzo es refractario a la acción química; en cambio, la acción mecánica de arrastre que se produce en su transporte por los vehículos agua y aire, lo transforman en ese material que consumimos con el nombre de *arena*.

Las arenas son susceptibles de formar ciertos hormigones con diversas sustancias ligantes: son esas piedras granulosas, ásperas, que se llaman arenizcas. Las sustancias ligantes pueden ser calcáreas, ferruginosas, silíceas, etc. Cuando el material ligante es silicioso, la arenizca recibe el nombre de *cuarcita*.

A continuación copio un esquema muy conocido de la desintegración del granito. (Figura N.º 1).



Los suelos, las capas de material térreo, no provienen—como ya se ha dicho—únicamente de estas transformaciones. Posteriormente viene la *movilización* geológica de los materiales desintegrados (denudación y sedimentación fluviales y eólicas) y la actuación de las sustancias organizadas biológicamente.

La influencia de la acción biótica es más importante de lo que parece a primera vista. El primer lugar entre estos agentes lo ocupa la materia biológica unicelular.

Estos seres microscópicos han ejercido y ejercen una influencia increíblemente grande en la transformación de los suelos. Cabe citar entre ellos a las diatómeas, que son plantitas unicelulares, que viven dentro de una caparazón de materia silicosa. Determinan el suelo que se llama suelo de *diatómeas*.

Los vegetales superiores forman gruesos mantos de suelos vegetales.

Los animales superiores desarrollan casi exclusivamente una acción mecánica; porque entre las substancias expulsadas de sus cuerpos, de acuerdo con sus procesos vitales, predominan los compuestos albuminosos, que, bajo la acción de la interperie, se reducen casi totalmente a gases.

Sin embargo, esta acción mecánica suele tener importancia en ciertos casos; por ejemplo, el de las hormigas brasileñas *Termites* *atta cephalotes*, que han transportado la arcilla del subsuelo al suelo arenoso, hasta cubrirlo con una capa de metro y medio de espesor. En Chile, los ratones cordilleranos que se conocen con el nombre de *tunducos*, movilizan cantidades apreciables de tierra, al construir sus galerías subterráneas.

C.—COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS.

Los suelos se componen de partículas más o menos conglomeradas, cuyo tamaño varía desde las fracciones de micrón hasta varios centímetros. Pueden caracterizarse atendiendo a su tamaño o a su naturaleza.

Según su naturaleza, las partículas pueden ser: rocosas, de arcilla, láminas de mica, diatómeas, turba y sales.

Según el tamaño, las partículas de un suelo se clasifican en la siguiente forma:

Coloides viscosos adhesivos.....		menores que	0,001 m/m
Arcilla.....		menores que	0,005 m/m
Limo.....	desde	0,005 m/m a	0,05 m/m
Arena fina.....	»	0,05 m/m a	0,42 m/m
Arena gruesa.....	»	0,42 m/m a	2,00 m/m
Grava fina.....	»	2,00 m/m a	12,70 m/m
Grava gruesa.....	»	12,70 m/m a	38,10 m/m
Piedras.....		mayores que	38,10 m/m

En edafotecnia suele ser necesario agrupar estos elementos en agregados. Así, en cálculos de estabilización, es frecuente encontrar las siguientes notaciones:

Agregado grueso.—Material mayor que 2 milímetros. (Retenido en el tamiz de 10 mallas).

Agregado fino.—Material comprendido entre 0,074 m/m y 2 m/m. (Pasa 200 mallas y es retenido en 10).

Conglomerante.—Material menor que 0,074 m/m. (Pasa 200 mallas).

Al determinar las constantes hídricas de un material, se emplea una parte de él que se llama:

Suelo fino, y que está formado por todas las partículas menores que 0,42 m/m (Pasa 40 mallas).

En el estudio de las propiedades resistentes de un suelo, se hace uso de un material que se denomina:

Mortero de suelo.—Y que es aquella parte de un suelo que pasa por el tamiz de 10 mallas. (Material menor que 2 m/m.).

TAMICES		270 200		40		10		1/2		1/2		
CLASIFICACION GRANULOMETRICA	COLOIDES	LIMO		ARENA FINA		ARENA GRUESA		GRAVA FINA		GRAVA GRUESA		
	ARCILLA NO COLOIDAL											
	CONGLOMERANTE		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO					
	MORTERO DE SUELO											
	SUELO FINO				SUELO GRUESO							
SUELO												
(1) METROS	0001	0005	0010	0050	0100	0250	0500	1000	2000	5000	10000	50000

FIGURA 2

En edafotecnia no se acostumbra a individualizar un material por su tamaño medido en milímetros, sino por el tamiz que pasa o que lo retiene. El cuadro que sigue proporciona las características de los tamices empleados en América.

Mallas por pulgada lineal	ANCHO INTERIOR DE LA MALLA l		DIÁMETRO DEL HILO D		Mallas por centímetro lineal
	Pulgada	m/m	Pulgada	m/m	
N.º 10	0,0787	2,000	0,0299	0,760	3,6
20	0,0331	0,840	0,0165	0,420	7,9
30	0,0232	0,590	0,0130	0,330	10,9
40	0,0165	0,420	0,0098	0,250	15,0
50	0,0117	0,297	0,0074	0,188	20,5
60	0,0098	0,250	0,0064	0,162	24,5
70	0,0083	0,210	0,0055	0,140	28,5
80	0,0070	0,177	0,0047	0,119	34,0
100	0,0059	0,149	0,0040	0,102	40,0
120	0,0049	0,125	0,0034	0,086	47,5
140	0,0041	0,105	0,0029	0,074	56,0
170	0,0035	0,088	0,0025	0,063	66,0
200	0,0029	0,074	0,0021	0,053	79,0
230	0,0024	0,062	0,0018	0,046	92,5
270	0,0021	0,053	0,0016	0,041	106,0
325	0,0017	0,044	0,0014	0,036	125,0

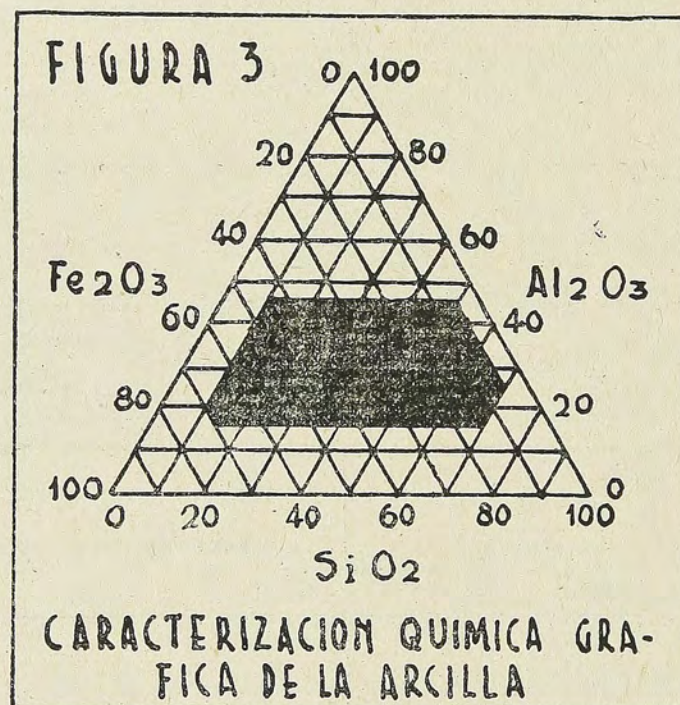
(1) Substitúyase la palabra metros por milímetros.

D.—PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS COMPONENTES DE UN SUELO.

1.º Arcilla. Partículas menores que 0,005 m/m.

El material menor que cinco micrones—la arcilla—es lo que se denomina corrientemente «fracción activa de un suelo». Se la llama así por la actividad físico-química intensa que la caracteriza; y que no es poseída por el resto de las partículas de los suelos.

La arcilla no es un compuesto químico de fórmula definida; sino un material de composición variable. De un cuadro que sintetiza la composición química de diversas arcillas, he calculado los siguientes límites que la definen; y que me han permitido confeccionar el gráfico de la figura N.º 3.



Si O ₂	Desde	10%	hasta	70%
Al ₂ O ₃	»	15%	»	45%
Fe ₂ O ₃	»	5%	»	70%

Las partículas más finas de la fracción arcilla, y las partículas del mismo orden de tamaño de los compuestos húmicos (Derivados de la descomposición de la materia orgánica) tienen propiedades de coloides; y son justamente estas propiedades las que dan carácter a los suelos.

En lo que sigue se hará un breve estudio de las propiedades de los coloides.

Se llama solución coloidal a una solución en la cual el cuerpo disuelto no se encuentra dividido hasta la molécula, sino hasta partículas cuyo tamaño fluctúa entre el micromicrón y un décimo de micrón.

Suspensiones son aquellas soluciones en que las partículas tienen tamaños mayores que un décimo de micrón.

Las soluciones coloidales, miradas al microscopio, parecen sistemas homogéneos; pero observadas al ultramicroscopio, resultan sistemas heterogéneos.

Las soluciones coloidales difieren específicamente de las moleculares. Los fenómenos de la *difusión*, por ejemplo, que son característicos de las últimas, no existen en las coloidales. Así, cuando una de estas soluciones se coloca frente al disolvente puro poniendo entre medio una membrana semipermeable, la sustancia no difunde a través de ella.

A priori se puede suponer que este fenómeno se debe al hecho de que la dispersión del cuerpo disuelto no ha llegado hasta la molécula, sino hasta agrupaciones moleculares que serían tan grandes que no pueden atravesar los poros de una membrana semipermeable.

Observando su comportamiento desde distintos puntos de vista, los coloides pueden clasificarse en diversas formas:

A.—En espontáneos y no espontáneos, según que el generador del coloide, puesto en contacto con el agua, entre por sí mismo en solución o permanezca insoluble. La albúmina es un ejemplo del primer caso; y el oro, del segundo.

B.—En reversibles e irreversibles, según que la solución coloidal pueda o no volver a su estado inicial, cuando las proporciones de agua, coloide y sustancias disueltas (especialmente electrólitos) y la temperatura, vuelvan al valor que tenían en dicho estado inicial. Un ejemplo típico del coloide reversible es éste: Una solución coloidal que ha precipitado por adición de un electrólito, vuelve a disolverse al separar el electrólito.

C.—En hidrófobos e hidrófilos, según que las partículas coloidales dispersas presenten repulsión o atracción por el agua.

E.—En sensibles y poco sensibles a la acción de los electrólitos.

Las soluciones coloidales presentan importantes variaciones de sus propiedades, cuando cambia su concentración; variaciones que no son del mismo orden ni del mismo carácter en las soluciones moleculares.

Se llama *SOL* a una solución coloidal poco concentrada; en este estado, el sistema tiene bastante fluidez y sus propiedades se aproximan a las del estado líquido.

Gel es el nombre de una solución coloidal concentrada. Se caracteriza por su alta viscosidad y consistencia. Sus propiedades se aproximan a las del estado sólido.

Un sol puede transformarse en gel por evaporación del líquido solvente, o por precipitación. El cambio de estado se produce con disminución apreciable de volumen; lo que ha dado motivo para denominar *contracción* al fenómeno de concentrar un sol hasta transformarlo en gel.

Entre el estado de sol y el de gel existen infinitos estados intermedios cuyas propiedades varían de uno al otro de manera uniforme y continua.

El paso inverso—de gel a sol—no se realiza como podría suponerse por comparación con los sistemas moleculares. En estas soluciones, el sólido, al ser puesto en contacto con el líquido, empieza a disminuir de volumen, por dispersión de sus partículas superficiales, hasta desaparecer dentro de la solución líquida. En los sistemas coloidales esto ocurre al revés: el gel seco empieza a absorber líquido, a aumentar de volumen, y a modificar progresivamente sus propiedades.

El fenómeno que se termina de explicar se denomina *imbibición*.

En ciertos casos, el paso de gel a sol no se realiza por simple contacto del gel seco con el medio dispersor, sino que es preciso agregar ciertas sustancias que tienen la facultad de facilitar el proceso y que se denominan *peptizantes*.

Las partículas coloidales están cargadas eléctricamente.

La estabilidad de las soluciones coloidales se debe a las cargas eléctricas hasta tal punto que cuando por cualquier medio se consigue neutralizarlos, las partículas se aglomeran y precipitan luego en forma de copos (flóculos). Este es el fenómeno que se denomina floculación. En el caso de los coloides arcillosos, los flóculos llegan a tener tamaños comparables a las de las partículas arcillosas no coloidales.

Cada flóculo tiene un volumen mayor que la suma de los volúmenes de las partículas coloidales componentes; de modo que la floculación de un coloide viene siempre acompañada de esponjamiento.

Bajo determinadas condiciones, es posible deshacer las migajas de un coloide floculado (Defloculación), lo cual tiene interés en Edafotecnia.

La propiedad física universal de la *adhesividad*, tiene gran importancia en los coloides debido a los tamaños relativos de la capa y del coloide que permiten el desarrollo de fuerzas moleculares de enorme magnitud.

Adhesividad es la propiedad según la cual una determinada substancia adhiere a otra. Por ejemplo, las pinturas a los metales o maderas.

Tal como existe una afinidad química, existe también una afinidad en materia de adhesividad; lo cual permite los desplazamientos que realizamos corrientemente en la vida diaria. También es posible hablar aquí de «estados de equilibrio adhesivo» con respecto a un cuerpo, por parte de las substancias de distinta afinidad de adhesión y diferente concentración, dentro de la atmósfera envolvente de dicho cuerpo.

El espesor de las capas adhesivas que cubren a los sólidos sólo alcanza a fracciones de micrón.

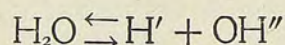
Los coloides de los suelos se cubren de una película de agua adhesiva, que tiene propiedades diferentes del agua libre, y que estudiaremos en un párrafo próximo.

Terminaremos bosquejando una última característica de los coloides que se conoce con el nombre de *adsorción*. Esta propiedad está íntimamente relacionada con la disociación electrolítica.

La teoría de la Disociación Electrolítica acepta que en una disolución no todas las moléculas se encuentran indivisas; sino que existen algunas entre ellas que se han dividido en iones; o sea, en átomos o en grupos atómicos cargados eléctricamente. Los iones metálicos y el hidrógeno tienen carga positiva y se llaman cationes. Los iones electronegativos se llaman aniones (Metaloides y grupos atómicos diversos).

El estudio cuantitativo de la disociación tiene gran importancia en Edafología, porque permite medir la acidez o alcalinidad de un suelo; propiedades éstas que son un índice más o menos seguro de su estado de adsorción y, consecuentemente, de su comportamiento hídrico.

El agua se disocia según la reacción reversible:



Desde el punto de vista de las concentraciones, esta reacción se rige por la ley de las masas de Guldberg y Waage; la cual, aplicada al caso tratado, expresaría que los productos sucesivos de las concentraciones H' por las OH'', divididos por las concentraciones correspondientes de agua, se mantienen constantes a una determinada temperatura.

Designando, pues, la concentración de H' por el símbolo (H), la de OH'' por (OH); y la de H₂O por (H₂O), podemos escribir la ecuación de equilibrio:

$$K' = \frac{(H) \cdot (OH)}{(H_2O)}$$

En esta ecuación, todos los términos del segundo miembro son variables; sin embargo, la variación de la concentración de agua es prácticamente nula, si se considera que las concentraciones de H y OH son del orden de 1/10⁷.

Puede escribirse, pues:

$$K = (H) \cdot (OH)$$

Se ha dicho ya que:

$$(H) = (OH) = 1/10^7$$

De donde resulta:

$$K = (H) \cdot (OH) = 10^{-14}$$

Si por agregado de una sustancia ácida aumenta la concentración (H), de acuerdo con la ecuación anterior, debe disminuir la concentración (OH). Del mismo modo, un álcali, aumenta la concentración (OH) y disminuye la (H). Las sales neutras no destruyen el equilibrio.

De lo dicho se desprende que la acidez o alcalinidad de una solución puede medirse a través de cualquiera de los dos términos del segundo miembro de la ecuación de equilibrio. Se ha elegido un valor relacionado con la concentración en hidrógeno.

El agua pura, o toda solución neutra, se caracteriza por:

$$(H) = 10^{-7}$$

Toda solución ácida debe tener una concentración:

$$(H) > 10^{-7}$$

De modo que si:

$$(H) = 10^{-n}$$

$$n < 7$$

De la misma manera, toda solución cuya concentración en hidrógeno sea:

$$(H) = 10^{-n}$$

será alcalina si:

$$n > 7$$

Este número n, cuyo valor límite es 7, ha sido llamado pH por Sorensen; y puede ser medido en los suelos mediante procedimientos sencillos que serán explicados a su debido tiempo.

Definamos ahora matemáticamente el pH. Escribamos su ecuación:

$$(H) = 10^{-pH}$$

Tomando logaritmo de base 10:

$$\log. (H) = -pH$$

De donde:

$$pH = -\log. (H)$$

$$pH = \log. \frac{1}{(H)}$$

El pH puede definirse, pues, como el logaritmo brigginiano del valor recíproco de la concentración en iones hidrógenos de una solución.

Ahora desarrollaremos el concepto de *adsorción*.

Adsorción es la propiedad que tienen los coloides de fijar enérgicamente en su superficie—y con carácter selectivo—determinados iones de la solución en la cual se encuentran. Así, por ejemplo, los coloides de los suelos absorben el ión positivo de las sales; o sea, su parte metálica. En presencia de ácidos, se quedan con el hidrógeno.

Al afirmar que la adsorción es un fenómeno de carácter selectivo, queremos significar que existen preferencias en la fijación de iones por los coloides: en otros términos, que existe una *afinidad* de adsorción, que es comparable a la afinidad química. Hoffmeister ha confeccionado una lista de sustancias adsorbibles por la arcilla, ordenándolas desde el punto de vista de su afinidad:

Al H Ca Mg K Na Li

Cuando un coloide se encuentra en contacto con una solución que contiene diversos iones, en diversas concentraciones, la adsorción se produce en forma que se llega a cierto estado de equilibrio que depende de las concentraciones, temperatura, afinidad, etc.

Gracias a esta propiedad es posible, por riegos salinos sucesivos, substituir un ión adsorbido por otro.

La importancia de la adsorción en edafología, puede detectarse a través del estudio de la influencia de dos iones que se emplean corrientemente en edafotecnia, al tratar suelos: el sodio y el calcio.

El Na peptiza la arcilla, con lo cual hace más viscosos los suelos. El Ca, en cambio, flocula los coloides, restando plasticidad a los suelos y haciéndolos más permeables. El mismo efecto que el calcio produce el H.

Hissink propone estudiar cuantitativamente en los suelos la adsorción, mediante las siguientes medidas:

1.^a *Capacidad de adsorción T*.—Cantidad de cationes—expresada en miliequivalentes—que 100 gramos de suelo seco pueden adsorber.

2.^a *Estado de adsorción S*.—Cantidad de cationes—expresada en miliequivalentes—existentes en 100 gramos de suelo seco.

La diferencia T—S representaría la capacidad de adsorción insatisfecha.

El valor:

$$G = \frac{T - S}{T}$$

sería la gradiente de adsorción; y permitiría individualizar estados de arcillas adsorbentes.

Con G igual a uno, la arcilla tendría su máxima capacidad de adsorción, y ningún ión adsorbido.

Con G igual a cero, la arcilla habría agotado su capacidad de adsorción; y tendría adsorbidos $S = T$ iones metálicos o hidrógenos.

El estado físico-químico de la arcilla de un suelo influye poderosamente sobre su textura, caracteres hídricos y propiedades resistentes.

El doctor Josué Gollan cita, a propósito de esto, el caso de una muestra de suelo que contenía 5,1% de sales (cloruro y sulfato sódico, con algo de sulfato cálcico). Estas sales habían floculado la arcilla de modo que, aplicando las normas standard americanas para dispersar el suelo y realizar el análisis mecánico, la medida aerométrica de la granulometría sólo acusaba un 1% de arcilla. Pues bien, lavada la muestra para eliminar sus sales, y luego peptizada, la nueva medida ereométrica dió 49% de arcilla.

En esta forma, la primera medida había individualizado un *mortero limoso-medio*, en circunstancias en que en realidad se trataba de un *mortero arcilloso-medio*, cuyas propiedades son fundamentalmente distintas (Ver Clasificación por Textura). El cuadro que va a continuación, resume la experiencia presentada por el doctor Gollan:

ELEMENTOS DEL SUELO	PORCENTAJES	
	SIN DESAGREGACIÓN PERFECTA (Textura Real)	CON DESAGREGACIÓN PERFECTA (Textura Elemental)
Arcilla coloidal.....	0,0	22,0
Arcilla no coloidal.....	1,0	27,0
Limo.....	71,0	23,0
Arena fina.....	22,5	22,5
Arena gruesa.....	5,5	5,5
CLASIFICACIÓN	MORTERO LIMOSO MEDIO	MORTERO ARCILLOSO MEDIO

El ejemplo que se termina de desarrollar permite destacar la importancia que puede tener en Edafología y Edafotecnia, la *clase de arcilla* y su *estado de adsorción*.

La clase de arcilla, definida por su composición química que, como sabemos, es variable, determina su capacidad de adsorción T, según comprueba Mattson en las experiencias que se resumen en el cuadro adjunto.

Por su parte, el estado de adsorción influye, como ya se ha dicho, sobre las propiedades de la arcilla. Cada ión modifica la plasticidad, por ejemplo, en forma característica; siendo general el hecho de que la acidez la disminuye, y la alcalinidad la aumenta.

RAZÓN $\frac{\text{Si O}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (Moles)	VALOR T (Miliequivalentes. por 100 de arcilla)
0,55	16,4
1,63	20,7
1,89	33,1
2,82	67,1
3,18	79,6
3,82	94,7

La importancia del pH de los suelos queda, pues, de manifiesto al enunciar este hecho general; pero debe tenerse presente siempre que, en este sentido, el pH sólo es un valor índice. Porque un mismo suelo, con igual pH, puede adquirir propiedades diferentes, según sea el ión adsorbido.

Terminaremos nuestro estudio de la arcilla, expresando que ella tiene poquísimas fricción interna; pero sí, alta cohesión. Es muy expansiva y tiene alta capilaridad. Los coloides tienen un gran poder retentivo del agua cuando están floculados. Son muy compresibles y, por lo tanto, muy expansivos. Su cohesión es muy grande cuando no están floculados.

2.º *Limo. Partículas de tamaño comprendido entre 0,005 y 0,05 m/m.*

Este material—que recibe el nombre de limo—no presenta ninguna de las propiedades activas de la arcilla. Dentro del suelo es un material inerte que rellena huecos, y que contribuye a su resistencia trabando mejor los elementos granulométricos de mayor tamaño.

Las partículas limosas tienen poca fricción interna y poca cohesión. Gran capilaridad. Queda compactado al secarse, y se expande cuando el agua capilar vence su cohesión. Es compresivo y expansivo.

El agua—en ciertas dosis—estabiliza los suelos limosos. La sequedad completa hace desaparecer toda compactación y convierte al limo en un polvo que en los caminos es extremadamente molesto.

3.º *Arena. Partículas de tamaño comprendido entre 0,05 y 2,00 m/m.*

La arena es también un material inactivo desde el punto de vista de la físico-química. No tiene cohesión, pero posee fricción interna. Es permeable. No es compresible ni elástica; por lo tanto, no es expansible. Su capilaridad es baja.

La arena seca tiene un bajo poder portante; una cierta dosis de agua la estabiliza débilmente. Mayores cantidades de agua, vuelven a reducir su poder portante. Contribuyen en la resistencia de los suelos con dureza, trabazón y fricción interna.

4.º Grava. Partículas mayores de 2 m/m.

El material pétreo retenido en 10 mallas—el agregado grueso—desarrolla altos valores de la fricción interna. No tiene cohesión y su capilaridad es nula. Es muy permeable. No es compresible ni elástico; es decir, no es expansivo. Contribuye a resistir en los suelos con dureza.

5.º El agua.

El agua desempeña un importantísimo papel en la estabilidad de los suelos. Toda una serie de propiedades distintas — contradictorias a veces—se nos presentan, después de un análisis, como causadas por el agua.

Cuando llueve, el automovilista observa, al subir una cuesta de superficie de rodado arcillosa, que las ruedas resbalan y el vehículo no avanza.

Si el tráfico es intenso y la lluvia persiste, ocurre otro fenómeno: la arcilla se reblandece (se hace plástica), y las ruedas del auto «se entierran hasta el eje».

Pero también la lluvia trae sorpresas agradables: esos trumaos finísimos que en el verano son polvaredas asfixiantes y persistentes, en vez de transformarse en pantanos durante el invierno, se endurecen y suministran el mejor suelo estabilizado de que haya memoria.

Todos estos efectos los produce el agua. Estudiémosla entonces.

El suelo es un sistema de partículas y poros. Las partículas a su vez, son sistemas de micropartículas y de microporos. Estos últimos tienen dimensiones del orden de los micromicrones.

El volumen de poro de los suelos puede ser ocupado por puro aire (suelo seco) por aire y agua (suelo húmedo), o por pura agua (suelo flúido).

El agua contenida en los suelos—según sean las condiciones en que en ellos se encuentra—tiene propiedades físicas distintas.

El origen de esta modificación de las propiedades de un líquido que en estado libre las tiene muy constantes, reside en los sistemas de fuerzas a que queda sometido dentro de la estructura de un suelo. Son estas fuerzas las que alteran su densidad, puntos de ebullición y congelación, formas de migración, etc.

Las acciones que influyen sobre una determinada masa de agua dentro de un suelo son las siguientes:

1.ª) *La gravitación universal.*—Las fuerzas de gravitación alcanzan valores relativos insignificantes frente a las otras, debido a que el factor (g) del producto mg que mide la acción es muy pequeño si se le compara con las aceleraciones que son capaces de proporcionar, a distancias infinitesimales, las acciones moleculares. A medida que las masas de agua se alejen de la fase sólida (disminuyendo esas acciones), el producto mg , sin aumentar de valor, va adquiriendo mayor importancia, y las propiedades del agua edáfica; acercándose a las del estado libre.

2.ª) *Las fuerzas de atracción molecular.*—Estas fuerzas alcanzan valores enormes, debido a la proximidad de las masas líquida y sólida. Ellas son las principales causantes de los cambios de propiedades del agua. Su gradiente es muy grande, de modo que su radio de acción es muy pequeño (de 0,006 a 0,056 micromicrones).

3.ª) *Las fuerzas de la tensión superficial.*—Son las que se manifiestan en las superficies de separación entre las fases, y las que producen los fenómenos de ascensión capilar, y los de cohesión hídrica entre las partículas de los suelos.

Según como se reparta la acción de estas fuerzas sobre una determinada masa de agua edáfica, se modificarán sus propiedades.

FORMAS DEL AGUA EDÁFICA.—A continuación presentamos las diversas formas del agua edáfica, por orden de firmeza a la fase sólida.

a) *Agua de constitución*.—Es aquella que se encuentra químicamente unida a los diversos componentes de un suelo; y que, por lo tanto, para eliminarla se precisa de la alteración de la composición molecular de dichos elementos de suelo.

b) *Agua de cristalización*.—Es la que en química se designa con este nombre: Las moléculas de agua que fijan ciertas sales al cristalizar.

c) *Agua de imbibición*.—Se denomina así al agua que se introduce a través de los microporos de los elementos de un suelo; microporos que, como se ha dicho, tienen dimensiones del orden de los micromicrones.

Las acciones moleculares alcanzan aquí valores enormes (presiones de varios kilómetros de altura de agua). Consecuentemente, la alteración de sus propiedades se hace máxima en estas condiciones: El punto de congelación baja de -78 grados centígrados; el de evaporación sube de 105° grados centígrados; y el líquido pierde su capacidad de libre migración, fijándose a la fase sólida en forma tal que sólo puede ser eliminada por cambio de fase (evaporación).

El agua de imbibición es la que determina los interesantes fenómenos de hinchamiento que se producen en el proceso de gelificación de los coloides-soles, puestos en contacto con el agua (imbibición). En efecto, los coloides, que tienen microporos del orden de los micromicrones, permiten que la acción atractiva de la fase sólida hacia el agua, crezca desmesuradamente, y la obligue así a incorporarse en su estructura, hinchándose los coloides y produciendo trabajo.

d) *Agua adhesiva*.—Es la que se adhiere en forma de películas ultradelgadas a la superficie de las partículas, de acuerdo con las leyes de la adhesividad.

Si se considera un suelo cualquiera humedecido, y se empieza a evaporar el agua que contiene, al cabo de cierto tiempo, cada partícula va a quedar rodeada de una delgada película acuosa, cuyo espesor tenderá a disminuir.

A medida que se desarrolla el proceso de la evaporación, y disminuye el espesor de la película de *agua adhesiva*, las propiedades físicas del líquido se alteran, aproximándose cada vez más a las del agua de imbibición. Ciertos autores dan el nombre de *agua sólida* a la adhesiva, cuando el espesor se hace inferior al centésimo de micrón.

En este estado, el agua adhesiva, como la de imbibición, no tiene libertad de movimiento, y queda sometida a una presión tan enorme—se la calcula en 20.000 atmósferas que es suficiente para alterar profundamente sus propiedades físicas.

La viscosidad y la tensión superficial alcanzan valores mucho más elevados que los del agua libre; y los puntos termométricos que limitan los cambios de fase se separan, elevándose el punto de ebullición hasta más de 105 grados centígrados, y bajando la temperatura de congelamiento hasta menos de 78 grados centígrados.

El efecto que produce el agua adhesiva en los suelos es función de su granulometría y plasticidad.

En aquéllos cuyas partículas no son inferiores a las arenosas, el efecto es prácticamente nulo, debido a que los espesores de la película acuosa que serviría de liga entre las partículas es relativamente grande y no desarrolla incrementos considerables de la viscosidad. Por otra parte, al disminuir el espesor de la capa de agua adhesiva, llega un momento en que las partículas no pueden acercarse más unas a otras, aunque el espesor de la capa adhesiva siga disminuyendo.

Esto hace mínimos los contactos entre agua-partículas-agua, y por lo tanto, su efecto de liga. Podemos, pues, decir que en los suelos arenosos, el efecto del agua adhesiva es pequeño o nulo prácticamente, porque su viscosidad es baja, y porque la superficie de contacto es mínima.

En los suelos limosos de plasticidad baja o nula, el efecto es mucho mayor; y el agua adhesiva permite la formación de terrones que exigen esfuerzo para ser desintegrados.

En las arcillas el efecto es máximo, porque aquí las partículas tienen tamaños tales que determinan grandes superficies internas, y su proximidad permite una influencia mayor de las películas acuosas de alta viscosidad.

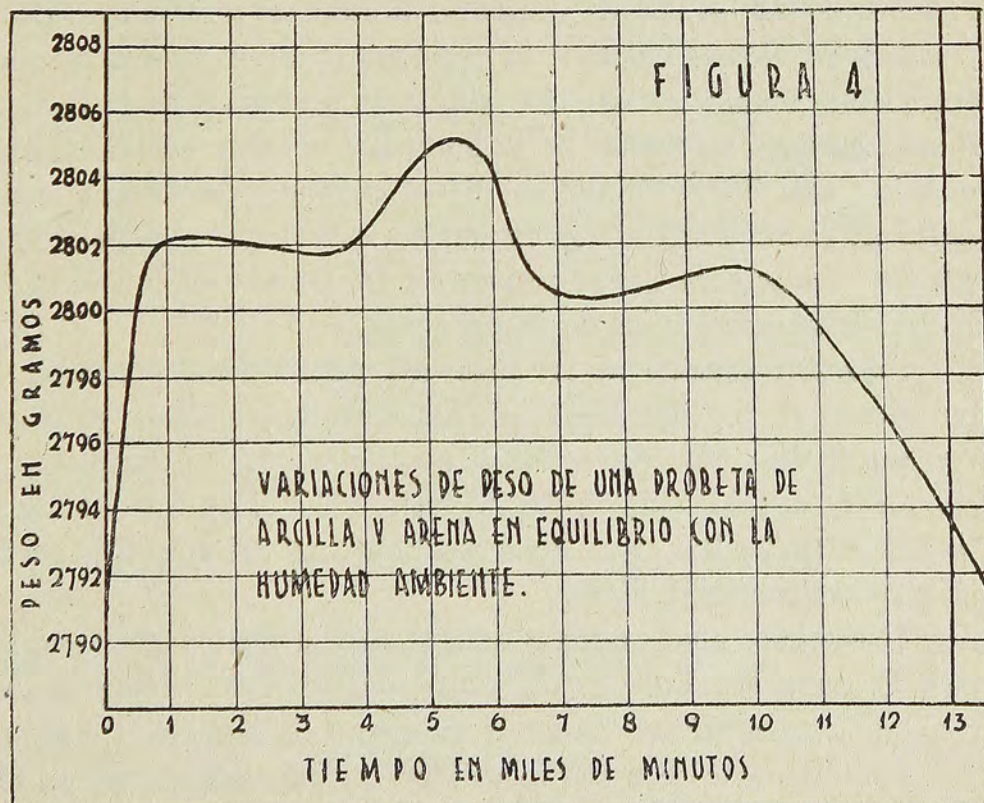
Estos efectos determinan fuertes valores de reacción ante los esfuerzos tendientes a separar las partículas o a modificar su posición dentro de la estructura del suelo.

Más adelante—en los estudios de resistencia—se conocerá más detalladamente la influencia de la plasticidad y de la granulometría sobre el efecto que en los suelos produce el agua adhesiva.

e) *La higroscopicidad.*—El agua de imbibición y el agua adhesiva, cuyas propiedades son semejantes, reciben el nombre común de *agua higroscópica*.

Se denomina así a esta agua, porque en general, los suelos son capaces de tomarla de la humedad del aire.

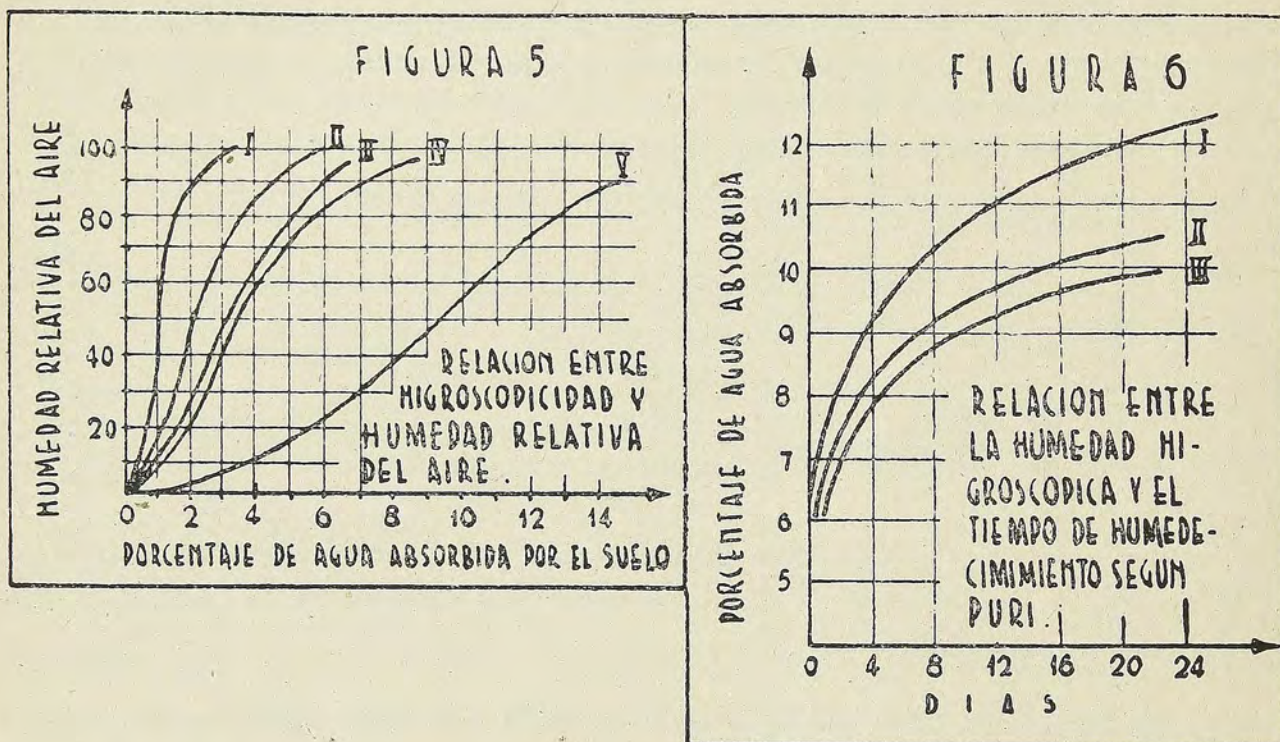
Existe un equilibrio entre la humedad del aire y la humedad higroscópica de un suelo puesto en contacto con él. Acompaño gráfico confeccionado a base de experiencias hechas en la Escuela de Ingeniería, en el cual



se muestran los pesos sucesivos de una probeta de suelo fino en contacto con el aire.

Experiencias hechas por Puri, Growder y Keen en cinco suelos distintos—ver gráfico—prueban los siguientes hechos relativos a la absorción de agua del aire por los suelos:

1.º Siendo h la humedad relativa del aire, en %; y H la humedad higroscópica del suelo, también medida en %, la función $H=f(h)$ es característica para cada suelo; pero sus curvas son del mismo carácter.



2.º Todas las curvas pueden dividirse en tres zonas: La primera, que corresponde a los valores bajos de la humedad relativa del aire, se caracteriza por su bajo coeficiente angular; o sea, que pequeños aumentos de la humedad del aire, determinan grandes aumentos de la humedad de la probeta. La zona intermedia, con una ley casi lineal ($H=K \cdot h$) tiene un mayor coeficiente; o sea, que se hacen menores los incrementos de humedad de la probeta, al aumentar la humedad relativa del aire. La tercera zona—próxima a la máxima humedad del aire—tiene características semejantes a las de la primera.

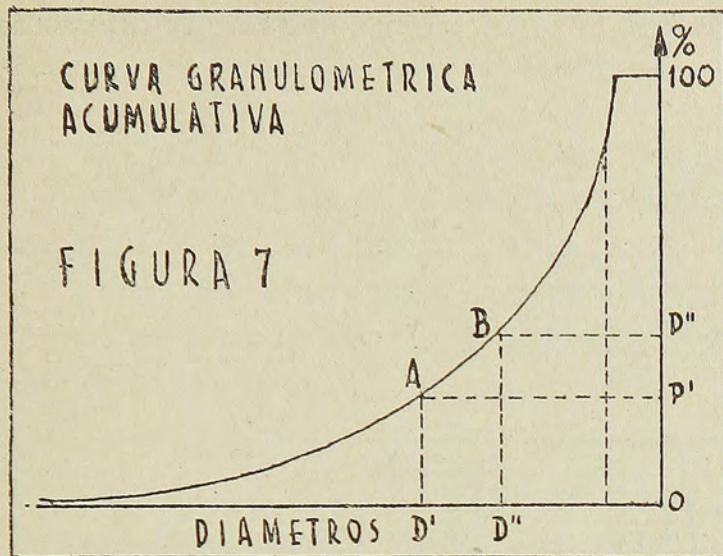
La higroscopidad de un suelo sólo puede darse por conocida cuando se ha determinado su función $H=f(h)$. Sin embargo, cuando se identifica un suelo desde este punto de vista, sólo se hace mención de su higroscopidad máxima (humedad del suelo con humedad ciento por ciento del aire). La medida se realiza en el aparato de Mitscherlich, y se hace con humedad del aire 99% para evitar la influencia de posibles condensaciones.

Hasta hace algún tiempo se sustentó la hipótesis de que la humedad higroscópica formaba alrededor de las partículas de suelo, una película de espesor monomolecular, discontinua hasta el momento de alcanzar la higroscopidad máxima.

Sobre la base de esta hipótesis se calculó—conociendo la higroscopidad máxima—la superficie interna específica de los suelos. Pero la hipótesis ha tenido que sufrir sucesivas modificaciones (10 películas monomoleculares, según Mitscherlich; 220, según Zunker; y 828, de acuerdo con los estudios de Barburg), de modo que

ya no es aceptable. Esto, por otra parte, lo deja de manifiesto el hecho de que el agua higroscópica no sólo envuelve a las partículas sino que también las embebe.

El suscrito ha deducido una fórmula para medir la superficie interna de los suelos, aceptando la forma esférica.



Sea un gráfico granulométrico corriente, que en abscisas tiene el diámetro de las partículas, y en ordenadas, el porcentaje en peso del material de tamaño inferior al de un diámetro dado.

Consideremos ahora dos puntos A y B, infinitamente próximos. El punto A representa el porcentaje p' de material de diámetro inferior a D' . El punto B representa

el porcentaje P'' de material de diámetro inferior a D'' . Sea g el peso específico de los materiales entre A y B.

El volumen efectivo V de los $P'' - P'$ gramos de suelo, cuyo tamaño fluctúa entre D' y D'' es:

$$V = \frac{P'' - P'}{g}$$

El volumen de una partícula media entre D' y D'' es:

$$V' = \frac{\pi}{6} \left(\frac{D' + D''}{2} \right)^3$$

El número de partículas entre A y B es, por lo tanto:

$$N = \frac{V}{V'} = \frac{6 (P'' - P')}{\pi g (D' + D'')^3}$$

La superficie de las partículas entre A y B es:

$$S = N \cdot S'$$

donde S' es la superficie de una partícula media entre A y B:

$$S' = \pi \left[\frac{D' + D''}{2} \right]^2$$

De aquí se desprende:

$$S = \frac{12 (P'' - P')}{g (D' + D'')}$$

Recordemos ahora que los puntos de la curva están infinitamente próximos; o sea:

$$\begin{aligned} dP &= P'' - P' \\ 2D &= D'' + D' \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$dS = 6 \frac{dP}{gD}$$

$$S = 6 \int_0^{100} \frac{dP}{gD}$$

Esta fórmula da la superficie que corresponde a 100 gramos. La integral puede resolverse fácilmente por procedimientos gráficos.

Tratándose de esferas iguales y de igual peso específico, la fórmula queda:

$$S = 6/gD \int_0^{100} dP$$

$$S = 600/gD$$

Se acostumbra a dar la superficie interna específica de un gramo de suelo; en este caso sería:

$$S = 6/gD$$

Ahora bien, el suscrito ha aplicado su fórmula a suelos, cuya superficie interna ha sido calculada a base de la humedad higroscópica máxima, y ha encontrado valores enormemente inferiores (decenas de veces) que no podrían justificarse con haber elegido la forma esférica, de mínima superficie, para hacer el cálculo.

Teniendo en cuenta el hecho de que existe una relación directa entre la humedad higroscópica de un suelo y su superficie interna específica, y de que esta última se desarrolla preponderantemente en su fracción coloidal, Robinson dedujo una fórmula empírica para calcular la fracción coloides:

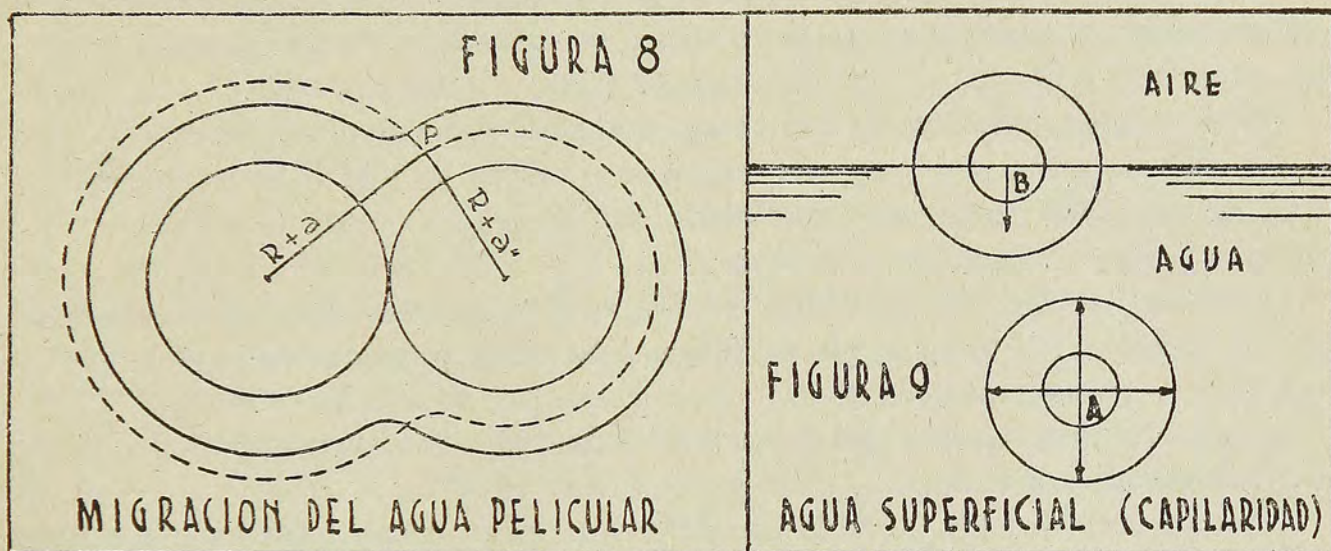
$$K = H/0,3$$

donde H es la humedad higroscópica del suelo.

Filatoff, multiplicando K por 1,5, entrega la cantidad de arcilla presente en un suelo. Este dato puede servir, según el citado autor, para calcular mezclas tomando en cuenta las propiedades activas de la arcilla, que son las que se interpretan en su fórmula; y que no aparecen sino en forma aproximada en los cálculos granulométricos. El suscrito opina que una profundización de los estudios de Filatoff, tendría importancia en edafotecnia.

f) *Agua pelicular*.—Las fuerzas de atracción molecular no sólo se ejercen sobre el agua higroscópica, sino también sobre la que se llama pelicular.

Esta agua forma una película delgada en torno de las partículas, y se mueve dentro de la estructura de un suelo, de acuerdo con los principios que daremos a conocer en lo que sigue:



Sean dos partículas de suelo de radio R , rodeadas de películas de agua pelicular de distintos espesores a' y a'' .

Consideremos la partícula P de agua. Ella estará sometida principalmente a los esfuerzos de atracción molecular, que serán mayores en el sentido de la menor distancia. Consecuentemente, el agua pelicular en suelos de partículas iguales, se moverá de las regiones más húmedas de un suelo, hacia las menos húmedas.

Si se ponen en contacto dos suelos húmedos de distinta granulometría, el suelo de granulometría fina puede quitarle agua pelicular al otro, aun cuando ya tenga un mayor porcentaje; debido a que presenta mayor superficie interna específica; y a que, por esto, necesita más agua para igualar espesores con el suelo de mayor granulometría.

Cabe recordar aquí que en estos movimientos aun no alcanza a ejercer influencia sensible la gravitación.

Al hacer un estudio de suelos se puede determinar dos características relativas al agua pelicular: Humedad pelicular actual y humedad pelicular máxima. La humedad pelicular máxima, que es la constante del suelo, puede obtenerse por tres métodos: Altas columnas, centrifugación y medios absorbentes. (Ver medidas edafológicas).

En los suelos arcillosos la humedad pelicular máxima puede alcanzar valores cercanos y hasta superiores a la humedad del límite plástico. Esta propiedad tiene

importancia en Edafotecnia, porque napas de aguas subterráneas que por su profundidad no pueden afectar por capilaridad a la arcilla superficial, pueden influir sobre su poder de soporte por humedecimiento pelicular.

Este fenómeno debe ser tomado en cuenta con muchas precauciones al proyectar un camino, porque el tiempo juega en él un papel muy importante. En efecto, el movimiento pelicular se produce con mucha lentitud; de modo que aquellas aguas peligrosas no permanentes pueden tener una duración menor que el tiempo necesario para que lleguen hasta los sitios que no deben ser humedecidos. (Aguas de riego, aguas que inundan los fosos de empréstitos, etc.).

Donde se produzcan, pues, estas circunstancias en forma persistente, no es conveniente el uso de material de subrazante, con límite plástico menor que la humedad pelicular máxima.

Otro fenómeno que debe ser tomado en cuenta al proyectar un camino, es la migración del agua pelicular, desde los suelos de granulometría gruesa hasta la fina, aun cuando la humedad del primero sea menor que la del otro.

Esto debe ser recordado al drenar un camino de suelo arcilloso, poniendo capas intermedias de arena o de material más grueso; sobre todo si el límite plástico de la arcilla es menor que su humedad pelicular máxima.

g) *Agua capilar*.—Se encuentra en los poros de los suelos, cuyas dimensiones son del orden de los tubos capilares. Su congelamiento se produce a una temperatura de -4 grados centígrados.

Los fenómenos capilares se deben a los esfuerzos que se desarrollan en las zonas de contacto entre fases.

Pensemos en un líquido colocado dentro de una cuba; y cuya superficie libre está en contacto con el aire. (Figura N.º 9). Si consideramos ahora la molécula A, totalmente dentro del líquido, ella está sufriendo la influencia de las que la rodean, en forma igual en todas direcciones, de modo que su resultante es nula.

Si elegimos una molécula B, en la superficie de separación entre las fases líquida y gaseosa, la acción atractiva de las moléculas líquidas hacia la que se considera, sólo se ejerce hacia abajo.

La resultante de estas fuerzas, referida a un centímetro cúbico de superficie, y dirigida normalmente a ella, es llamada *presión molecular*, y su valor depende de las propiedades del líquido; siendo en el agua de 14.800 Kg/cm^2 .

La película superficial—sometida a tan enormes esfuerzos—aumenta su intensidad y su viscosidad; y adquiere propiedades resistentes semejantes a las de una membrana elástica.

Los esfuerzos de tracción que es capaz de resistir esta membrana, son funciones de las propiedades del líquido y de la temperatura. En el agua alcanzan a $0,000074 \text{ Kg/cm}$. Este valor, referido a kilos por centímetro cuadrado, es enorme; porque el espesor de la membrana no es mayor que unos cuantos diámetros de molécula.

La película de agua superficial de que hablamos es de la misma naturaleza que las de agua adhesiva a que nos referimos en párrafos anteriores; y, como en éstas, el cambio de propiedades del agua se debe a los formidables esfuerzos moleculares que ella sufre en la zona interfacial.

Los esfuerzos que resiste esta película superficial, depende de la forma de la superficie. Si ella es plana, la presión molecular es normal y la tensión superficial paralela a la superficie de contacto entre las fases. Cuando la superficie es convexa, se produce una componente normal dirigida hacia la masa del líquido; y cuando es cóncava, hacia afuera. Estas componentes se suman algebraicamente a la presión molecular, aumentándola o disminuyéndola.

Consideremos ahora la capilaridad, estudiando su fenómeno básico.

Pensemos en un tubo capilar que se sumerge parcialmente en un recipiente con agua (Figura N.º 10). El líquido sube dentro del tubo pese a la gravitación, hasta alcanzar una determinada altura h . Se observará también que la superficie libre del agua dentro del tubo, no será plana sino que formará un *menisco*, cuyas tangentes, en la línea de contacto entre las tres fases, formarán un ángulo θ con las correspondientes generatrices del tubo (Figura 11).

El origen de este fenómeno, debe buscarse en los sistemas sucesivos de fuerzas que obran sobre la película de agua superficial.

Iniciemos su estudio a partir del momento en que el tubo se sumerge en el agua.

Las moléculas p de la línea de contacto entre las fases sólida, líquida y gaseosa, están solicitadas por un sistema de fuerzas de carácter molecular, en donde predominan las acciones entre la fase sólida y la líquida. Estas acciones sólo pueden ser de dos naturalezas: atractivas o repulsivas.

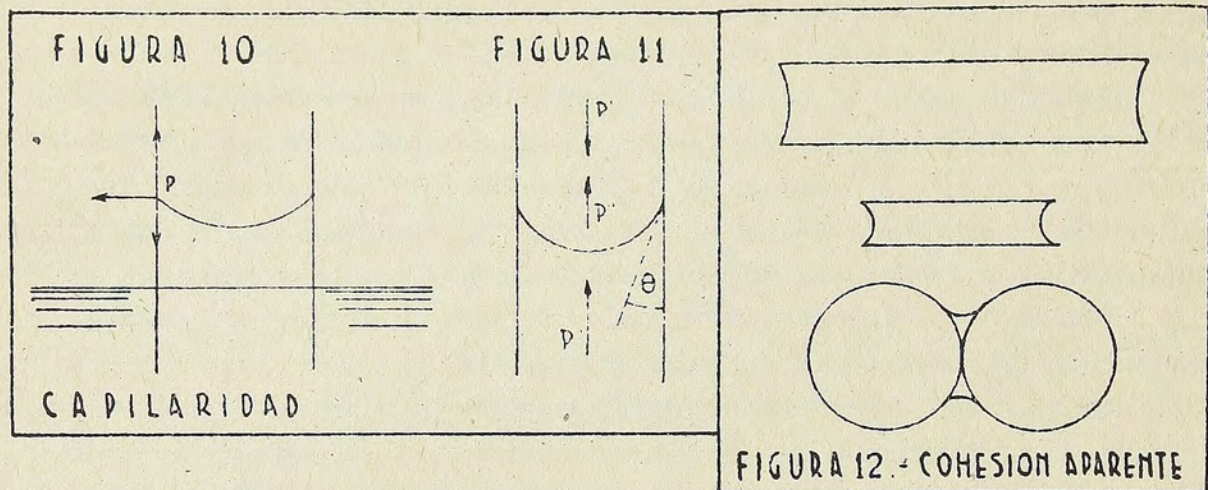
Consideremos el caso en que ellas son atractivas. Las acciones entre las moléculas del tubo y la p , pueden clasificarse en normales y tangenciales. Las normales atraen a p hacia el tubo, en sentido horizontal. Las acciones tangenciales se ejercen dentro del plano tangente al tubo en el punto que se considera. Dentro de este plano, las acciones que obran hacia arriba de p , deben ser mayores que las que actúan hacia abajo, porque las moléculas sólidas — en contacto con el líquido, — gastan sus esfuerzos en retener las moléculas líquidas más inmediatas. La fase gaseosa no ejerce mayor influencia debido a que entre sus moléculas no existe cohesión.

Al subir las moléculas p , en virtud de estos esfuerzos la película superficial no se corta, porque aun no se alcanza su fatiga de ruptura; y, al no cortarse, levanta toda la columna líquida que queda debajo de ella, por la misma razón que un émbolo de bomba levanta el agua de un recipiente: porque debajo de la membrana se forma un vacío, que es llenado debido a la presión atmosférica que actúa sobre la superficie libre del recipiente, y que se transmite a través del líquido.

Al hacerse el vacío debajo de la membrana, *sobre ella* actúa la presión atmosférica, que también obra sobre la superficie libre del recipiente; y *debajo*; un valor equivalente a la presión atmosférica menos el peso de la columna líquida que se ha levantado sobre el nivel de la superficie libre del agua en el recipiente.

En resumen, el peso de la columna líquida es soportado por la membrana, la cual se deforma elásticamente.

Se llama *tensión superficial* a la fuerza por unidad de longitud que resiste la membrana en sus bordes cuando se ha alcanzado el equilibrio. Las fuerzas que actúan en este momento son: (Figura 11).



1.º Por arriba, sobre la membrana, actúa la presión atmosférica:

$$P' = p \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

2.º Por debajo, en sentido contrario, actúa la presión atmosférica menos el peso de la columna líquida de altura h y peso específico q .

$$P'' = - \left[p \frac{\pi D^2}{4} - h q \frac{\pi D^2}{4} \right]$$

3.º En el mismo sentido que la segunda, actúa la componente vertical de la tensión *superficial*.

$$P''' = - \pi D T \cos \theta$$

Cuando se alcanza el equilibrio, la resultante de estas tres fuerzas es nula:

$$p \frac{\pi D^2}{4} - \left[p \frac{\pi D^2}{4} - h q \frac{\pi D^2}{4} \right] - \pi D T \cos \theta = 0$$

De esta fórmula se puede despejar el valor de h ; o sea de la altura de elevación capilar:

$$h = \frac{4 T \cos \theta}{q D}$$

Una conclusión importante derivada inmediatamente de esta fórmula, es que la altura de ascensión de un líquido dentro de un tubo capilar, es inversamente proporcional al diámetro del mismo.

De acuerdo con la teoría que se ha expuesto de la ascensión capilar, esta afirmación se encontraría limitada por las condiciones que impone la intervención en el fenómeno de la presión atmosférica.

Para conocer estas condiciones, estudiemos el equilibrio de la columna líquida en la sección, dentro del tubo, cuyo nivel coincide con el de la superficie libre del agua en el recipiente (Figura N.º 10).

A través de esta sección, el agua sube empujada por la presión atmosférica; entonces, cuando la columna líquida alcanza en el tubo una altura equivalente a esta presión atmosférica; al igualarse los esfuerzos el ascenso debe detenerse. Por la misma razón en el vacío no puede existir la capilaridad: el agua puede sólo subir pelicularmente: pero con gran facilidad.

La fórmula que da la altura de h no es válida, entonces sino hasta que se alcanza el valor correspondiente a la presión atmosférica. Esto, si antes no se ha roto la película superficial.

Las mayores ascenciones que se observan en los suelos no corresponden a ascensión capilar, sino a movimientos peliculares cuyo mecanismo ya ha sido conocido.

Estudiemos ahora la capilaridad en los suelos. Para ello, consideremos primero el experimento que se explica en lo que sigue: Imaginemos un tubo capilar perfectamente elástico, lleno de agua que luego se hace evaporar lentamente. Al formarse los meniscos, aparece la tensión superficial, tratando de acortar el tubo y de reducir su diámetro. La *cohesión aparente* que produce en los suelos el agua capilar es un fenómeno de la misma naturaleza que el que se termina de explicar. En efecto, si consideramos dos esferitas que en su punto de contacto están rodeadas por agua capilar, la tensión superficial que se produce en la membrana, entre las esferitas, tiende a mantenerlas unidas.

La aplicación a los suelos de la fórmula que dé la altura de elevación capilar, no es aceptable debido a que ellos son sistemas capilares complejos; y porque además intervienen fenómenos ajenos a la capilaridad que falsean los resultados: agua higroscópica, agua pelicular.

Se han estudiado diversas fórmulas para expresar la altura de elevación capilar en los suelos. Todas ellas demuestran la influencia de la granulometría. Ello es lógico porque el tamaño de los poros capilares a través de los cuales escurre el agua, es función de la granulometría.

Mitscherlich ha estudiado una fórmula en la cual: H es la altura máxima de ascensión.

a.—es la constante de capilaridad.

S.—es la superficie interna del suelo.

W.—es la cantidad de agua levantada por el suelo.

$$H = a^2 S/W$$

Esta fórmula no es aplicable sino donde sólo interviene la capilaridad. En los suelos de granulometría finísima la constante a no está definida; lo cual se explica por los otros fenómenos físico-químicos que se producen en estos suelos al ser humedecidos.

Zunker ha propuesto una fórmula para los suelos de granulometría heterogénea:

$$H = 0,3 M/ED \text{ (cm.)}$$

donde:

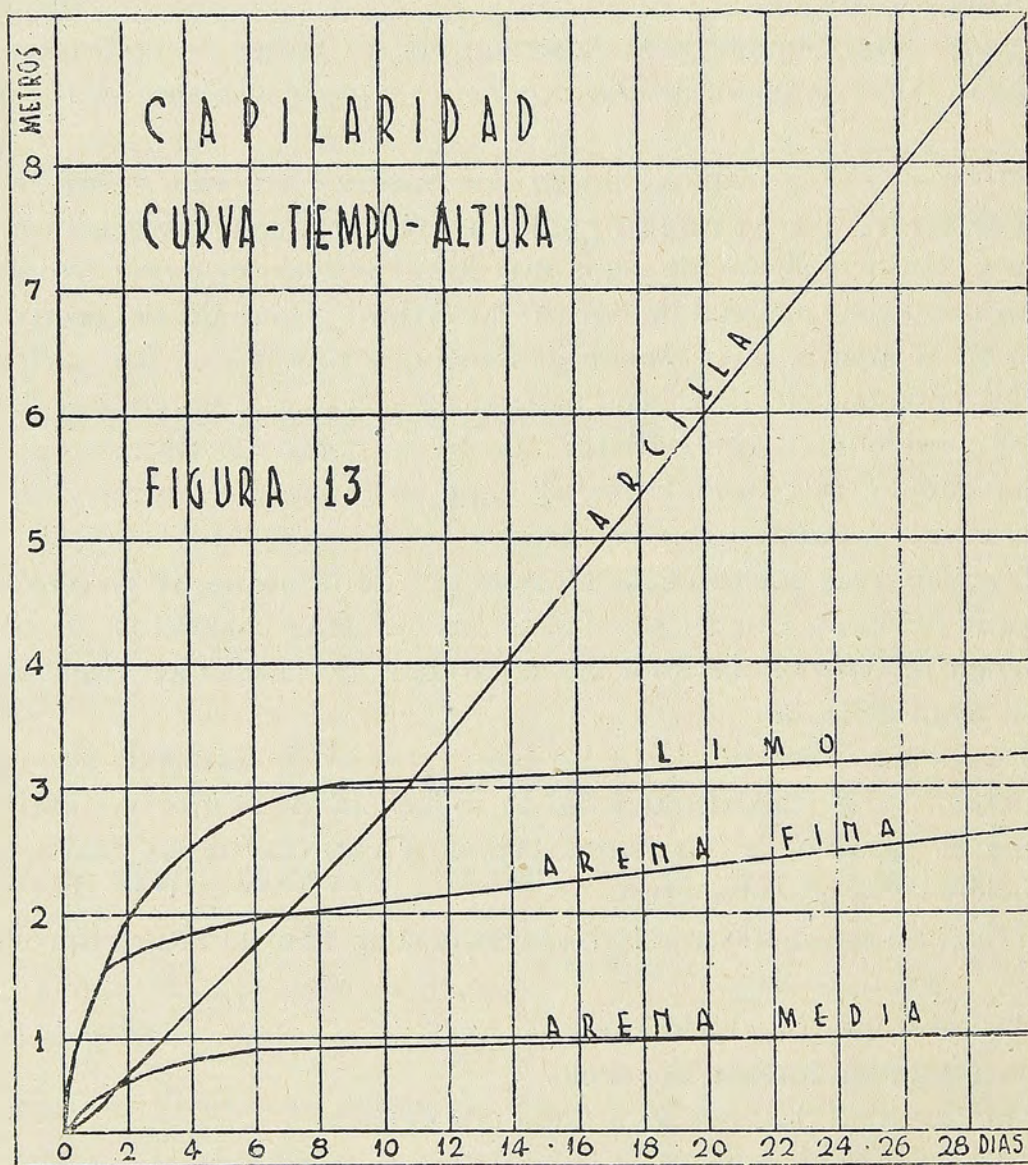
M.—es el coeficiente de heterogeneidad del suelo.

E.—es el coeficiente de porosidad.

D.—es el diámetro efectivo en centímetros.

Una característica importante en la capilaridad de los suelos es la velocidad ascensional del agua. Ella no es igual en todos y no varía de una manera sencilla con la granulometría.

A continuación se adjunta un gráfico de experiencias hechas en Michigan sobre este asunto (Figura N.º 13).



Se ve que la arcilla representa un caso anormal en el proceso de elevación capilar del agua: puesto que su curva tiempo-altura, corta la de los otros materiales.

El limo y la arena se caracterizan, dentro del lapso de treinta días, porque su proceso se divide en dos partes bien específicas: una en la cual el agua sube con rapidez, y otra en la cual la velocidad parece tender asintóticamente a cero.

En la arcilla, la velocidad se mantiene sensiblemente uniforme; y esta es la causa de que primero sufra un retardo y luego un adelanto en el proceso, con respecto a los otros materiales. El regulador que contiene la arcilla—y que no existe en el limo o en la arena—es una substancia que se destruye por calcinación; y que modifica su influencia sobre la velocidad ascensional, cuando el pH del suelo varía. Esta substancia sólo puede ser la fracción coloidal de la arcilla.

Los fenómenos derivados de la capilaridad se complican mucho en la naturaleza debido a las múltiples influencias extrañas que se ejercen: pérdidas de agua por evaporación de la superficie del suelo, absorción por las raíces, absorción por las zonas congeladas, etc.

El movimiento del agua capilar no se produce en los suelos sólo porque el agua capilar aun no ha alcanzado su máxima altura. Es preciso, además, que no se presenten obstáculos a su movimiento. Un obstáculo podría ser una capa de suelo impermeable. En este caso, el fenómeno de la ascensión antigravitacional no se produce sino imperfectamente; porque, al tratar de subir el agua, comprime el aire contenido en los poros de las capas superiores.

Un manto impermeable permite pues, el establecimiento de equilibrios capilares, tanto más estable cuanto más impermeable y más extenso sea el manto. Este concimiento se aprovecha en edafotecnia, al proyectar caminos.

La evaporación superficial es un factor de desequilibrio capilar que mantiene continuamente una corriente ascensional de agua desde la napa subterránea hasta el aire libre. La magnitud de la corriente es en este caso una función de la intensidad de la evaporación, dentro del límite máximo fijado por la capacidad del sistema de tubos que es el suelo.

Para que el fenómeno se produzca, es preciso que el suelo, a partir de la napa, se encuentre capilarmente embebido. Si en cualquier punto del suelo se interrumpe la continuidad de la corriente capilar, el movimiento se detiene. Esto se aprovecha en agricultura: para evitar la pérdida de agua del subsuelo por evaporación, se afloja la capa superficial del terreno. Esto equivale a romper la película y a interponer una capa de tierra entre la atmósfera y la superficie de ruptura. La corriente capilar se restablece comprimiendo la capa removida y humedeciéndola.

Un curioso fenómeno que se produce en caminos tiene también su explicación en las corrientes de agua capilar producidas por evaporación superficial.

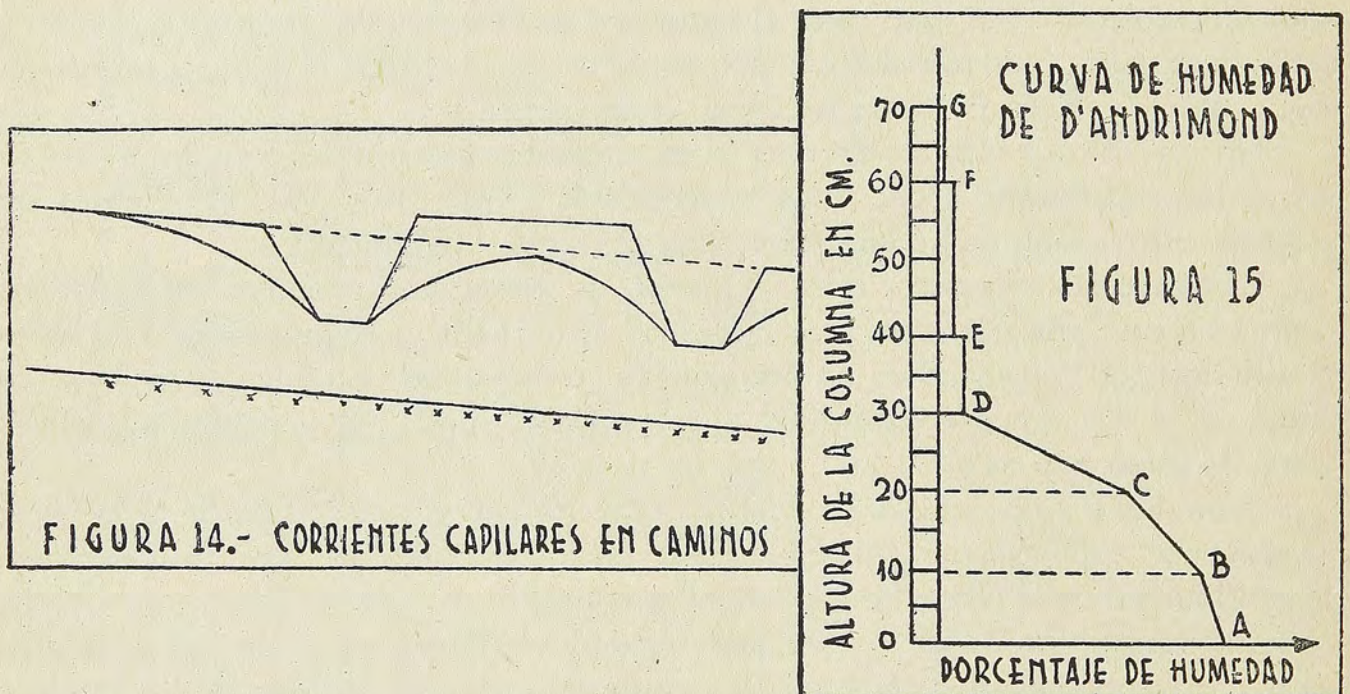
Sea un suelo, como el de la figura N.º 14, bajo el cual, el agua subterránea corre a pequeña profundidad. Sea también un camino que se ha drenado construyendo profundos fosos laterales. Lo primero que debemos preguntarnos es si el drenaje funciona. Evidentemente, la cota de la napa desciende; pero, ¿desciende también el agua capilar o la pelicular? Naturalmente, esto último está definido por la naturaleza del suelo del camino. Si éste es arcilloso, el agua debe subir. Cuando el líquido llega a la superficie comienza la evaporación y la corriente de agua capilar. En el verano el nivel del agua subterránea desciende, y la corriente capilar se corta.

Aceptemos ahora que se produce una pequeña lluvia, después de un largo período de sequedad. ¿Qué ocurre? El agua de la lluvia embebe el suelo y lo humedece; pudiendo llegar el agua hasta el punto en donde se encuentra el máximo nivel de verano del agua capilar. Producido el contacto de las dos aguas, se restablece la co-

riente capilar ascensional; y el camino permanece empantanado hasta varios días después de terminada la lluvia, debido a que el agua capilar sigue subiendo gracias a la evaporación superficial. El proceso no se vuelve a interrumpir hasta que se ha formado una capa aislante, gracias al calor que evapora más agua que la que puede subir; y al tráfico que remueve la tierra.

* * *

Todos los fenómenos anormales con respecto al agua libre que hemos estudiado en la capilar y en la higroscópica, se deben a la que llamaremos *agua interfacial*, y que definiremos como aquella agua que se encuentra en contacto directo con otra fase.



Ya hemos dicho que los esfuerzos moleculares que se producen merced a este contacto directo, modifican las propiedades del líquido.

h) *Agua gravitante*.— Como su nombre lo indica, esta agua es la que está sometida dentro del suelo a las leyes corrientes del líquido libre; y que se encuentra entre el material térreo porque obstáculos extraños le impiden escurrir según sus propias leyes de migración.

El agua gravitante es la que se puede eliminar por drenaje. En lo que sigue haremos un breve estudio del movimiento del agua libre en los suelos.

Sea K el coeficiente de permeabilidad (velocidad que adquiere en el suelo el agua cuando el gradiente hidráulico es uno).

Sea G , el gradiente hidráulico. V , la velocidad del escurrimiento; y A , el área de la acción transversal.

De acuerdo con las definiciones, la velocidad del escurrimiento será:

$$V = K \cdot G$$

Y el gasto Q:

$$Q = K \cdot G \cdot A$$

De acuerdo con esta fórmula, en igualdad de condiciones geométricas, los gastos que corresponden a diversos suelos son proporcionales a sus respectivos coeficientes de permeabilidad.

En efecto:

$$Q' = K' \cdot G \cdot A$$

$$Q'' = K'' \cdot G \cdot A$$

De donde:

$$Q' : Q'' = K' : K''$$

En general:

$$Q' : K = Q'' : K'' = Q''' : K''' \dots \dots \dots$$

A continuación se anotan los K de algunos suelos:

Arena gruesa.....	0,2
Arena fina.....	0,001
Arcilla.....	0,000 0002

Apliquemos estos conocimientos al drenaje de una determinada faja. ¿Qué rendimiento tienen los fosos en los distintos tipos de suelos?

Inmediatamente podemos contestar que el rendimiento será tanto menor cuanto menor sea la granulometría de los suelos. El escaso valor de K en la arcilla, nos hace ver el poco efecto que tendría un foso en el drenaje de un terreno arcilloso humedecido por capilaridad.

El agua gravitacional, que es la que existe en exceso sobre las que ya hemos conocido, suele determinar movimientos de las partículas de material térreo, que se traducen en modificaciones volumétricas.

Cuando se humedece un suelo, lo primero que ocurre es el relleno de huecos por parte del agua. Si la dosis de líquido aumenta, se producen separaciones de las partículas y alteraciones profundas de las propiedades del suelo, que serán estudiadas en el párrafo correspondiente.

i) *Agua hielo.*—Ya se ha dicho que el agua gravitante no congela a la misma temperatura que las otras formas del agua edáfica. También existe una diferencia específica en el proceso de formación de hielo en el agua libre y en las otras.

El agua edáfica no gravitacional congela a temperaturas que fluctúan entre menos 4 grados centígrados, y menos sesenta y ocho grados centígrados.

El agua que primero cristaliza en un suelo es la de los poros capilares mayores.

Los trocitos de hielo formados crecen después a expensas del agua contenida en los poros capilares menores, que necesitan temperaturas más bajas para cristalizar sin cambio de situación.

El agua hielo produce interesantes efectos en los suelos debido a las grandes presiones que se desarrollan por el aumento de volumen del agua al congelar; y por la migración del agua aun no congelada hacia los centros de cristalización.

j) *Agua vapor.*—El agua vapor existe en el aire contenido entre los poros de un determinado suelo. Ya se ha dicho anteriormente que entre el agua higroscópica y el agua de los vapores de la atmósfera del suelo existe una relación directa.

Se ha estudiado el equilibrio entre la humedad del aire y la higroscópica del suelo. Las leyes correspondientes se han formulado en forma de gráficos. No se conoce su expresión algebraica.

k) *Curvas de humedad.*— Terminaremos este estudio de las diversas formas del agua edáfica, con la presentación de la Curva de Rogé d'Andrimond, en la cual se observan claramente las que hemos estudiado. (Figura N.º 15).

D'Andrimond usó un tubo de vidrio de 6 cm. de diámetro, compuesto de catorce eslabones de cinco centímetros de altura cada uno. El tubo estaba lleno de arena, y su extremidad inferior sumergida en agua. El autor determinó la humedad de la arena en diversas alturas, y dibujó la curva que está al lado. Distinguió en ella las siguientes formas de humedad;

EF y FG. Agua higroscópica.

DE. Agua Pelicular.

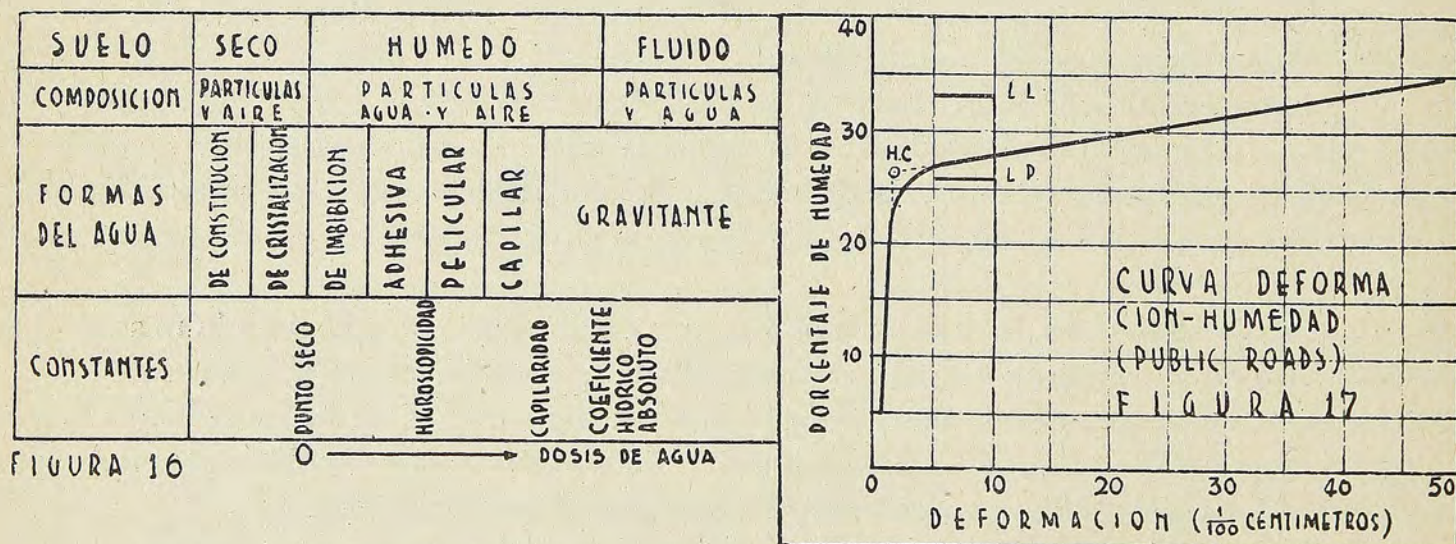
CD. Agua Pendular. (Agua de la capilaridad inicial).

BC. Agua Capilar.

AB. Agua de Gravitación.

Lebedeff ha obtenido resultados parecidos, inundando suelos contenidos en tubos. Finalmente, otros investigadores, separando por centrifugación el agua de la fase sólida, han obtenido también curvas de gran exactitud.

l) *Cambios físicos producidos por el agua en los suelos.*—Las diversas formas del agua edáfica pueden agruparse como se destaca en el gráfico adjunto. (Figura N.º 16).



Con humedad cero, el suelo sólo es un sistema de partículas y de poros llenos con aire. La tierra retiene únicamente su agua química. Este es el suelo seco.

Agregando agua al suelo, éste queda convertido en un sistema de partículas, agua y aire. Se dice entonces que el suelo está húmedo.

Mayores dosis de agua terminan por expulsar completamente el aire de los poros. Se habla entonces de suelo fluido. La humedad que separa este estado del suelo húmedo, se llama coeficiente hídrico absoluto.

Las propiedades físicas de los suelos se modifican con su humedad, dentro del amplio margen comprendido entre los estados sólido y líquido.

Si a un trozo de suelo seco compacto se le agrega agua lentamente, éste conservará su estado sólido hasta llegar a cierta dosis con la cual las partículas, sin perder su cohesión, pueden deslizarse entre sí, bajo la acción de esfuerzos exteriores. Se dice entonces que el suelo ha cambiado de estado y se ha hecho plástico. La dosis precisa de agua que ha permitido este cambio, expresada en porcentaje en peso del suelo seco, recibe el nombre de *límite plástico interior*.

La interpretación física del fenómeno es sencilla: el agua ha dejado de ser un factor de resistencia del suelo, por engrosamiento excesivo de la película que rodea a las partículas, y se ha convertido en un lubricante.

El límite plástico, según Wintermeyer, es el contenido de la humedad, bajo el cual las propiedades físicas del agua comienza a diferir de las correspondientes al líquido libre.

Al seguir aumentando la dosis de agua, el suelo continúa en estado plástico—vale decir moldeable, o capaz de transmitir esfuerzos normales a la dirección de la carga, hasta que llega un estado en el cual bajo la acción de ligeros golpes, cambia de forma y se adapta a la del recipiente que lo contiene. Ha habido, pues, un nuevo cambio de estado: el suelo ya no es plástico sino que está líquido.

La interpretación física del fenómeno es ésta: bajo la acción del agua, la cohesión y la fricción entre las partículas se han hecho despreciables.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, conocida con el nombre de índice de plasticidad, marca el sector dentro del cual el suelo se mantiene plástico.

Estudiemos ahora las deformaciones que sufre un suelo bajo la acción de una determinada carga, en condiciones crecientes de humedad (Figura N.º 17).

Analizando el gráfico adjunto, que interpreta el desarrollo del fenómeno, vemos que la curva deformación—humedad, presenta cierto parecido con las curvas fatiga—deformación de Resistencia de Materiales:

El período elástico de éstas corresponde al estado sólido de la muestra; y el de las deformaciones inelásticas, a los estados plástico y líquido.

El punto de inflexión de la curva humedad-deformación, corresponde a cierta humedad que se denomina crítica, cuyo valor se encuentra entre los límites plástico y líquido; más próximo del primero que del segundo. En general, la humedad crítica es aproximadamente igual al límite plástico en los suelos arcillosos. En los suelos no cohesivos sin plasticidad, puede calcularse en un 75% del límite líquido.

Si se toma un suelo muy fluido y se hace evaporar lentamente su agua, la tensión superficial irá aumentando y acercando sus partículas cada vez más—es decir, el suelo se irá contrayendo—hasta llegar a un límite en el cual las fuerzas de la tensión superficial encuentran reacciones iguales, momento en el cual la contracción debe cesar. El contenido de agua del suelo cuando se produce este fenómeno, expresado en porcentaje en peso del suelo seco, se llama *límite de contracción*.

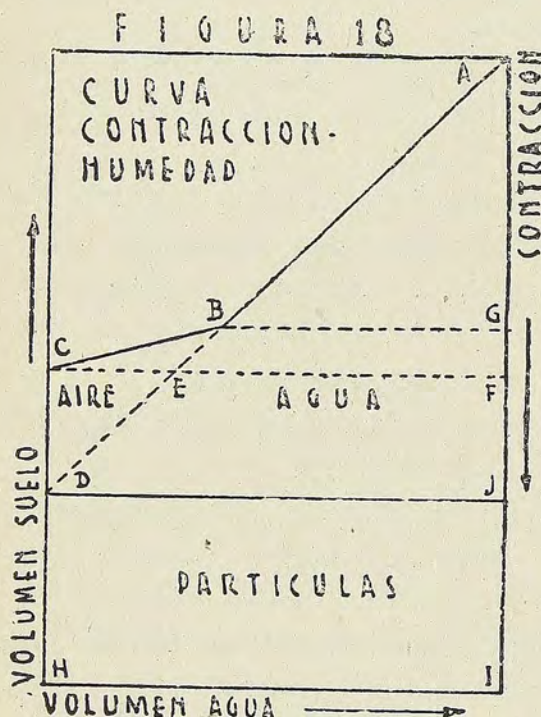
Deduzcamos ahora las leyes que rigen el proceso de la contracción de un suelo fluido, cuya agua evapora lentamente. Coloquemos las conclusiones a que lleguemos

en un gráfico que en ordenadas tendrá el volumen de un suelo (partículas, agua y aire); y en abscisas el volumen de agua contenido. (Figura N.º 18).

Mientras el suelo se mantenga en estado fluido, sin aire en los poros, el volumen de la contracción en cada instante será igual al volumen de agua evaporada.

Interpretemos este hecho en nuestro gráfico. Sea A el punto representativo del suelo cuando contiene un volumen de agua C F; y B el punto representativo del mismo suelo cuando ya ha perdido un volumen de agua B G.

De acuerdo con lo que se termina de expresar, el volumen B G de agua perdida debe ser igual al volumen A G de la contracción.



La curva de contracción en este sector será, por lo tanto, una recta AB, inclinada en 45 grados con respecto a los ejes coordenados.

En el punto B se inicia la entrada de aire a las capas superficiales de la muestra, y ella cambia de color. Desde ese instante hasta C, los volúmenes de contracción no deben ya ser iguales a los correspondientes volúmenes de agua evaporada, sino mucho menores. El coeficiente angular de la curva debe disminuir. B marca, por lo tanto, un punto crítico en el cual el proceso contractivo presenta una solución de continuidad.

C, o sea el punto que corresponde a la humedad cero, y a la máxima contracción, marca un volumen que es igual al de las partículas más el de poros, estando estos últimos llenos únicamente con aire.

La curva ABC que hemos trazado, llamada curva de contracción, tiene interesantes propiedades:

1.º La prolongación de la recta AB, correspondiente al suelo fluido, hasta cortar al eje de ordenadas, marca en la intersección un punto D que mide el volumen específico del suelo (volumen neto de las partículas).

En efecto, en el punto D, el agua evaporada (todo el contenido del suelo) es DJ. Esta agua llenó los poros del suelo—volumen JF—y lo expandió luego en un volumen AF:

$$DJ = JF + FA = AJ$$

Con lo cual se demuestra que el punto D se encuentra en la prolongación de AB.

2.º La recta BD marca los contenidos sucesivos de agua y aire del suelo, después que éste ha dejado de ser fluido. A la izquierda, las ordenadas—entre BD y BC—miden el volumen de aire; y a la derecha desde BD hacia abajo—el de agua.

3.º El límite de contracción, tal como ha sido definido más atrás, no tiene significado preciso en el gráfico de contracción; en cambio lo tiene la constante que con este nombre se determina en los Laboratorios Edafológicos.

En estos laboratorios, el ensayo se hace contrayendo los suelos hasta hacerlos perder toda su humedad (punto C); de modo que el volumen de agua con el cual se calcula el límite de contracción es:

$$CD = CE$$

Por lo tanto, dentro del gráfico, *el límite de contracción corresponde al punto E*. Expresemos su valor en término de medidas hechas en dicho gráfico. Sea g el peso aparente del suelo seco. Recordemos la definición del límite de contracción LC:

El volumen del agua, y también su peso, es CE . El volumen del suelo seco es HC ; y su peso, $g \cdot HC$. De aquí resulta para el LC:

$$LC = 100 \frac{CE}{g \cdot HC}$$

4.º Definiremos ahora la Razón de contracción RC. Es la relación entre una contracción volumétrica, expresada en porcentaje del volumen del suelo seco; y la correspondiente disminución de humedad, hasta el límite de contracción, medida en porcentaje en peso de suelo seco. Interpretemos en el gráfico. La contracción volumétrica es AF ; y expresada en porcentaje de volumen de suelo seco:

$$CV = 100 \frac{AF}{CH}$$

La correspondiente disminución de agua es:

$$CF - CE = EF$$

que, expresada en porcentaje de suelo seco, resulta:

$$h = \frac{EF}{g \cdot CH} 100$$

La razón de contracción sería:

$$\begin{aligned} RC &= \frac{CV}{h} \\ &= \frac{AF}{EF} \cdot g \end{aligned}$$

Del gráfico se obtiene:

$$\begin{aligned} AF &= EF \\ RC &= g \end{aligned}$$

5.º También podemos deducir del gráfico la constante que se calcula con el nombre de «Contracción volumétrica correspondiente a un determinado contenido de humedad», que se define como la contracción que sufre la unidad de volumen de un suelo cuando dicha humedad baja hasta el límite de contracción.

Por definición tenemos que la contracción volumétrica es:

$$CV = \frac{AF}{CH}$$

donde:

$$AF = EF = CF - CE = H - LC$$

$$CH = \frac{1}{g} = \frac{1}{RC}$$

De aquí resulta:

$$CV = RC (H - LC)$$

6.º Los datos obtenidos en el estudio de la contracción permiten calcular el peso específico de un suelo en forma teóricamente exacta; pero que en la realidad sólo resulta aproximada, a causa de las complicaciones físico-químicas del fenómeno.

Por definición tenemos:

$$LC = 100 \frac{CE}{g \cdot CH}$$

$$= 100 \frac{CD}{g \cdot CH}$$

$$= 100 \frac{CH - DH}{g \cdot CH}$$

$$g \cdot LC = 100 - 100 \frac{DH}{CH}$$

Llamemos m a la masa del suelo y G a su peso específico:

$$DH = m/G$$

$$CH = m/g$$

de donde:

$$g \cdot LC = 100 - 100 \frac{g}{G}$$

Recordando ahora que g es igual a RC :

$$G = \frac{1}{\frac{1}{RC} \cdot \frac{LC}{100}}$$

7.º La característica llamada porosidad, también está relacionada con las constantes de contracción.

Porosidad es el porcentaje de volumen de poros de un suelo con respecto a su volumen total.

Definiendo a la porosidad P , a base de elementos del gráfico:

$$\begin{aligned} P &= 100 \frac{CD}{CH} \\ &= 100 \frac{CE}{CH} \end{aligned}$$

Por otra parte, el límite de contracción es:

$$LC = 100 \frac{CE}{g \cdot CH}$$

De donde:

$$P = g \cdot LC$$

Terminaremos expresando que el punto crítico B de la curva de contracción, la humedad crítica de la curva de deformación-humedad y el coeficiente hídrico absoluto, son la expresión de un mismo hecho físico, que cada autor ha abordado en forma diferente.

Finalmente, es preciso recalcar que el estado de la arcilla influye sobre los fenómenos de absorción de agua por los suelos, como se aprecia en el cuadro de la página 50; y que la floculación por acción del agua es un fenómeno corriente que origina grandes expansiones y contracciones altamente perjudiciales en los caminos.

m) *Interpretación electro-química de los fenómenos producidos en el complejo agua-suelo.*—Cuando dos fases se ponen en contacto, por ejemplo, un sólido y un líquido, en la superficie de contacto se producen fenómenos que manifiestan la existencia de cierta afinidad entre ellas, cuyo valor varía con su naturaleza.

Cuando la afinidad es muy grande, se producen reacciones químicas. Cuando es menor, sólo se produce una orientación molecular en los alrededores de la superficie de contacto. La película adherida a dicha superficie, que tiene orientadas sus moléculas, presenta propiedades distintas de las que corresponden a la sustancia que la constituye. Es el caso de las películas de agua interfasial de que hemos hablado anteriormente.

La ordenación molecular que se produce en la superficie de contacto entre una fase líquida y una sólida, depende del carácter polar del líquido y de la superficie del sólido.

Se entiende por carácter polar de una sustancia, a la condición que resulta de la posición relativa dentro de la molécula, del centro de gravedad de los núcleos positivos y del centro de gravedad de los electrones negativos. Cuando en una molécula estos centros no coinciden, ella se transforma en una especie de imán—*dípolo*—capaz de orientarse en un campo eléctrico.

El estado natural de un líquido, desde el punto de vista de la orientación de sus moléculas, corresponde a su energía potencial mínima. Ciertos fenómenos físicos alteran este «*statu quo*» y producen movimientos moleculares que levantan el nivel de la energía potencial, mediante la orientación de los *dípolos*.

De acuerdo con lo expuesto, la superficie de separación entre dos fases acumula energía potencial en la película superficial, energía que llamaremos *tensión interfasial*.

Siendo las tensiones interfasiales una forma de la energía potencial, de acuerdo con la segunda ley de la Termodinámica, todo cambio que ellas produzcan en un sistema, libremente, debe producirse en el sentido que corresponda a una disminución de la energía libre.

Explicuemos ahora los fenómenos que produce el agua en los suelos a la luz de su interpretación electro-química. Para ello es preciso primero que hagamos una distinción específica: Los fenómenos en los cuales predomina la influencia del carácter polar del líquido y aquéllos en los cuales esta influencia es despreciable.

Ya hemos visto que en un recipiente con agua, la superficie libre del líquido es una película elástica con características resistentes susceptibles de ponerse en juego bajo determinadas condiciones. Sabemos también que esta película se forma gracias a los esfuerzos moleculares de la masa que cubre dicha película. (Ver *Agua Capilar*).

Estudiemos ahora la estabilidad de una gota de agua colocada sobre una superficie sólida horizontal. Si sobre la masa líquida sólo actuaran las fuerzas de gravedad, ella se extendería sobre la superficie sólida hasta formar una película monomolecular en su espesor. Pero en la realidad entran en juego otros esfuerzos: Las acciones atractivas del sólido, la viscosidad del líquido y las reacciones de la película superficial.

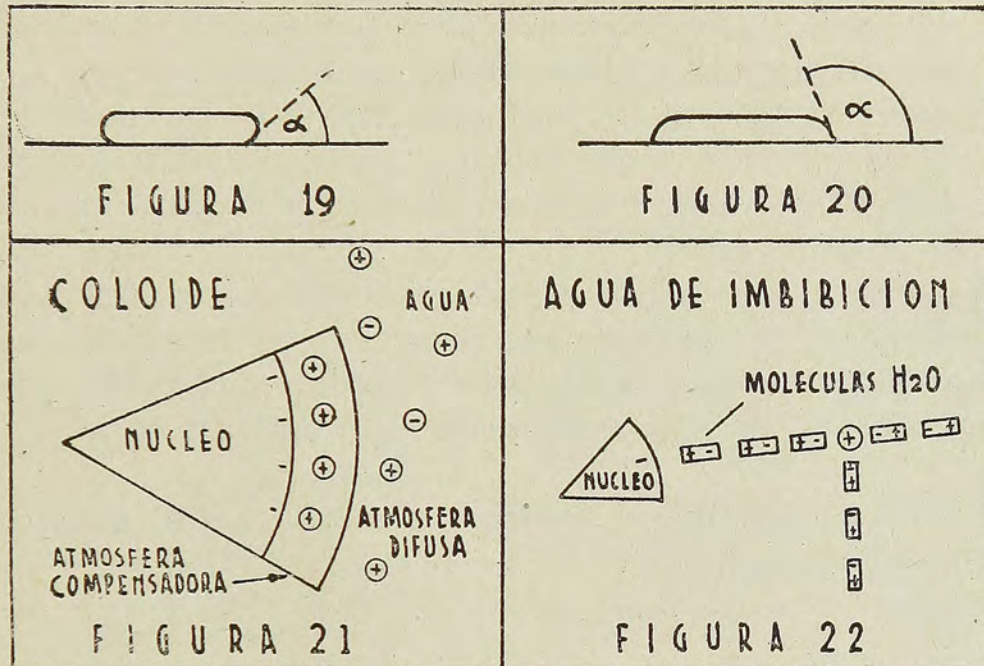
La gota de agua se extiende y su altura baja hasta que se produce el equilibrio entre estas fuerzas. La forma que ella toma, una vez establecido dicho equilibrio, es una función de la afinidad que existe entre el material que forma la superficie sólida y el líquido.

Cuando no hay afinidad, el líquido no moja al sólido, y la película superficial no es deformada por el contacto, sino por el peso de la masa envuelta. Ella sigue

rodeando al líquido, obligándolo a tomar la forma que se ve en la figura 19. El ángulo α se denomina ángulo de contacto, y es característico. Su valor es un índice de la afinidad entre un líquido y un sólido, y tiene importancia su medida en Edafotecnia.

Cuando el líquido moja al sólido existe afinidad, o sea, las moléculas superficiales del sólido atraen a las del líquido.

Al colocar una gota de agua sobre una superficie de esta clase, ella toma la forma que se ve en la figura N.º 20, debido a que la tendencia del líquido es ahora la de extenderse, atraído por las moléculas superficiales aun no mojadas del sólido.



Si con este material sólido se confecciona un tubo capilar, al poner uno de sus extremos en contacto con el líquido, éste subirá por él venciendo a la gravedad, gracias al mecanismo que se explicó oportunamente—ver agua capilar—y que calza con la explicación general que se está haciendo.

En ninguno de estos fenómenos ha tenido influencia la polaridad del líquido. Ahora estudiaremos la imbibición, que no es posible en líquidos no polares.

La causa de esta imposibilidad la encontraremos haciendo la interpretación electroquímica de los fenómenos básicos de la imbibición: Todo coloide ionógeno compuesto está constituido por un núcleo en cuya superficie existen cargas iónicas negativas que se deben a su disociación superficial. (Figura N.º 21).

Rodeando este núcleo que en el caso de la arcilla es de sílice combinada con sesquióxidos de fierro y aluminio hidratados, existe una atmósfera catiónica, compuesta de iones positivos compensadores, de sodio, hidrógeno, calcio, magnesio, etc. Por encima de esta atmósfera catiónica compensadora existe otra llamada *difusa*, compuesta de iones satélites, más o menos libres, que no son retenidos por las cargas negativas del núcleo. Todo este conjunto es lo que constituye una miscela o partícula coloidal.

Como se ve en la figura N.º 22, el agua de imbibición queda retenida solamente gracias a su carácter eléctrico, que le permite, o mejor, la obliga a ubicarse dentro de la estructura de una miscela, hidratando los cationes.

De lo expuesto se deduce que la absorción de agua por los suelos se produce sólo en dos formas, y que estas formas son específicamente distintas:

- a) Gracias a los fenómenos que produce la película interfásial.
- b) Por la polaridad de las moléculas de agua.

Sideri ha propuesto un método sencillo para medir lo que los suelos absorben en una y otra forma. Se basa en el hecho que terminamos de conocer, de que los líquidos no polares no embeben a los coloides. Consiste en medir la absorción del agua y la de un aceite mineral, por el suelo en estudio.

6.º *Las sales.*

Más atrás, al hablar de las arcillas, hicimos notar que la presencia de ciertas sales en los suelos modificaban las propiedades activas de los coloides.

Al estudiar la adsorción, se dijo que los coloides, puestos en contacto con las soluciones salinas acuosas, tenían la propiedad de adsorber los iones metálicos de éstas, o el ión H de los ácidos.

Se dijo también que una característica importante de los suelos era su pH, porque sus propiedades se modificaban según fuera su reacción básica o ácida.

La magnitud de la influencia del «estado» de la arcilla, puede determinarse observando el resultado de experiencias hechas sobre absorción de agua.

Un suelo arcilloso neutro absorbe	44%	de agua
El mismo alcalino	82%	» »
El mismo ácido	41%	» »

El efecto producido por los iones sobre los coloides ha sido estudiado y se estudia actualmente con gran actividad en muchos Laboratorios.

Tres iones tienen especial interés en Edafotecnia, por ser de uso corriente en estabilización: H, Na y Ca.

El hidrógeno flocula la arcilla reduciendo, por lo tanto, su plasticidad y aumentando la permeabilidad. El calcio produce los mismos efectos. El sodio peptiza la arcilla, dando viscosidad al suelo.

Las constantes hídricas de un suelo se modifican según sea el ión adsorbido.

A estos efectos físico-químicos de las sales sobre los suelos es preciso agregar otros de carácter puramente físico.

La presión de vapor del cloruro de sodio, por ejemplo, es inferior a la del agua, lo cual se traduce en los suelos en un retardo de la evaporación de la humedad pelicular.

Las sales deliquescentes, en general, (Cloruro de sodio, cloruro de calcio, nitrato de sodio) proveen a los suelos de películas líquidas más uniformes, delgadas y resistentes que las que proporciona el agua pura. También, dentro de ciertos límites, mantiene a los suelos continuamente con humedad eficiente, aun cuando las condiciones exteriores varíen profundamente.

(Continuará).