

## SECCIÓN LABORATORIOS DE LA FACULTAD

### Estudios experimentales sobre el movimiento del agua en el suelo. - Aplicaciones a los suelos argentinos de las regiones de regadío

Contribución al estudio comparativo de las propiedades hidrológicas de los terrenos agrícolas, como base para una distribución racional de las aguas de riego

Por M. CONTI

SUMARIO: Razones de este estudio. Material de ensayo. Plan de trabajo.

El empleo de los tubos para las pruebas. Influencia del diámetro de los tubos. Velocidad de filtración vertical y horizontal. Profundidad de penetración. Retención. Ascensión capilar. Reparto de la humedad en las distintas capas. Otros aparatos usados en los ensayos de comprobación.

Deducciones: principios que rigen la penetración del agua en el suelo.

#### RAZONES DE ESTE ESTUDIO

Uno de los capítulos más imperfectamente estudiados de la Hidrología Agrícola, es el que se relaciona a las propiedades hidrológicas del suelo y al movimiento del agua en el mismo.

Son conocidos, pues figuran en todos los tratados de agronomía y agrología, los clásicos estudios experimentales sobre las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos. Iniciados dichos estudios por Schübler y Haberlandt y continuados por Drabble, Thomson y otros, llegaron a su mayor grado de eficiencia por mérito de Hellriegel y Müntz, sin mencionar los más modernos y famosos experimentadores europeos y americanos cuyos nombres y trabajos son bien conocidos por los que se ocupan de estudios de esta naturaleza.

El examen de todos los datos por demás abundantes que ofrecen estos autores, deja sin embargo una impresión de duda respecto a la utilidad práctica que ellos pueden reportar. Es que por lo general cada autor ha seguido un método propio apartándose del camino seguido por los demás y esa falta de correlación determina la imposi-

bilidad de las comparaciones, tan necesaria en esta clase de estudios para que ellos resulten de positiva utilidad.

Consideramos además fundamental y básico establecer la relación entre las propiedades hidrológicas de cada suelo y su composición físico - mecánica expresada en términos bien definidos.

Debe buscarse, en fin, que los ensayos mismos se efectuen en las condiciones que más se acerquen a las reales del terreno realizando siempre ensayos de comprobación que nos permitan establecer la racionalidad de los procedimientos seguidos.

No necesitamos extendernos en consideraciones teóricas para demostrar la importancia que revisten los estudios de esta naturaleza, pues todos estamos convencidos que sólo mediante una experimentación prolongada, será posible llegar a establecer normas básicas para la aplicación de esta clase de estudios, facilitando y perfeccionando en tal modo los procedimientos culturales y el manejo de las aguas en el campo.

Desde hace tiempo vamos reuniendo datos experimentales sobre este particular, y al dar a la publicidad esta monografía, no pretendemos sino aportar nuestra modesta contribución a un problema de tanta magnitud, llamando sobre él, la atención de otros experimentadores.

#### MATERIAL USADO EN NUESTROS ENSAYOS

Con el objeto de llevar nuestra experimentación sobre los más distintos tipos de suelos y materiales terrosos, y sacar de ese modo conclusiones de carácter lo más posible general, se eligieron ocho muestras de tierras de las principales regiones del país, ampliando ese material de ensayo con cinco muestras de arena de cinco distintos diámetros, preparadas por medio de tamices apropiados.

Enumeramos a continuación las características de cada una de las trece muestras así preparadas.

#### *Materiales arenosos*

Muestra 1	formada por granitos de	2	á	4	mm.
» 2	»	»	»	1	á 2 »
» 3	»	»	»	0,5	á 1 »
» 4	»	»	»	0,1	á 0,5 »
» 5	»	»	»	0,01	á 0,1 »

*Análisis físico - mecánico de las tierras ensayadas*

Tierras		Materiales constitutivos			
Muestra	Procedencia	Arena		Arcilla	Mater. org. y detritus
		gruesa	fina		
6	Pampa	73	22	4	1
7	Córdoba	13	69	14	3
8	Rioja	37	55	5	2
9	Mendoza	24	53	19	4
10	San Juan	65	28	5.5	1.5
11	R. Negro	50	39	9.5	1.5
12	La Plata	35	46	19	3.5
13	La Plata (bajo)	44	43	13	5.5

Hemos adoptado la división de los materiales constitutivos del suelo de acuerdo a la clasificación propuesta por la mayor parte de los autores.

Las determinaciones analíticas se realizaron por medio de un aparato de levigación, análogo al propuesto por Wagner, habiéndose adoptado para la arcilla, arena fina y arena gruesa, las características siguientes:

	Diámetro en mm.	Velocidad de caída
Arcilla . . . . .	menos de 0.01	menos de 0.2 mm. por "
Arena fina . . . . .	0.01 á 0.1	0.2 á 2 mm.
Arena gruesa . . . . .	0.1 á 1	2 á 7 mm.

Del examen del cuadro que enumera las muestras usadas para los ensayos, es fácil desprender que se trata de una variedad muy grande de tipos de materiales terrosos; desde las arenas muy gruesas y homogéneas, la colección comprende suelos de los más distintos grados de textura y compacidad, figurando también suelos netamente arcillosos, si no por su contenido muy elevado de arcilla, por su casi impermeabilidad, como se verá oportunamente, debido al estado coloidal de este elemento.

ENSAYOS REALIZADOS

Entre los múltiples ensayos realizados y que constituían nuestro plan de trabajo, recordamos los siguientes:

1º Determinación de la velocidad de filtración vertical y lateral, en suelos secos y removidos y en suelos ya mojados y sedimentados.

2º Determinación del poder máximo de imbibición y de la capacidad real de retención del agua, estableciendo la forma de repartición de la humedad en las distintas capas.

3º Determinación de la profundidad de penetración, en relación con la altura de agua suministrada.

4º Determinación del poder de ascensión capilar y otras determinaciones más, que se detallarán en el curso de nuestra exposición.

#### EL USO DE TUBOS DE VIDRIO EN LOS ENSAYOS

*Influencia del diámetro de los mismos.* — Después de una serie de pruebas preliminares, con distintas clases de apartos que no dieron el resultado práctico, y con el objeto de simplificar la realización de nuestros estudios, resolvimos efectuar los ensayos, mediante tubos de vidrio, los que entre otras ventajas, ofrecen también la de permitir observar la marcha del agua en movimiento en el interior del suelo que ellos contienen.

Debía establecerse de antemano el diámetro más apropiado para los tubos, a fin de que ellos reflejaran lo más posible las condiciones naturales en que la tierra se halla en el suelo.

Para conocer la influencia que hubiera podido tener el diámetro de los tubos, se realizaron ensayos previos mediante tubos de cuatro distintos calibres los que se llenaron en modo uniforme con la misma clase de tierra por una altura de 30 centímetros. Las velocidades de filtración registradas fueron las siguientes:

Diámetro tubo en mm	Velocidad de filtración en mm por '
5	0.6
10	1.3
17	1.55
26	1.7
95	1.76

Fueron repetidos con resultados análogos, los ensayos con varias clases de tierras. Representando los datos obtenidos bajo forma de diagrama, se consigue una curva que adquiere su casi horizontalidad en cuanto los tubos pasan de 20 milímetros de diámetro; quiere decir que desde ese límite, la velocidad de filtración se va aproximando a las condiciones naturales del suelo. En nuestros ensayos hemos usado tubos de 26 mm. de diámetro.

Tiene sin duda mucha influencia sobre el resultado de los ensayos en tubo, la forma de rellenarlos con tierra. Para solucionar en forma satisfactoria este particular, hemos adoptado para el relleno de los tubos un método especial que permite la uniformidad de la compresión y la perfecta distribución de las partículas terrosas.

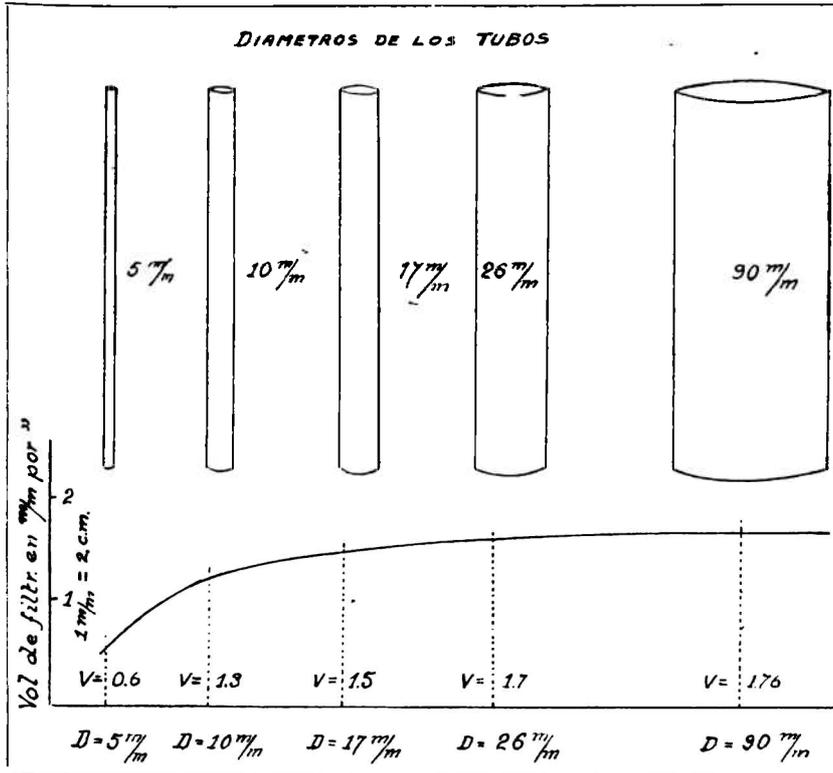


Fig. 1. — Ensayos previos destinados a determinar la influencia del diámetro de los tubos sobre la velocidad de filtración del agua a través de la tierra en ellos contenida. Se tomaron tubos de los 5 diámetros indicados; las velocidades de filtración han sido reproducidas en el diagrama adjunto y revelan que las diferencias van disminuyendo volviéndose la curva casi horizontal. Esto quiere decir que desde los 26 mm en adelante se va reduciendo la influencia del diámetro en tal modo que la tierra en ellos contenida puede considerarse en condiciones análogas a las de la tierra natural.

El método consiste en la adopción de un tubo superpuesto con diafragma o compuerta separadora, análogo al que se usa para el relleno de los recipientes de las balanzas destinadas a determinar el peso hectolítrico de las semillas de trigo. Después de llenado el tubo superior, sacando el diafragma, la tierra cae de golpe en el tubo inferior, sentándose siempre en la misma forma.

DETERMINACIÓN DEL PODER DE IMBIBICIÓN, DE PENETRACIÓN Y DE  
RETENCIÓN DEL SUELO

Son conocidos al respecto, los métodos propuestos y los resultados obtenidos por Drabble, Schubler, Wollny y otros autores; en nuestras comprobaciones experimentales, hemos conseguido resultados muy distintos según los métodos usados. En éste, como en todos los demás estudios, lo que debe conseguirse es la uniformidad en el método para obtener resultados comparables.

Hemos procedido en el modo siguiente: conocidos el peso de la tierra seca al aire contenida en cada tubo, se agrega agua en la parte superior y se deja gotear hasta su completa eliminación, la diferencia en peso relacionada a 100 de tierra, nos da el *índice de imbibición*.

En sus condiciones naturales el suelo saturado con agua, cede poco a poco, una parte de esa agua a las capas inferiores y laterales hasta tanto la fuerza de atracción de las partículas, llamada tensión superficial, se equilibra a la fuerza de gravedad.

El agua que queda entonces en la tierra, nos da la medida de su *poder de retención*, la profundidad máxima alcanzada por el agua nos indica la *profundidad de penetración* y la relación entre la capa de agua expresada en milímetros y la profundidad alcanzada en el suelo, podría llamarse *índice de penetración*.

Resulta interesante conseguir prácticamente esos datos para poderlos comparar y relacionar entre sí, y sobre todo para compararlos con las propiedades y componentes físicos de cada clase de suelo.

Para la determinación del poder de retención se ha procedido así: vertida en cada tubo lleno de tierra la cantidad de agua equivalente a un 30 % del total de su agua de imbibición, se apuntó el nivel inferior alcanzado por el agua filtrada después de 24 horas. La cantidad de agua suministrada se expresa en el cuadro en milímetros de altura, lo mismo como se expresa en milímetros la profundidad alcanzada por esa agua en el suelo.

El reparto de esa agua en el suelo no es, sin embargo, uniforme a lo largo de toda la profundidad alcanzada. Hemos comprobado eso determinando para cada muestra de tierra, la humedad de tres capas distintas, consiguiéndose como término medio, estos resultados:

en el 1º tercio queda el 43 % del agua  
» » 2º » » » 32 » » »  
» » 3º » » » 25 » » »

Estas proporciones se alteran si entran en juego la evaporación y la capilaridad.

El diagrama construido con estos datos nos dice que el reparto de la humedad en el suelo se verifica según la línea recta, que prolongada nos podría indicar en determinadas condiciones, la profundi-

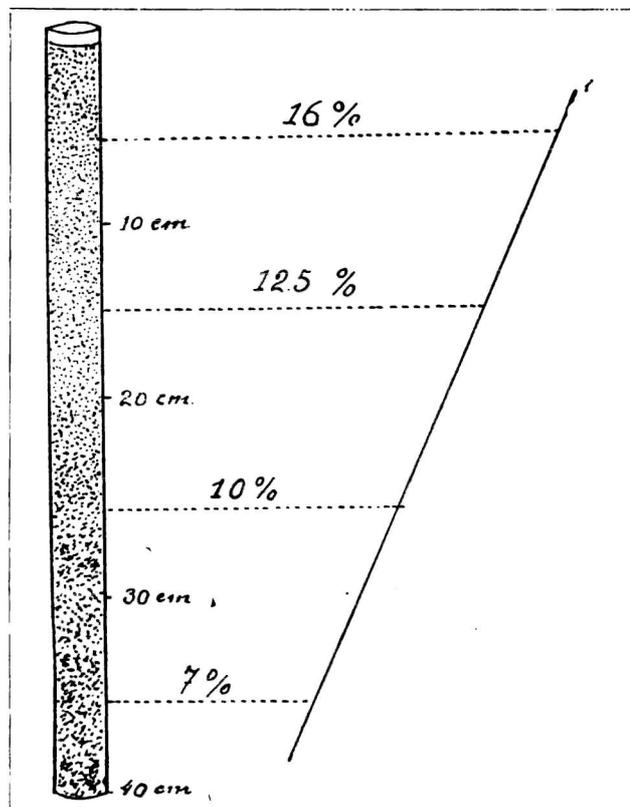


FIG. 2. — Diagrama de la repartición de la humedad en las distintas capas de un suelo después de su tratamiento con el agua en cantidad equivalente al 30 % de su imbibición suministrada en la superficie. Es este el caso práctico de un campo sometido a riego. En los ensayos realizados por Schloesing, también en tubos, pero con exceso de agua, la humedad se reparte en modo distinto por cuanto el sobrante de agua, que no se adhiere a los particular del suelo, sigue por gravedad hacia abajo enriqueciendo mayormente las capas inferiores razón por la cual dicho autor llegó a resultados opuestos a los nuestros. Es este el caso de los suelos que necesitan ser saneados.

dad a que podría encontrarse la tierra sin rastros de humedad, pero esto prácticamente no se verifica, pues intervienen, como se ha dicho, una serie de otros factores y otros fenómenos como por ejemplo la evaporación y la capilaridad, que modifican rápidamente la humedad del suelo, especialmente en las capas superficiales.

*Resumen general de los datos relativos a poder de imbibición, profundidad de penetración y poder de retención de los suelos por el agua*

Muestras	Imbibic.	Profundidad de penetrac. de agua			Retención en la capa superficial 10 cm.	Relación entre imbib. y retención
		capa agua <i>h</i>	prof. alcan. <i>p</i>	relac. $\frac{h}{p}$		
Arenas	1 20 %	28 mm	280	10	16%	0,8
	2 22 »	30 »	240	8	18 »	0,8
	3 23 »	38 »	150	4	18 »	0,8
	4 27 »	40 »	120	3	15 »	0,6
	5 31 »	36 »	100	3	19 »	0,6
	6 30 »	42 »	155	4	18 »	0,6
Suelos Agríc.	7 51 »	45 »	180	4	20 »	0,4
	8 30 »	40 »	250	6	11 »	0,43
	9 50 »	46 »	180	4	21 »	0,4
	10 42 »	40 »	210	5	15 »	0,4
	11 31 »	40 »	220	5.5	12 »	0,4
	12 46 »	45 »	200	4.5	18 »	0,4
	13 56 »	45 »	160	3.5	23 »	0,4

El cuadro resulta por demás interesante y el examen de los datos en él consignados, relacionados con la naturaleza física de cada tipo de suelo, sugiere las siguientes observaciones y deducciones:

1º La cantidad de agua absorbida por los suelos es proporcional a su contenido en humus, arcilla y arena fina, en relación a los coeficientes 3, 2 y 1 respectivamente, quiere decir que el contenido en humus es el que da al suelo mayor poder de imbibición, le sigue la arcilla y la arena fina.

2º De acuerdo a su grado de permeabilidad, el suelo va cediendo parte del agua absoluta. El *coeficiente de retención* (última columna), es uniforme; en la totalidad de los suelos agrícolas es igual a 4.40 o sea a un 40 % de la imbibición, alcanza el 60 % en las arenas finas, llegando al 80 % en las arenas muy gruesas.

3º La profundidad de penetración del agua en el suelo ofrece también cierta uniformidad. Ella equivale de 4 a 6 veces la capa de agua suministrada en los suelos agrícolas, de 3 a 4 veces en las arenas finas llegando en cambio a 8 y 10 veces en las arenas muy gruesas.

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN VERTICAL DEL AGUA  
EN EL SUELO

La velocidad con que penetra el agua en el suelo depende de una serie de circunstancias relacionadas con sus propiedades físicas y en un mismo suelo se manifiesta de acuerdo a su mayor o menor grado de soltura y de sequedad.

En suelos secos y sueltos por labores recientes, el agua circula con mayor facilidad que en suelos ya mojados y sentados.

Para aclarar la razón de esta diferencia conviene recordar algunas consideraciones de carácter agrológico que se vinculan a estos fenómenos.

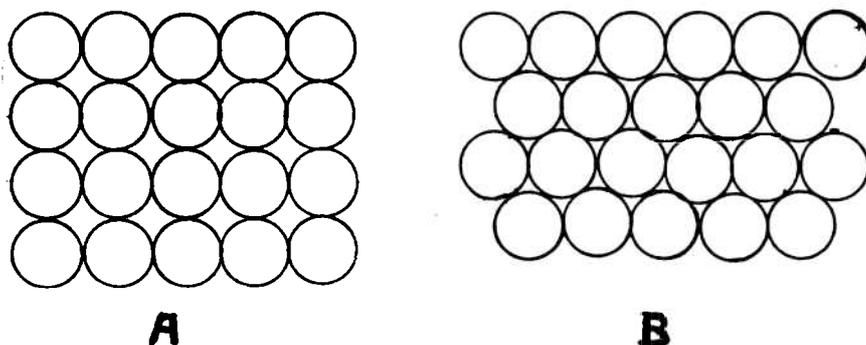


FIG. 8. — Dibujo esquemático de la disposición teórica de las partículas que constituyen un suelo uniforme: A, suelo removido; B, suelo sentado por el agua.

El suelo, como es sabido, se halla formado por partículas que dejan entre sí huecos que constituyen verdaderos canaliculos, más o menos capilares. El volumen de los huecos y por consiguiente el espacio ocupado por los canaliculos se ha calculado considerando las partículas como esferas.

En suelos no comprimidos, que corresponden a la estructura A (véase figura) la superficie de los huecos es igual a 0.22 del total; en suelos sentados por el agua y comprimidos (véase en B), ese hueco corresponde a 0.11 o sea la mitad. Es a lo largo de estos canaliculos que se verifican todos los fenómenos de descensos y ascensos del agua en el suelo.

Ha sido comprobado por Poisenille que la velocidad de filtración en tubos capilares aumenta en proporción al cuadrado de los radios a igualdad de condiciones de temperatura y de carga. Por más que esa ley haya sido deducida por medio de ensayos de laboratorio y de verdaderos tubos capilares, consideramos que, aplicada a nuestros materiales de estudio, debería ofrecernos datos práctica-

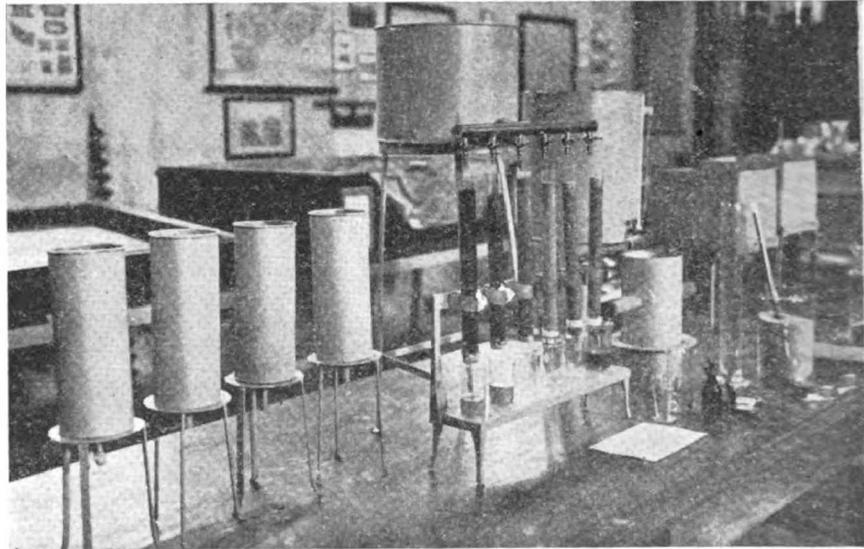


FIG. 4. — Laboratorio de Hidrología Agrícola. Vista de una parte de los aparatos utilizados para los estudios hidrologicos sobre suelos.

mente útiles, permitiéndonos establecer una *escala de permeabilidad* de acuerdo a las dimensiones de los elementos constitutivos del suelo.

Hemos realizado ensayos que nos permitieran juzgar de ese modo la permeabilidad de las tierras con mezcla de arcilla pura y arena sílicea en varias proporciones, pero los resultados conseguidos no han sido todo lo prácticos que podrían desearse.

Por este motivo pensamos proseguir estos estudios hasta conseguir resultados más positivos y llegar a un método que permita establecer numéricamente el grado de permeabilidad de un suelo. Será fácil entonces conocer de inmediato, el verdadero régimen de ese suelo con el agua, y será posible también sacar deducciones prácticas de gran utilidad para el agricultor (1).

(1) Hemos construído con tal motivo un aparato análogo al que propuso Müntz para

Por el momento nuestros ensayos nos han permitido establecer tan sólo conclusiones de carácter general que no dejan de tener, sin embargo, algún interés, como puede desprenderse de los datos que se consignan en el cuadro adjunto.

*Resumen de los ensayos sobre velocidad de filtración del agua en los suelos y cantidad de agua filtrada*

Muestras	Velocidad de filtración en mm p''		Relacion entre las dos	Asentamient. de la tierra mm	Cantid. agua filtrada p Ha y p'' litros
	suelo seco	suelo mojado			
1	43	20	2:1	2	80.000
2	25	10	2.5:1	5	33.000
3	3.3	1.4	2:1	6	3.700
4	1.2	0.7	1 1/2 : 1	8	1.300
5	0.28	0.15	2:1	20	190
6	0.18	0.05	3:1	16	56
7	0.025	0.008	3:1	20	26
8	0.035	0.01	3.5:1	30	14
9	0.083	0.02	4:1	25	3
10	0.026	0.007	4:1	35	14
11	0.007	0.002	4:1	45	1.5
12	0.06	0.15	4:1	35	7
13	0.12	0.06	2:1	25	20

De acuerdo a lo dicho anteriormente, sin pretender dar a estos ensayos una importancia absoluta y a la espera de datos deducidos por una nueva y más amplia experimentación que pensamos realizar, vamos a sentar las siguientes conclusiones:

1º En suelo seco el agua circula con más rapidez que en suelo mojado y por lo tanto asentado.

Existe una relación entre la velocidad de filtración del agua en los dos casos: la relación más alta corresponde a los suelos más ricos en arcilla y materiales finos, la más baja a los suelos más arenosos o más ricos en materia orgánica.

la determinación directa sobre el terreno de su grado de permeabilidad: nos proponemos experimentar ampliamente ese aparato en distintas regiones de riego del país para establecer la utilidad práctica de su empleo.

2º La velocidad de filtración del agua en el suelo se halla íntimamente relacionada con su contenido en arcilla y arena fina, pero el efecto de la arcilla depende de la parte de ella que se encuentra en estado coloidal, y no de la cantidad total acusada por el análisis mecánico.

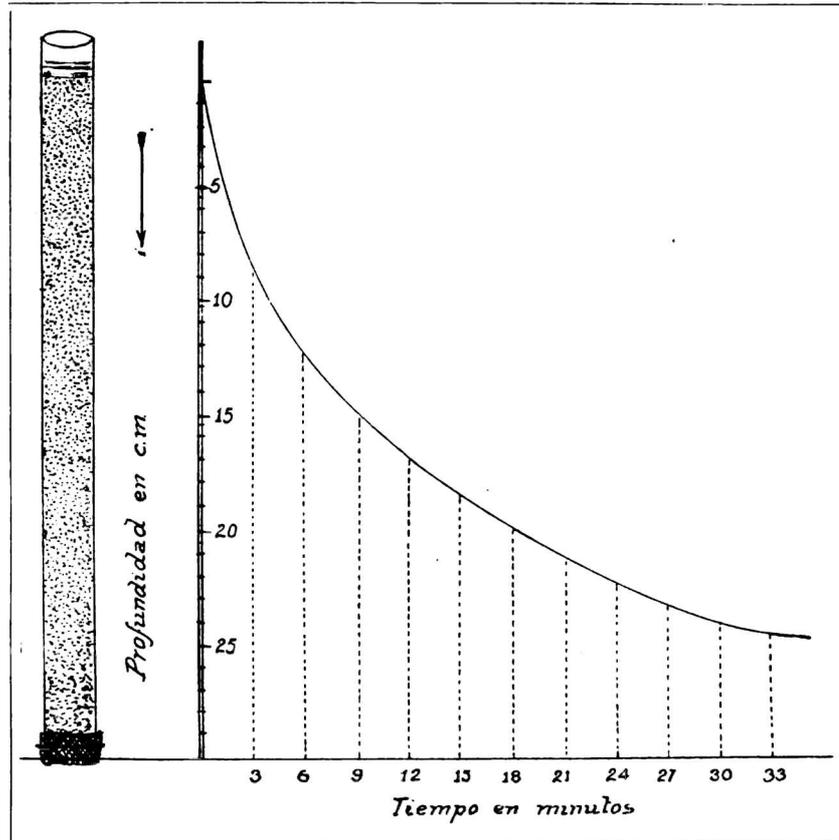


FIG. 5. — Diagrama de la velocidad de filtración del agua en el suelo correspondiente a la muestra nº 6. Es fácil comprender que dicha velocidad no es uniforme, ella responde a una curva parabólica. La velocidad es mayor en las capas superficiales reduciéndose en las otras por efecto del asentamiento del suelo. La velocidad que apuntamos en el cuadro de resumen de las experiencias corresponde a la velocidad media en una capa de suelo de 30 centímetros.

3º En igualdad de otras condiciones y de composición mecánica, el contenido en materia orgánica tiene una influencia muy marcada y preponderante sobre el poder de filtración de un suelo.

4º El suelo que recibe agua se comprime reduciendo su volumen.

El asentamiento del suelo depende de la naturaleza de las partículas que lo constituyen y de la proporción entre las mismas; los suelos que tienen porcentajes poco distintos de arena gruesa y arena fina, son los que más se asientan, siguiéndole los suelos ricos de arcilla y de materia orgánica.

5º La velocidad de filtración del agua en el suelo, no se manifiesta uniforme en las distintas capas; a medida que el agua va alcanzando las capas inferiores, la velocidad disminuye, y es claro que así sea porque las capas superficiales sentadas reducen la penetración y por lo tanto el aporte de nueva agua.

El diagrama construido con los datos de la filtración correspondiente a la muestra de tierra N° 6, demuestra que la línea de penetración se aproxima a la de una curva parabólica.

#### VELOCIDAD DE ASCENSIÓN CAPILAR DEL AGUA

Hemos querido experimentar también este fenómeno de la ascensión capilar sobre las mismas muestras de materiales recolectados y consideramos haber reunido datos bastante interesantes que nos permiten sacar algunas conclusiones prácticas que se detallan a continuación.

Son clásicas a este respecto las experiencias realizadas por Haberlandt, y al repetirlas, ampliándolas, sobre nuestras tierras, hemos pensando en la gran utilidad que estos datos pueden ofrecer al perfeccionamiento de los sistemas de riego y al mejor aprovechamiento de las aguas.

Con los datos conseguidos en nuestros ensayos se ha construido el gráfico que se reproduce en la fig. 6 cuyo epígrafe lo comenta ampliamente.

Las conclusiones que sugieren esta serie de ensayos, son las siguientes:

1º En la ascensión capilar del agua tiene mucha influencia la naturaleza y tamaño de las partículas que constituyen el suelo; en un mismo suelo puede variar el grado de esta propiedad según el estado de comprensión en que se hallan las partículas que lo constituyen.

2º La velocidad de la ascensión capilar disminuye a medida que el agua se aleja de su origen, por eso la curva se va aproximando a la horizontal de tal suerte que consideramos posible determinar gráficamente la altura máxima a que termina el fenómeno y se consigue el equilibrio.

3º La ascensión termina cuando la columna capilar se equilibra con

el poder de atracción de las partículas, equivaliéndose en ese momento dicha fuerza, a la fuerza de la gravedad.

Prácticamente el equilibrio es roto a cada momento, pues intervienen otros factores, como ser la evaporación superficial del suelo y la absorción radicular de las plantas, todo lo cual permite la continuación del fenómeno ascensional del agua que tanto beneficio aporta a los cultivos, como lo comprueban los modernos sistemas del dry-farming.

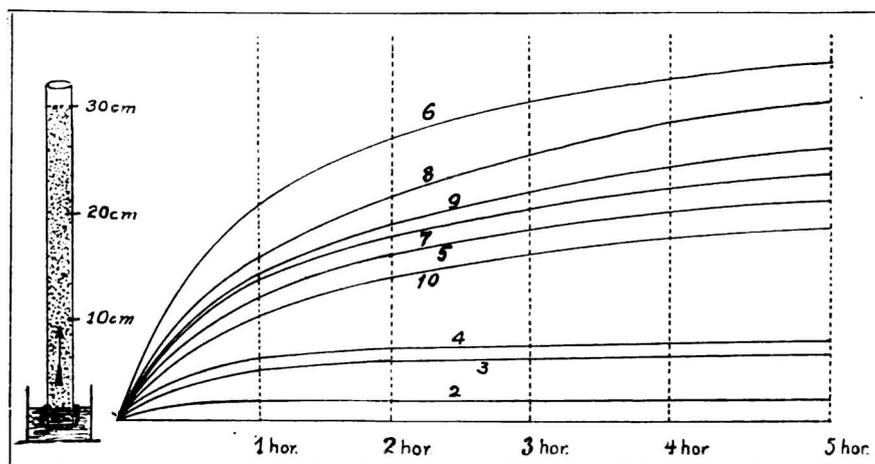


FIG. 6. — Este diagrama reproduce las curvas de la ascensión capilar del agua en las distintas muestras de suelos sometidas a ensayo. Las curvas que adquieren la horizontalidad indican la cesación del fenómeno (muestras 2, 3 y 4), todas las otras siguen su marcha ascendente con progresión más o menos uniformemente retardada. La velocidad de ascensión capilar es mayor en las primeras horas y se va reduciendo hasta anularse a una altura distinta en cada clase de suelo.

4º De acuerdo al poder de ascensión capilar podrían distinguirse cuatro tipos de suelos:

- a) con capacidad prácticamente nula, si la ascensión alcanza en 5 horas menos de 10 cm.
- b) con capacidad reducida si alcanza de 10 a 20 cm.
- c) con capacidad mediana si alcanza de 20 a 30 cm.
- d) con mucha capacidad si pasa de 30 cm.

Las tierras que en 5 horas tienen una ascensión capilar que se aproxima y pasa de los 30 cm. deben considerarse como las mejores bajo el punto de vista hidrológico; dichas tierras son las que mejor resultado darán con el riego y con la aplicación de los sistemas de cultivo en secano.

Bajo este aspecto, las mejores entre las tierras que hemos sometido a estudios son: la 6 de Santa Rosa (Pampa), que tiene una textura verdaderamente ideal; la 7 procedente de la región de riego de los altos de Córdoba, la 9 de los terrenos de riego próximos a la ciu-

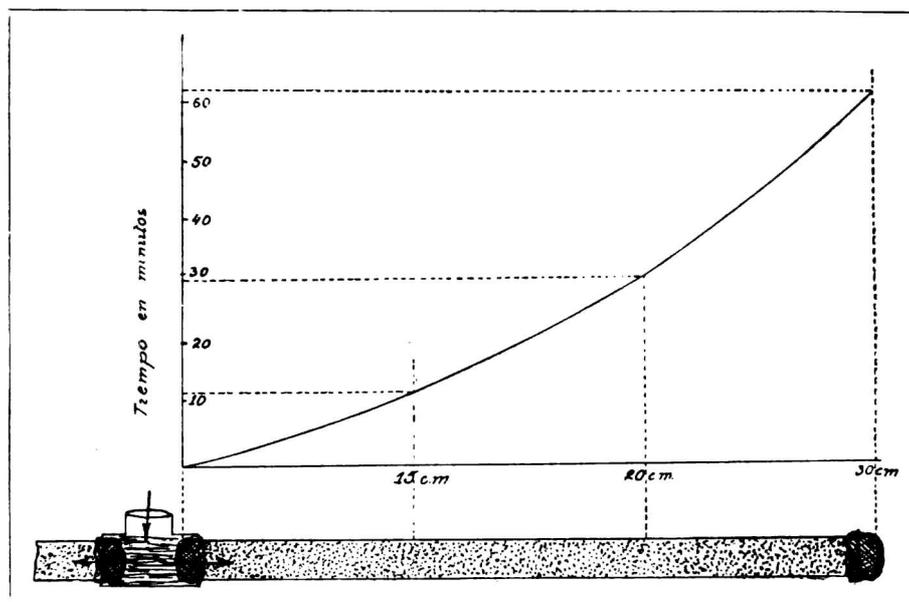


Fig. . — Diagrama de la filtración lateral en el suelo correspondiente a la muestra N° C. El agua penetra según indica la flecha la curva de la velocidad es más uniforme no interviniendo si no en proporción mínima la causa apuntada en el caso de la filtración vertical.

dad de Mendoza a la que sigue la N° 8, de un campo de los alrededores de la capital de La Rioja.

#### FILTRACIÓN LATERAL DEL AGUA EN EL SUELO

El agua filtra en el suelo verticalmente y lateralmente por efecto de dos fuerzas distintas: la gravedad y la adhesión o atracción de las partículas que lo constituyen.

La gravedad obra y predomina tan sólo en caso de que el suelo se halle formado por partículas muy gruesas y de tamaño uniforme; en tierras formadas por partículas de distintos diámetros, a medida que aumenta el porcentaje de arena fina y arcilla, la fuerza de gravedad es reemplazada por la fuerza de adhesión.

Ha sido nuestro propósito determinar la relación entre la veloci-

dad de filtración lateral y la vertical. Para realizar esta comprobación experimentalmente se ha construido un aparato especial representado en la figura 7.

El agua penetrando por el orificio indicado por la flecha, mantenida bajo una carga constante, se reparte en dos tubos laterales llenos de tierra. Apuntadas las distancias alcanzadas y el tiempo demorado, se han reunido datos que figuran en el cuadro adjunto. El diagrama que va a continuación reproduce la marcha del agua en el tubo correspondiente a la muestra 6, la misma tierra con la que se ha construido el diagrama de la velocidad de filtración vertical.

Como es fácil ver, la curva de este diagrama no es tan fuertemente parabólica como la anterior; la menor velocidad en las primeras capas de tierra es debida a que en este último caso de la filtración lateral no actúa sino en proporción mínima la fuerza de la gravedad.

*Resumen de las experiencias sobre velocidad de filtración lateral del agua en el suelo y su relación con la filtración vertical*

Núm de la muestra	Velocidad de filtración en mm por segundo		Relación aproximada
	Vertical	Lateral	
1	43 mm "	10 mm "	4 : 1
2	25	6	4 : 1
3	3.3	1.2	3 : 1
4	1.2	0.5	3 : 1
5	0.28	0.09	3 : 1
6	0.18	0.08	2 : 1
7	0.025	0.02	1 : 1
8	0.035	0.028	1 : 1
9	0.083	0.06	1.5 : 1
10	0.026	0.02	1 : 1
11	0.007	0.006	1 : 1
12	0.06	0.06	1 : 1
13	0.12	0.05	2 : 1

Del examen de estos datos se desprende:

1º que la velocidad de filtración vertical es tres y hasta cuatro veces más grande que la velocidad de filtración horizontal en los

materiales formados por partículas uniformes como son las muestras de uno a 5 y que dicha proporción baja a 2 o poco más en la 6 que tiene una proporción de un 73 % de arena gruesa;

2º que en los suelos agrícolas formados por mezclas de materiales de distintos diámetros la proporción baja a 1 : 1 siendo generalmente iguales las dos formas de penetración;

3º que en los suelos ricos de materia orgánica dicha proporción vuelve a subir a 1,5 y 2 como se verifica en las muestras 9 y 13 que son, en efecto, las más ricas en humus.

#### ENSAYOS DE COMPROBACIÓN

Con el objeto de establecer una comprobación que nos ofreciera una seguridad de la exactitud de los datos sobre velocidad de filtración consignados en las páginas que anteceden, hemos realizado otros ensayos por medio de aparatos contruidos expresamente y representados en las figuras 8 y 9.

En el aparato de la fig. 8 debe filtrar a través de una capa de un metro de suelo y en condiciones que consideramos muy próximas a las naturales.

Para los ensayos se usaron tres tipos de materiales distintos, correspondientes a los números 4, 5 y 13 de nuestra colección de muestras. (Véase página 259).

Para la determinación se ha mantenido una carga uniforme de 10 cm. de agua en la parte superior del aparato que debe considerarse como un surco de agua de riego que pasara a la cabecera de una parcela de un metro de ancho.

Los datos de velocidad de filtración lateral fueron los siguientes:

Muestra	El agua pasó a los	Velocidad correspondiente
4	26 minutos	0.6 mm p"
5	2 h 45 »	0.1 » »
13	3 h 50 »	0.065 » »

Los resultados obtenidos concuerdan en modo satisfactorio con los que se consiguieron mediante la filtración a través de tubos, lo que comprueba la bondad de ambos sistemas y nos autoriza asignar un positivo valor real y práctico a los resultados de estos ensayos.

Para comprobar la relación entre la filtración vertical y la filtración lateral, se ha construido otro aparato que se representa en la fig. 9.

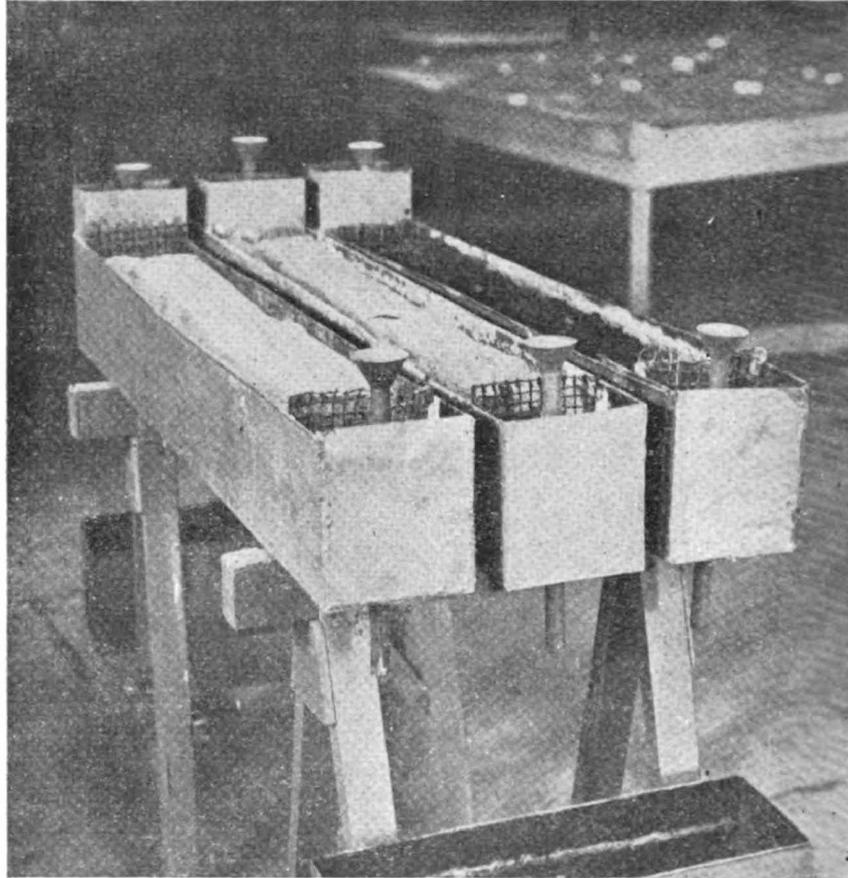


FIG. 8. — Aparatos de un metro de largo para la determinación de la velocidad de filtración lateral del agua en el suelo.

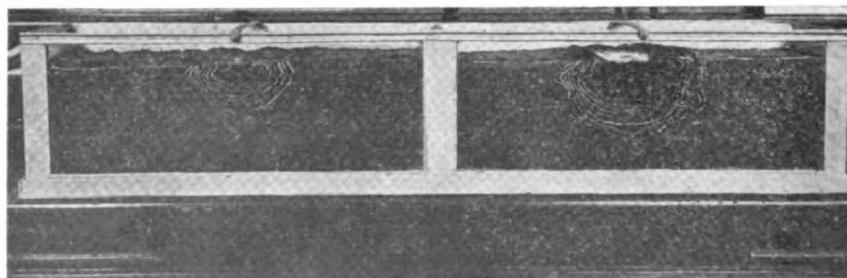


FIG. 9. — Aparato con vidrio sobre el frente que permite estudiar la penetración del agua en el suelo y establecer la relación entre la velocidad de filtración vertical y la velocidad de filtración lateral.

En dos clases de suelos correspondientes a las muestras 12 y 13 del cuadro general se obtuvieron las curvas de penetración que reproduce la figura 10.

También en este caso la comprobación ha resultado pues la relación entre la filtración vertical y la horizontal, concuerda con la que

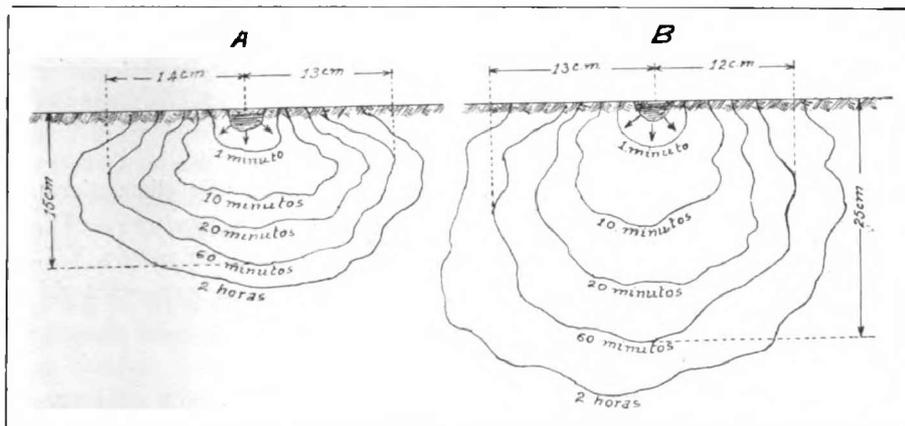


FIG. 10. — Estos diagramas representan las curvas de igual penetración del agua en las dos muestras de tierra ensayadas en el aparato representado en la figura 9. Las curvas A corresponden a la tierra 12, de textura relativamente compacta; la relación entre el ancho de la filtración y la profundidad se mantienen aproximadamente igual a uno. Las curvas B corresponden a la tierra 13, rica de materia orgánica, en ellas la relación entre el ancho y la profundidad de filtración sube a dos.

se dedujo mediante la serie de ensayos anteriores. Quedan con esto ratificadas las deducciones a que se ha llegado con referencia a estos importantes fenómenos hidrológicos de los suelos, cuyo alcance práctico, de suma importancia, nos proponemos demostrar en otros estudios que pensamos realizar sobre la materia.

La Plata, Laboratorio de Hidrología Agrícola, Setiembre 1927.