

# Análisis de Tierras

por el Ing. Agr. Manuel O. Bentancur.

Jefe de la Estación de Genética y Campo Experimental.

Ayudante Técnico de la Com. Nal. de Est. del Prob. Forrajero

La publicación de este trabajo no tiene otro fin que el de facilitar a los estudiantes de Agronomía de 2º año del curso de Agricultura, el examen de nuestro suelo relacionado con la técnica agrícola en general ya que no es posible explicar el trabajo de la tierra y su cuidado sin tener los conocimientos indispensables respecto a la composición de aquella.

No se pretende con estos sencillos y resumidos apuntes sustituir textos ni abordar estudios agrológicos completos que son del resorte de la cátedra de Edafología, sino

poner al alcance de los estudiantes, los análisis imprescindibles para la valoración del suelo generalmente dispersos en diversos libros o folletos.

Además de las técnicas correspondientes a cada análisis se complementan los mismos con un ligero comentario que facilitará la interpretación de aquellos.

Para cada análisis se ha expuesto un ejemplo calculado, con el fin de aclarar cualquier duda que hubiera sobre el particular

## SUMARIO

Toma y preparación de la muestra:

- 1.— Humedad.
  - a) Estufa
  - b) Método Bouyoucos.
- 2.— pH Actual
  - a) Comber
  - b) Merck
  - c) Hellige
- 3.— pH potencial.
- 4.— Poder Tampón.
- 5.— Determinación del factor cal.
- 6.— Determinación del pH por el potenciómetro.
- 7.— Humus.
  - a) Vía húmeda.

b) Walkley y Armstrong.

- 8.— Nitrógeno total.
- 9.— Calcáreo.
- 10.— Anhídrido fosfórico total.
- 11.— Fosfórico soluble.
- 12.— Potasio.
- 13.— Sodio.
- 14.— Bases intercambiables.
- 15.— Higroscopicidad.
- 16.— Capacidad mínima de retención de
- 17.— Movilidad de agua.
- 18.— Método Internacional de Análisis Mecánico.
- 19.— Coloides totales.
- 20.— Arena Gruesa.

### Toma y preparación de la muestra de tierra

La toma de muestra para remitir al Laboratorio tiene una importancia capital; tanto, que de la manera en que ha sido extraída, depende su significación.

Es sabido que un suelo no es una mezcla o combinación caprichosa de unos cuantos elementos, sino que estos están agrupados o combinados en forma tal por las fuerzas naturales que cada capa de suelo tiene variaciones no sólo en la cantidad de tal o cual sustancia, sino en la forma en que están combinadas.

Esa separación en "capas" es la que hay que tener muy especialmente en cuenta al extraer la muestra, ya que la mezcla de ellas redundaría en perjuicio de la interpretación del análisis.

Esas "capas" son llamadas en la ciencia edafológica "horizontes", considerándose tres horizontes principales, a saber: eluvial, iluvial y substrato. El primero, designado por la letra A, es el que ha perdido sustancias por el drenaje, siendo de color oscuro y se subdivide en  $A_1$ ,  $A_2$ , etc., según se vaya aclarando su coloración. El segundo se designa por la letra B y contiene productos de descomposición del horizonte superior subdividiéndose en  $B_1$ ,  $B_2$ , etc. El tercero, designado por la letra C, contiene los restos de la roca madre, o mismo ésta en principio de descomposición, clasificándose por  $C_1$ ,  $C_2$ , etc., según el grado de desintegración de la misma, siendo la  $C_0$  la más descompuesta.

En los suelos autóctonos tiene una importancia capital el análisis del horizonte C ya que en este caso el suelo es función directa del substrato, y generalmente a substratos iguales corresponden suelos semejantes. Indirectamente influye también en determinadas circunstancias en los suelos alóctonos.

Volviendo a la extracción de la muestra, tenemos ya una base para la misma: extraerlas de acuerdo a la disposición que acusen los horizontes en el perfil.

Para tal operación se procede de la siguiente manera: se hace una calicota de más o menos 100 centímetros de lado, en una profundidad desde luego variable por cada suelo, pero que llegue al horizonte C.

Se saca luego, mediante una pala de perfil bien afilada, cortes según la distribución de los horizontes, cuidando de eliminar primeramente toda la vegetación de la superficie, y de que las capas no se enteren por desmoronamientos.

Esas muestras de aproximadamente dos kilogramos cada una, se envolverán peritivamente en papel resistente y se rotulará interior y exteriormente con lápiz común, indicando localidad, estancia, potrero, profundidad, etc. No debe usarse tinta porque ésta se borrona con la humedad de la muestra. Generalmente para el estudio del perfil, se rotulan por S el horizonte A; SS el B; y SSS el C.

Otra manera de extraer muestras consiste en sacar sólo dos capas: de 0 a 0,25 o 0,30 centímetros (S) y de éstas hasta 0,50 o 0,60 (SS) tomando sólo en cuenta las capas exploradas por las raíces de los pastos y la mayor parte de los cultivos agrícolas.

Con esta forma de extracción de muestras se persigue solamente la finalidad de conocer la fertilidad relativa de la capa explorada por las raíces y susceptible de abonarse. Pero para realizar un estudio edafológico completo se impone adoptar el procedimiento de extracción por horizontes, ya que la fertilidad y durabilidad de un suelo no depende sólo de la capa arable (1) ni de la inmediata inferior el sub-suelo sino también de los otros horizontes que pueden proveerlo, según los casos, en elementos nutritivos, agua, etc. La poca fertilidad o mala constitución de dichos horizontes está íntimamente ligada a la escasa duración que a veces tienen los campos, una vez labrados.

Llegada la muestra al laboratorio se pone

(1) Capa arable o suelo es el espesor de tierra donde penetran los útiles de labranza comunes.

a secar al aire en bandejas, deshaciéndose los terrones a mano para activar su desecamiento. Una vez seca, se muele en mortero de madera para evitar romper las partículas de arena, lo que nos falsearía el análisis físico y se pasa después por un tamiz de 2 mm. Cuando la tierra tiene casquijos, es necesario pesarlos y referirlos al total de la muestra.

El suelo así preparado se lleva a frascos de boca ancha, se etiquetan con el número de orden y en un libro se anota al costado de ese número la procedencia, profundidad, características especiales, etc. Es conveniente colocar dentro de la muestra un duplicado de la etiqueta. Con un kilogramo y medio de suelo tamizado es suficiente para efectuar todos los análisis y dejar un sobrante para el archivo de muestras.

A veces se agrega a la rotulación las características prateses del lugar de donde se extrajo la muestra, como por ejemplo:

"suelo cubierto de leguminosas", "suelo de gramíneas sin leguminosas", "suelo de vegetación pobre, de pastura gruesa, espartillos", etc. Estos datos coadyuvan a la interpretación de los análisis.

### 1.— HUMEDAD.

Ya que los análisis deben ser referidos a 100 o 1000 gramos de suelo seco, es imprescindible determinar la humedad. Esta se dosifica fácilmente por los métodos siguientes: a la estufa, y por el método de Bouyoucos.

a) **Estufa.** — Se pesan previamente en una balanza de semi-precisión 10 gramos de suelo en un cristallizador tarado. Luego se repite la pesada en una balanza de precisión. El cristallizador más la tierra, se llevan a la estufa durante 4 horas a 105°-110°. Transcurridas éstas se pesa nuevamente en balanza de precisión, repitiéndose estas operaciones hasta peso constante de la muestra.

Ejemplo:	Tara cristallizador .....	43,2931	
	" " + tierra .....	53,2917	
	" " + " = hum. ....	53,0572	

$$\begin{array}{r}
 53,2917 \\
 - 43,2931 \\
 \hline
 9,9986 \text{ (peso de la muestra)} \\
 53,2917 \\
 - 53,0572 \\
 \hline
 0,2345 \text{ (humedad en 9,9986 de suelo)} \\
 9,9986 \dots\dots 0,2345 \\
 100 \dots\dots X \\
 100 \times 0,2345 \\
 X = \frac{9,9986}{100 - 2,345} = 2,345 \% \\
 100 - 2,345 = 97,655 \% \text{ (sustancia seca)}
 \end{array}$$

b) **Método Bouyoucos.** — Se basa en el cambio de densidad que experimenta el alcohol etílico a 96° al mezclarse con la hu-

medad de la tierra.

Requiere una serie de determinaciones, a saber:



**Ejemplo:**

$$\begin{aligned}
 &\text{Humedad del suelo} = 4,53 \% \\
 &\text{Humus} \dots\dots\dots = 6,16 \text{ " (Por mat. húmeda)} \\
 &100 - 4,53 = 95,47 \% \text{ (sust. seca)} \\
 &95,47 \dots\dots\dots 6,16 \\
 &100 \dots\dots\dots X \\
 &\qquad\qquad 100 \times 6,16 \\
 &X = \frac{\qquad\qquad\qquad}{95,47} = 6,452 \% \text{ (Humus por mat., seca)}
 \end{aligned}$$

**2. — pH ACTUAL.**

La importancia del grado de reacción se pone de manifiesto al comparar los rendimientos de diversas plantas considerando el

pH de las tierras. Ostwald y Arrhenius han llegado a establecer para algunas plantas, los siguientes pH óptimos:

	OSTWALD
Avena	Buen crecimiento entre 5 — 6
Cabada	Entre 7 — 8 pH
Papa	—————
Serradella	—————
Alfalfa	Max. + 7
Trébol rojo	+ 7
Arvejas	—————

	ARRHENIUS
	La mayoría de las variedades prefieren suelos ácidos
	7 — 8 pH
	Máx. rend. 5 pH
	Min. rend. 7 "
	Máximo 6 — 7 pH
	Máximo 8 — pH
	Máximo 6 — 6,5 pH
	Máximo 6 — 7 pH

Para la determinación del pH actual pueden utilizarse los 3 siguientes métodos colorimétricos:

a) Camber; b) Merck; c) Hellige.

a) **Camber.** — Este método utiliza dos soluciones: la primera se prepara disolviendo 20 gramos de sulfocianuro de potasio en 100 centímetros de agua destilada, agregando luego 400 cc. de acetona pura y la segunda tiene la misma composición pero adicionada de 0,2 gramos de cloruro de hierro. La primera solución es incolora y la segunda roja.

La ejecución del análisis es la siguiente:

en un tubo Camber, que es semejante a un tubo de ensayo común pero cuyo vidrio es neutro, teniendo además dos marcas en la parte inferior, de aproximadamente 1,5 cm. de altura cada una de abajo a arriba, se coloca tierra hasta la primera marca. Luego solución N° 1 hasta la segunda marca. Se tapa con un corcho perfectamente limpio y se agita enérgicamente durante unos segundos. Una vez depositada la parte sólida, que demora escasos minutos, se aprecia el cambio de coloración de acuerdo con la siguiente escala:

Color	pH	Reacción del suelo
Rojo oscuro	4—5	Muy ácida
Rojo	5	Ácida
Rojo claro a rosado	5—6	Débilmente ácida
Rojo claro a incoloro	6—6,5	Muy débilmente ácida
	6,5—7	Vestigios de acidez
Constantemente incoloro	7	Neutra
	+ 7	Alcalina

Si el suelo ha permanecido con la solución incolora, se le agrega 2 cc. de la solución 2. Si se decolora, será tanto más alcalina cuanto más rápida sea la decoloración, y si queda coloreada, revela reacción neutra o vestigios de acidez.

Este método es indicado para tierras áci-



El Fe (CNS)<sup>3</sup> (sulfocianuro férrico) es de color rojo intenso y según su cantidad comunicará distintas tonalidades rojas a la solución.

Si el suelo es alcalino el hierro deja de actuar como base y de ahí la decoloración de la solución 2.

b) **Método Merck.** — En un frasco bien limpio se llena 1/3 del volumen con suelo y se lleva con agua destilada a los 2/3 restantes. El agregado de agua (o de solución de KCl en el pH potencial) no se mide exactamente porque los ácidos del suelo son muy débiles, y en estos, la acidez es proporcional a la raíz cuadrada de la concentración de iones hidrógeno, pero como no se expresa sino por el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógenos se requerirá una dilución de 100 veces su volumen para cambiar el pH en una unidad.

Lo expresado se demuestra con el siguiente razonamiento:

Según la ley de las masas, el producto de las partes disociadas, sobre la no disociada, es igual a una constante (K), y se expresa:

$$(S) \times (H) \\ (SH) = K$$

Pero el valor (H) tiene que ser cuantitativamente igual por definición a (S), por lo tanto,

$$(S) \times (H) = (H) \times (H) = (H)^2$$

Hay que considerar que la constante (K) es, para ácidos débiles, muy pequeña y que la concentración del ácido no disociado es prácticamente total. Si designamos por (A) a la concentración del ácido total, tendremos la igualdad:

das, pero cuando se trata de tierras alcalinas es difícil medir el valor de esa alcalinidad.

La aparición de la coloración se debe a la presencia del ión férrico (trivalente) en tierras ácidas, que es desalojado de sus combinaciones por el K del K (CNS) de acuerdo a esta reacción:

$A \times K = (SH) \times K = (H)^2$ . Luego, tendremos que  $(H) = \sqrt{K \times A}$ , que es lo que se quería demostrar.

Se tapa y agita durante 5 minutos, dejando decantar 15. Se filtra el líquido que sobrenada, debiendo pasar completamente claro. Si tal no sucediera, se echa nuevamente el filtrado al mismo filtro, tantas veces como sea necesario para obtener un filtrado claro. En los suelos ácidos, y en los que tienen sales sódicas es muy difícil obtener filtrados claros. Se soluciona este inconveniente centrifugando unos minutos el líquido. Si el suelo es sódico la centrifugación no tiene generalmente efecto, ya que la coloración se debe a humus solubilizado por la acción de las sales.

El líquido filtrado se vierte en una probeta rectangular que acompaña al comparador Hellige, se agregan tres gotas de indicador Universal Merck, se pasa dos o tres veces de una probeta a otra para mezclar los líquidos, se coloca en el comparador, poniendo a la izquierda una probeta semejante conteniendo el resto del filtrado o agua destilada si el líquido es límpido; pero sin indicador.

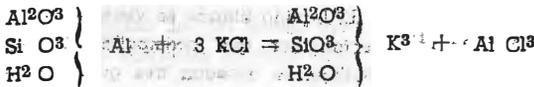
El comparador tiene un disco, en el que están marcados los pH de 0,5 en 0,5 desde 4,5 a 9. Se hace girar el disco hasta la coincidencia del color del disco con la solución con indicador. En una ranura que tiene el comparador arriba a la derecha, se lee el pH directamente.

c) **Método Hellige.** — Con el método anteriormente descrito, se obtiene una aproximación de 0,5 pero a veces es necesario determinar con más exactitud la cifra. En tal

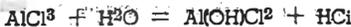
caso, luego de determinar aproximadamente el pH por el indicador Merck Universal, se saca el disco del comparador y se coloca otro que tenga el pH aproximado obtenida por el indicador Universal, dentro del promedio de variación total del disco (es necesario disponer entonces de una serie de discos especiales). El disco colocado en el comparador tiene inscripto el indicador especial a usarse (cada disco necesita un indicador especial) el que se echará a razón de 0,25 centímetros cúbicos por determinación (desde luego, hay que utilizar para este análisis una nueva porción de filtrado). Después de mezclados los líquidos se llevan al comparador y se determina el pH directamente en la misma forma que en el caso anterior, pero en vez de leer el número arriba a la derecha, se lee debajo a la derecha.

### — pH POTENCIAL

El pH actual permite la determinación de la acidez libre, sin que se produzca ninguna reacción de cambio, pero es necesario saber



El  $\text{AlCl}_3$  en presencia del agua se descompone:



La formación de pequeñas cantidades de ácido clorhídrico se revela en el análisis por aumento de acidez.

Se deduce que el pH potencial será de igual magnitud que el actual cuando los suelos están saturados de bases, y tanto más ácido que el actual cuanto más hambre de bases tenga.

El filtrado de este análisis sale completamente claro y se filtra con bastante velocidad.

### 4. — PODER TAMPON (Buffer)

Este análisis, que permite medir la resis-

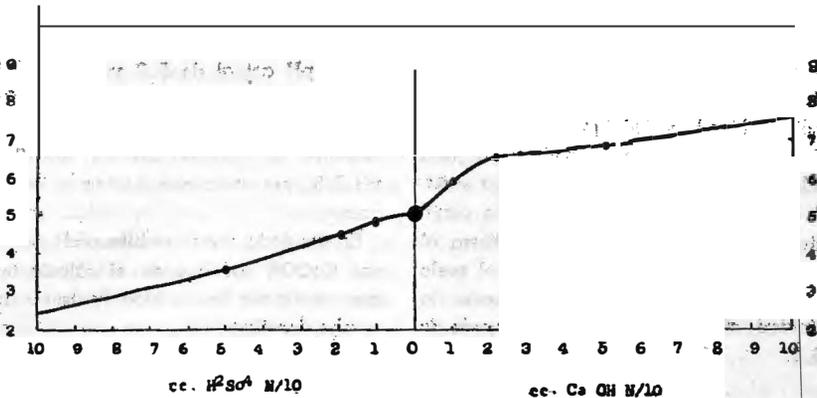
ta si el suelo está saturado de bases, o si por el contrario tiene hambre de las mismas. El procedimiento seguido se puede dividir en dos: Método Merck y método Hellige. El segundo es función del primero ya que no es posible hacer el segundo sin el primero, siendo en realidad el Hellige un método para dar más exactitud al Merck.

El método es el siguiente: en el mismo frasco utilizado para el pH actual, se echa 1/3 de tierra y se completa con 2/3 de una solución normal de KCl (74,559 por litro). Se agita durante 3 minutos, decanta 15 y se filtra, determinándose como para el pH actual, con indicador Universal. Obtenida la aproximación se emplea el disco correspondiente con su indicador especial, exactamente como se explicó para el caso anterior.

El método se basa en que suelos que han perdido bases, van tomando correlativamente iones H o elementos de reacción anótega que ocupan su sitio en la micela coloidal. Al agregar a un suelo la solución de KCl, se puede producir la siguiente reacción:

tencia que opone un suelo al cambio de reacción se efectúa por un método sencillo y práctico:

Tiene importancia esta determinación porque cuando se encala un suelo, éste puede oponer una resistencia acentuada al cambio de reacción y parecer por consiguiente que el encalado no ha tenido la acción esperada por lo menos en lo que concierne a una modificación del pH. Para la determinación práctica se toman 9 tubos de ensayo grandes perfectamente enjuagados con agua destilada y se coloca en cada tubo, además de 20 grs. de tierra las siguientes sustancias:



Dib. 1. — Gráfica obtenida con los valores pH, según se explica en el texto.

	cc. H <sup>2</sup> SO <sup>4</sup> N/10	cc. H <sup>2</sup> O
1er. título .....	—	50
2º " .....	1	49
3er. " .....	2	48
4º " .....	5	45
5º " .....	10	40
c. c. sol. alcalina N/10		
6º " .....	1	49
7º " .....	2	48
8º " .....	5	45
9º " .....	10	40

dad en exceso de CaO agitando durante un tiempo. Se deja decantar y se filtra luego el líquido que sobrenada. Esta solución es necesario valorarla cada vez que se usa, utilizando H<sup>2</sup> SO<sup>4</sup> N/10 y empleando fenoltaleína como indicador. Valorada la solución se halla el título de la siguiente manera: suponamos que para 20 cc. de ácido sulfúrico hayamos gastado 43 cc. de Ca (OH)<sup>2</sup> el factor será:

$$43 \times f = 20$$

$$f = \frac{20}{43} = 0,46$$

$$\text{Factor} = 0,46$$

Como solución alcalina se emplea el Ca (OH)<sup>2</sup> del que no es posible obtener soluciones N/10 por ser poco soluble. Pero sí es posible conseguir soluciones aproximadamente N/20 para lo cual se echa a un volumen cualquiera de agua destilada, una canti-

Así que la serie de tubos con solución alcalina llevará en este caso particular las siguientes cantidades:

	cc. Ca (OH) <sup>2</sup>	cc. H <sup>2</sup> O dest.
6º tubo .....	$\frac{1}{0.46} = 2.17$	$50 - 2.17 = 47.83$
7º " .....	$\frac{2}{0.46} = 4.34$	$50 - 4.34 = 45.66$
8º " .....	$\frac{5}{0.46} = 10.8$	$50 - 10.8 = 39.20$
9º " .....	$\frac{10}{0.46} = 21.7$	$50 - 21.7 = 28.30$

Una vez completados los tubos se cierran con tapón de goma y se agitan 1 hora en un agitador. Se dejan decantar 12 horas y se filtran. En el filtrado se investiga el pH por el método Merck y Hellige y se construye con los datos del pH correspondiente a cada cantidad de ácido o álcali, una gráfica semejante al dibujo, lo que permite ver la curva de titulación y la resistencia de la tierra al cambio de reacción. En esta gráfica, el suelo tiene un marcado poder tampón hacia la alcalinidad, ofreciendo resistencia después de pH 6.5.



$$40 (16 + 1)^2$$

N/10 contiene 74/2 = 37 gramos en un litro

Ca(OH)<sup>2</sup> N/10 contiene 3.7

1 cc. Ca(OH)<sup>2</sup> N/10 contiene 3.7 / 1000 = 0,0037 gr.

10 cc. Ca(OH)<sup>2</sup> N/10 contienen 0,0037 × 10 = 0,037

Una hectárea de tierra, calculando 0,20 mts. de profundidad y 1,5 de peso específico, pesa 3.000.000 de kilos o sea 3.000.000.000

## 5. — DETERMINACION DEL FACTOR CAL

Supongamos que la tierra analizada tuviera un pH actual de 5.0 y que quisiéramos sembrar alfalfa, planta calcícola, constatando que ante el agregado de 10 cc. de solución alcalina la reacción se ha modificado a pH 7.5, que es la que queremos tener en el campo.

El encañado para modificar pH se efectúa con CaCO<sup>3</sup>, así que en el cálculo tenemos que determinar la cantidad de éste a agregar a una hectárea.

de gramos y como en el análisis se emplearon 20 granos, tenemos:

$$\frac{3.000.000.000}{20} = 150.000.000$$

20

150.000.000 × 0,037 = 5550 k. de Ca. (OH)<sup>2</sup> por hectárea

Peso equivalente del CaCO<sup>3</sup> = 100/2 = 50

37 Ca(OH)<sup>2</sup> : 5550 Ca(OH)<sup>2</sup> :: 50 CaCO<sup>3</sup> : X

5550 × 50

$\frac{5550 \times 50}{37} = 7.500$  kilogramos de CaCO<sup>2</sup> por hectárea.

37

Si el pH requerido no se logra frente a una cantidad exacta de sol. alcalina se puede hacer una serie de tubos comprendida entre dos cantidades, para determinar exactamente en que cifra varía. Por el si la variación estuviera entre 5 y 10, se puede hacer una nueva serie con agregados de 6, 7, 8 y 9 cc. de dicha solución para determinar el punto de la curva necesario a nuestro ensayo.

## 6. — DETERMINACION DEL pH POR MEDIO DEL POTENCIÓMETRO

Como corolario de las técnicas explicadas

anteriormente, es necesario decir dos palabras sobre el método para la determinación del pH basado en el pasaje de una corriente eléctrica por soluciones de suelo, corrientes perfectamente medibles por aparatos llamados potenciómetros. Este método puede medir hasta con pequeñas fracciones los pH, existiendo para ello distintas marcas pero pudiendo agruparse bajo dos tipos: con electrodo de quinhidrona y electrodo de vidrio. Como cada aparato viene con instrucciones expresas según la fábrica, es imposible abar-

car en estos apuntes una explicación completa remitiéndonos a las instrucciones particulares de cada aparato.

### 7. — HUMUS

El humus puede ser analizado, entre otros, por los dos métodos siguientes: a) por vía húmeda y b) el procedimiento establecido por A. Walkley y Armstrong Black.

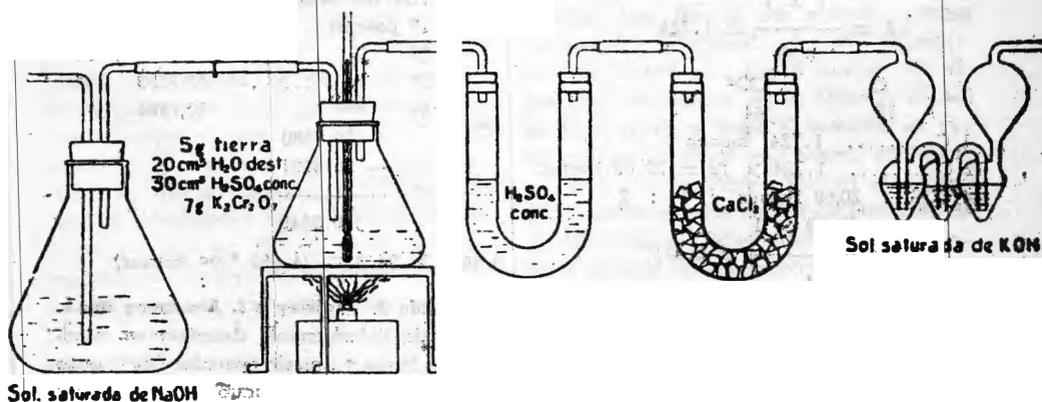
a) **Vía húmeda.** — Para el análisis por este método se necesita un aparato construido de acuerdo al dibujo N° 2. La técnica es la siguiente: en un matraz Erlenmeyer de 150—200 cc. se introducen 5 gramos de suelo. Se agregan 20 cc. de agua destilada y 30 de ácido sulfúrico concentrado. Una vez frío se desaloja el  $\text{CO}_2$  que puede haber en la atmósfera del matraz debiendo a la eliminación de los carbonatos del suelo, mediante aspiraciones repetidas ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ). Se agregan luego 7 u 8 gramos de bicromato de potasio y se conecta el matraz en el aparato, tratando que todas las juntas de goma y vidrio estén perfectamente parafinadas.

Cerrada la llave que comunica con el matraz Erlenmeyer que contiene la solución de soda, se empieza a calentar lentamente hasta que la temperatura llegue a  $90^\circ\text{--}95^\circ$  en

por lo menos 20 minutos.

Al calentar el matraz, se desprende oxígeno por la acción del ácido sulfúrico sobre el bicromato de potasio, oxígeno en estado nascente que ataca la materia orgánica formando  $\text{CO}_2$  que se desprende y empieza a circular por los tubos, pasando primero por el correspondiente al ácido sulfúrico concentrado, que le extrae la humedad, luego pasa por otro tubo con cloruro de calcio, por precaución ya que si el ácido sulfúrico estuviera saturado, pasaría vapor de agua que será retenido por el  $\text{CaCl}_2$ . Ese  $\text{CO}_2$  llega por último a un tubo de forma especial, llamado Geissler, que tiene en solución  $\text{KOH}$  (6 gramos de potasio en 30 cc. de agua) que fija el  $\text{CO}_2$  formando carbonato de potasio.

Alcanzados los  $95^\circ\text{C}$ . se retira el fuego, y se deja enfriar hasta que se restablezca el equilibrio dentro de los tubos, es decir, que el ácido sulfúrico tenga presiones semejantes en ambos lados, haciéndose pasar entonces una corriente de aire. Para esta operación se abre la llave de paso entre el matrazito y la sol. de soda. Luego, por medio de una bomba de goma se aspira desde el extremo libre del Geissler repetidas veces con el objeto de arrastrar todo el  $\text{CO}_2$



Dib. 2. — Aparato usado para la determinación del humus por vía húmeda.

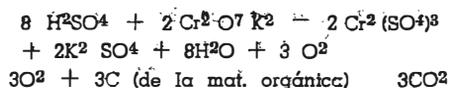


dez y no es difícil que un operador en 8 horas de trabajo pueda hacer 50 determinaciones con sus cálculos correspondientes.

Para la determinación se pesa 1 gramo de suelo (½ gramo para los suelos ricos en humus, que se denuncian por su color oscuro) en una balanza de semiprecisión, y se coloca en un Erlenmeyer de 350 cc. de capacidad. Se agrega cuidadosamente, con pipeta de doble enrase, 10 cc. de una solución normal de bicromato de potasio (49.0366 gramos de bicromato de potasio purísimo para análisis pesados en balanza de precisión y llevados a 1000 cc. con agua destilada en balón aforado) y con una pipeta de seguridad 20 cc. de ácido sulfúrico concentrado purísimo. Este ácido se hace resbalar por las paredes del matraz para arrastrar cualquier resto de la solución de bicromato que hubiera quedado en las paredes. Se agita durante 1 minuto, imprimiendo un movimiento circular, cuidando de no dejar parte de suelo sobre las paredes sin que sea tocada por el líquido.

Luego se deja enfriar.

La reacción que se ha producido es la siguiente:



Una vez enfriado, se diluye el conjunto aproximadamente a 150 cc. con agua destilada (agregar en este caso 120 cc. de H<sub>2</sub>O destilada) y se deja enfriar nuevamente. Una vez frío se agregan 2 cc. de solución de difenilamina (0,5 gramos de difenilamina purísima en 100 cc. de ac. sulfúrico concentrado purísimo y adicionando 20 cc. de agua destilada; se deja enfriar y queda pronta la solución) y más o menos 5 gramos de fluoruro de sodio en polvo, cuya misión es hacer más cíclo el viraje del azul al verde sucio, titulándose luego con una solución 0,4/N de sulfato amónico ferroso (sal de Mohr).

Esta solución se prepara disolviendo en un matraz aforado de 1 litro, 160 gramos de sulfato de amónico ferroso [Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O] con aproximadamente 800 cc. de agua destilada y agregando 40 o 50 cc. de ácido sulfúrico concentrado purísimo para evitar el pasaje del ión ferroso al férrico. Se lleva todo a un litro con agua destilada.

Para cada tanda de análisis se determina el título de la sal de Mohr, ya que a pesar de ser bastante estable conviene controlarla por lo menos cada 2 días. Para hallarlo se procede a un análisis ciego, es decir, interviniendo todas las sustancias que se detallaron más arriba, menos la tierra. Se titula luego y si las soluciones se corresponden exactamente, se gastarán 25 cc. de solución 0,4/N de sal de Mohr para los 10 cc. de bicromato; de lo contrario será menester encontrar el título. Por ejemplo, supongamos que en vez de 25 hayamos gastado 24,7.

$$24,7 \times f = 25$$

$$25$$

$$f = \frac{25}{24,7} = 1,012$$

$$24,7$$

Al agregar la difenilamina, la solución del matraz Erlenmeyer queda azul y al titularse el punto final de la reacción lo da el pasaje del azul al verde. Por eso hacia el fin del análisis, hay que ir con cuidado, porque llegados ya a la tonalidad verde no sabemos en cuanto nos hemos pasado. El número de centímetros de la solución de sal de Mohr gastados hasta el momento en que se produce el viraje nos indica, dividiendo por 2,50 o multiplicando por 0,4 el número de cc. de la solución normal de bicromato de potasio vertidos y esta cantidad nos da los cc. de la solución de este reactivo gastados para la oxidación de la materia orgánica de la tierra analizada.

El contenido en carbono de la materia orgánica del suelo se calcula tomando por base que cada cc. de solución N/ de bicromato de potasio gastada en la oxidación; de

3 mlq. de carbono corresponde, según Walkley y Armstrong,  $1,32 \times 3 = 3,96$  o en números redondos 4 (1). Si multiplicamos el número de centímetros de la solución de bicromato N/ utilizado para la oxidación de la materia orgánica del suelo por los 4 de carbono y por 1,724 (cantidad de humus para 1 de carbono) y le referimos a 1000, tendremos el por mil de materia orgánica en el suelo, expresado en humus.

Ejemplo:

Título de la sal de Mohr = 1.016  
 cc. de sal de Mohr gastados con el suelo = 8.4  
 $8.4 \times 1.016 = 8.534$   
 $8.534 \times 0.4 = 3.413$   
 $10 - 3.413 = 6.587$   
 $(4 \times 1.724 = 6.896)$   
 $6.587 \times 6.896 = 45.42 \text{ } \%$

Si se comparan los análisis realizados por los dos métodos descriptos, los resultados se aproximan en las cercanías de 0 de humus, y se alejan al llegar a 100, pero en el promedio se puede decir que ambos métodos coinciden, ya que la variación es escasa. Para evitar esas diferencias se ha propuesto reemplazar el factor 1,32 utilizado por Walkley y Armstrong, por uno determinado para nuestras condiciones, que sería 1.128.

### 8. — NITROGENO TOTAL. — RELACION C/N.

La determinación del nitrógeno total de los suelos se investiga por el método Kjeldahl con la modificación hecha por Jodlbauer-Stutzer. Esta permite transformar todo el ázoe del suelo (orgánico, amoniacal y nítrico) en gas  $\text{NH}_3$  que se recoge en una solución normal o décimo normal de ácido sulfúrico.

Para el análisis se pesan 2 gramos de suelo que se envuelven en un papel libre de nitrógeno (papel de fumar o también de sedc) y se echan dentro de una pera Kjeldahl. El papel se usa para que en las paredes del cuello de la pera no queden restos de suelo. Se agregan luego dos gotas de mercurio y 25 cc. de la mezcla Jodlbauer-Stutzer que con-

tiene 20 gramos de fenol puro en 1000 cc. de ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico fenicado transforma los nitratos al grupo nitroso, el cual al reducirse estos pasan al grupo amidado, luego al estado de amoniaco y por último al de  $(\text{NH}_4)^2\text{SO}_4$ . Igualmente el nitrógeno orgánico y amoniacal se transforma también en  $(\text{NH}_4)^2\text{SO}_4$ .

La pera en estas condiciones se deja unos diez minutos, agitando de cuando en cuando, luego se lleva al fuego, tratándose que durante los primeros minutos sea leve el calor, para luego aumentarlo. Cuando la mezcla de la pera ha tomado un color claro, lo que indica que ya no hay más materia orgánica, se saca y deja enfriar.

Una vez fría se agregan 200 cc. de agua destilada y se deja enfriar nuevamente.

Mientras se enfría preparamos un baloncito con 25 cc. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  N/10 (4,9 grs. en 1000 cc.) y 5 gotas de metil orange como indicador (0,5 grs. en 1000 cc. de  $\text{H}_2\text{O}$ ), quedando por consiguiente esta solución de color rojizo. Se coloca este baloncito al fin del destilador, cuidando que el tubo de este quede sumergido en el líquido, para que el gas barbote en él. Este ácido recogerá el  $\text{NH}_3$  desprendido de la destilación.

En la pera agregamos ahora 4 o 5 granallas de zinc y una solución de soda concentrada (se puede usar soda en escamas, en la proporción del 75 % en agua) hasta neutralizar el ácido existente y que quede aún un exceso. Se lleva la pera, con cuidado de no mezclar los líquidos (la soda va a la parte inferior) al destilador y teniendo todo preparado se le agregan 40—60 cc. de solución de polisulfuro de potasio puro (40 gramos por litro) destinado a destruir las combinaciones de amonio y mercurio, siendo con-

(1) Los autores del método trabajaron sobre series de 20 suelos entre ingleses y extranjeros, recuperando alrededor del 76 % del carbono contenido en ellos. Por eso fué necesario utilizar un factor de corrección de 100 / 76 = 1,32 (1 cc. de solución N. de bicromato de potasio es igual a  $1,32 \times 3,0 = 4,0$  mgrs. de carbono).

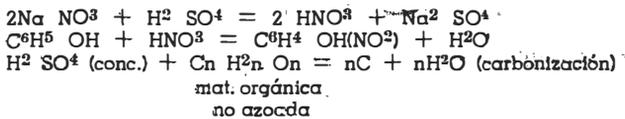
dición indispensable operar rápido y conectar enseguida la pera al destilador, ya que la reacción es instantánea y podría perderse parte de  $\text{NH}_3$ . Se calienta la pera y después de 30 minutos de ebullición se prueba en un pasaje del tubo donde pase vapor, con un papel tornasol rojo humedecido en agua, hasta que no haya más  $\text{NH}_3$  que lo coloree de azul. Si no da reacción se desconecta el tubo y apaga el fuego (si se apaga el mechero sin desconectar la pera, la succión que provoca el vacío de la pera al enfriarse puede arrastrar el ácido sulfúrico del baloncito),

procediéndose a retirar el baloncito luego de lavar con agua destilada el tubo de desprendimiento.

Puede suceder que el ácido destinado a recoger el  $\text{NH}_3$  sea insuficiente para la cantidad a desprenderse y entonces apenas se insinúa una variación de color del ácido sulfúrico con metil orange, será menester agregar una nueva cantidad.

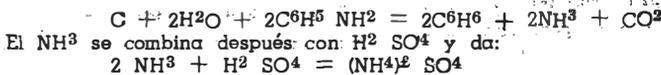
Las reacciones que se producen durante la digestión y destilación para liberar el  $\text{NH}_3$  son las siguientes:

1º — Acción del ácido férrico en la transformación del  $\text{HNO}_3$  en  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  en la pera de Kjeldahl:

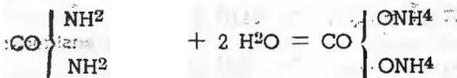


nitrofenol

Por una reacción de Cannizaro se produce oxígeno del agua quema el carbono. Por la reducción del nitrofenol, al tiempo que el otra reducción, tenemos:

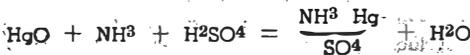
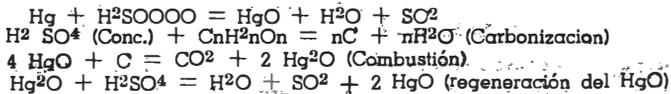
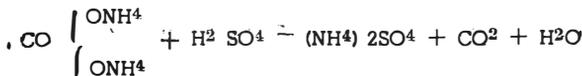


2º —

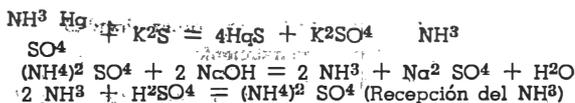


Urea

Carbonato amónico



combinación amónico-mercúrico



Destilación  
del  
NH<sub>3</sub>

El baloncito, luego de la destilación se titula con NaOH N/10 (4 gramos de NaOH purísima por 1000 cc. de agua destilada) obteniéndose de esa manera el exceso de ácido.

Restando los cc. de este último del total, obtendremos el H<sup>2</sup>SO<sup>4</sup> combinado al NH<sup>3</sup> desprendido. Para el cálculo sabemos que 1 cc.

de H<sup>2</sup>SO<sup>4</sup> N/10 corresponde a 0,0017 gramos de NH<sup>3</sup>, o lo que es lo mismo a 0,0014 de N. Multiplicando este número por los centímetros cúbicos de ácido que neutralizó el NH<sup>3</sup> obtendremos el ázoe contenido en dos gramos de suelo y multiplicando por 500 obtendremos el ‰.

Ejemplo:

$$\text{cc. H}^2\text{SO}^4 \text{ N/10 colocados} = 20 \text{ cc.}$$

$$\text{título H}^2\text{SO}^4 \text{ N/10} = 1,005$$

$$\text{ss. NaOH N/10 gastados} = 12 \text{ cc.}$$

$$\text{título NaOH N/10} = 1$$

Peso de la muestra de suelo: 2 gramos

$$20,10 - 12 = 8,10 \text{ (Acido combinado)}$$

$$8,10 \times 0,0014 = 0,01134 \text{ (N. en 2 gramos de suelo)}$$

$$0,01134 \times 500 = 5,67 \text{ ‰ (Nitrógeno total)}$$

$$20 \times 1,005 = 20,10 \text{ (Acido colocado)}$$

$$12 \times 1 = 12 \text{ (Acido libre)}$$

Habiendo una relación muy estrecha entre humus y nitrógeno, es siempre conveniente calcularla y se expresa como relación C/N, considerando al humus como poseyendo más o menos 58 % de carbono. En las tierras bien

equilibradas esa relación oscila alrededor de 10. Relaciones muy bajas o muy altas (más de 20) son indicadoras de deficiente o ninguna nitrificación.

$$\begin{aligned} \text{Humus} &= 64,07 \\ \text{Nitrógeno} &= 2,91 \end{aligned} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{‰ de sustancia seca}$$

$$\begin{aligned} 100 \text{ humus} &+ 58 \text{ carbono} \\ 64,07 &X \\ X &= \frac{64,07 \times 58}{100} = 37,16 \text{ (Carbono)} \end{aligned}$$

$$\text{C/N} = \frac{37,16}{2,91} = 12,76$$

### 9. - DETERMINACION DEL CALCAREO TOTAL

Veinte gramos de suelo se colocan en una cápsula (si el suelo es muy calcáreo conviene pesar 5 gramos), y luego de humedecidos con agua destilada se agrega HNO<sup>3</sup> purísimo

hasta que cese la efervescencia (muchos de nuestros suelos no dan efervescencia debido a la escasez de carbonatos) agregando después 20 cc. más. Se lleva al baño de arena a 65°—70° durante 5 horas, conservando el

volumen mediante agregados de agua destilada. Terminada la digestión se agregan 40—50 cc. de agua destilada caliente, se agita con una varilla, se deja decantar bien y luego se filtra (utilizando filtro para filtrado rápido) recojiéndose el filtrado en vasos de 1000 cc. Pasado el líquido se vuelve a agregar agua caliente a la cápsula, se deja decantar y se filtra, cuidando de que pase la menor cantidad posible de tierra al filtro. Esta operación se repetirá tantas veces como lo requiera el lavado del ácido que contiene la cápsula y cuando ha sido ya eliminado, se lava con una piseta el filtro hasta eliminación de la acidez. La generalidad de nuestros suelos no conviene pasarlos al filtro y luego lavarlos, porque la arcilla y el humus pasan a veces a través del papel de filtro, oscureciendo después los filtrados. El líquido filtrado, (licor) adquiere una coloración caramelo, tanto más fuerte cuanto más rica en humus es la tierra, debiéndose ese color a sales de hierro. En los subsuelos el licor es amarillento.

Una vez lograda la eliminación del ácido, se agrega al licor amoníaco de 24° Beaumé hasta cambio de reacción al tornasol, produciéndose un precipitado de sales de hierro y aluminio. Después se agrega ácido acético glacial hasta nuevo cambio de reacción al tornasol y total disolución del precipitado anterior. El líquido debe quedar completamente libre de precipitado.

Se agregan ahora 200 cc. de una solución caliente de oxalato de amonio saturada en frío (50 gramos en un litro). El licor sufre un cambio radical en el color, volviéndose amarillo por formación de oxalatos férricos solubles y oxalato de calcio insoluble que precipita.

El oxalato de amonio precipita el calcio como oxalato de calcio cuando el medio en que se efectúa la reacción es ácido orgánico. Como nosotros empleamos ácido nítrico tuvimos que alcalinizar el medio con amoníaco para luego llevarlo con ácido acético a me-

dio ácido orgánico.

Se deja decantar 12 horas y se filtra en filtro para precipitados finos, pasando primeramente el líquido que sobrenada y luego con las últimas porciones de líquido se pasa el precipitado, lavando el vaso con agua destilada caliente hasta que no haya reacción al licor de Nessler. El filtro se lava en la misma forma hasta reacción negativa al Nessler.

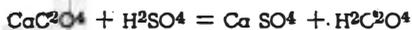
El licor de Nessler se prepara disolviendo 50 gramos de yoduro de potasio en 50 cc. de agua destilada caliente. Sobre la solución obtenida se vierte poco a poco solución concentrada de bicloruro de mercurio hasta que el precipitado rojo que se forma no se disuelva más. Se filtra y al filtrado se agregan 150 gramos de potasa cáustica, disueltos en 150 cc. de agua destilada; se diluye a un litro con agua destilada y se agregan otras 5 cc. de la solución saturada de bicloruro de mercurio, se agita bien y se deja reposar, utilizándose el líquido que sobrenada, que se mantendrá en frasco con tapón esmerilado y en la oscuridad.

Obtenida la reacción negativa al Nessler, se colocan los embudos con los filtros en matraces Erlenmeyer y se rompen los filtros con una varilla de vidrio terminada en punta, pasando el precipitado para abajo, primero agregándole agua destilada caliente y luego ácido sulfúrico al 10% caliente. Se coloca después el filtro bien extendido sobre un vidrio de reloj y se lava con  $H_2SO_4$  al 10% caliente por medio de una piseta.

Al líquido obtenido se agrega un exceso de ácido sulfúrico (10 o 15 cc.) purísimo, que termina por desalojar el calcio del oxalato formando sulfato de calcio y liberando ácido oxálico que se titula con una solución  $N/10$  de permanganato de potasio (3.162 gramos por litro). Al iniciarse la titulación, el color del permanganato desaparece por oxidación con el ácido oxálico, pero cuando éste desaparece, se tiñe la solución de rosado. Con-

do esta solución, luego de hervir un instante permanece sin perder la coloración, se da por terminado el análisis. El número de centímetros gastados, dividido por 4, siempre que se utilicen 20 gramos de tierra, nos da directamente el ‰ (Dividido por 4 no multiplicado por 0.25).

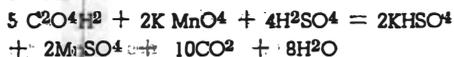
La reacción que se produce al agregar  $H_2SO_4$  es la siguiente:



Este  $H_2CO_3$  es el que se titula con permanganato de acuerdo a esta reacción:



o sea:



Al principio la decoloración se efectúa con lentitud, al parecer debido a que el permanganato actúa directamente sobre el ácido oxálico, pero luego, cuando el permanganato se ha transformado, en parte, en sulfato de manganeso, esta sal hace las veces de intermediaria entre ambos.

Si se observa una coloración morena, se debe a escasez de ácido sulfúrico, que se subsana con agregarle más, en frío.

Los centímetros gastados se dividen por 4 para expresar en ‰ por la siguiente razón:

$$1 \text{ cc. } K MnO_4 N/10 \text{ ——— } 0.005 CaCO_3 \\ (\text{peso equivalente } CaCO_3 = 100/2 = 50)$$

Si se trabaja sobre 20 gramos de tierra, en 1 gramo habrá:

$$0.005 \cdot 20 = 0.00025$$

Y para expresar directamente en ‰:

$$0.00025 \times 1.000 = 0.25$$

Multiplicando por 0.25 o dividiendo por 4, se obtendrá el ‰ directamente.

Ejemplo:

Peso de la muestra = 20 gramos

cc.  $K MnO_4 N/10 = 36.20$

Título del  $K MnO_4 N/10 = 1.02$

(El título se determina con ác. oxálico)

$$36.20 \times 1.02 = 36.92$$

$$36.92 \cdot 4 = 9.23 \text{ ‰ de } CaCO_3$$

$$36.92 \times 0.25 = 9.23 \text{ ‰ de } CaCO_3$$

## 10. — DETERMINACION DEL ANHIDRIDO FOSFORICO TOTAL

Veinte gramos de suelo, se colocan en un crisol de cuarzo y se llevan sobre un mechero, primero con poca llama para que la tierra no se proyecte y después con llama fuerte como para efectuar una buena calcinación, que se denuncia por pérdida de la coloración oscura de la tierra.

Luego se pasa ésta a una cápsula de porcelana, se humedece con agua destilada y se le agrega ácido nítrico purísimo gota a gota hasta cesar la efervescencia, agregándole después un exceso de 20 cc. Se agita con una varilla de vidrio y se lleva al baño de arena a 70° durante 5 horas, manteniendo el volumen con agua destilada.

Luego de transcurridas las 5 horas se le agrega a la cápsula 50 cc. de agua destilada caliente, se deja decantar y se filtra, recogiéndose el filtrado en vasos de bohemia de 600 cc. bajos. Se repite la operación, cuidando de no pasar la tierra al filtro, lavándose hasta desaparición del ácido en la cápsula y en el filtro.

Terminada la operación anterior se lleva el líquido al baño maría hasta evaporar a sequedad, insolubilizándose así la sílice.

Se agregan entonces 5 cc. de agua destilada y 5 cc. de  $HNO_3$  purísimo, llevándose de nuevo al baño unos instantes con el fin de poner en solución nuevamente el extracto que se llevó a sequedad. En este momento es conveniente poner en la estufa a secar durante 12 horas a 65°—70° C., filtros con su cristallizador correspondiente, para filtrar el fosfomolibdato. Se pesan y se guardan para el momento de usarse. Una vez solubilizado el extracto, se agregan 60—70 cc. de agua destilada caliente y se filtra rápidamente a vasos de bohemia de 400 cc. Los vasos que contenían el extracto se lava-



va determinación, en que el fósforo del suelo es extraído por soluciones semejantes en fuerza a las que utilizan las plantas. Tal el análisis que se describirá a continuación.

Como el método a describirse necesita una serie de soluciones, empezaremos por dar la técnica de las mismas.

1. — **Solución madre de lactato de calcio — ácido clorhídrico.** — Se disuelve 0.5 mol. de lactato de calcio puro (154.1 g.) ( $\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2\text{Ca} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en más o menos un litro de agua hirviendo y después se agrega 1 mol. de ácido clorhídrico, procediendo de la siguiente manera:

Supongamos un HCl de densidad = 1.175  
Según la tabla, una densidad de 1.175 representa una riqueza del 34.7 %

$$100 : 34.7 :: X : 36.5 \quad (36.5 = \text{HCl})$$

$$X = 105.2 \text{ gramos}$$

P

$$D = \frac{P}{V}$$

V

$$105.2$$

$$1.175 = \frac{P}{V}$$

V

$$V = 89.5 \text{ cc. que medimos con pipeta.}$$

Este ácido se agrega a más o menos 500 cc. de agua destilada y luego se echa esta solución sobre la primera, completando el volumen a dos litros en matraz aforado con agua destilada y agregando dos gotas de cloroformo para evitar la formación de mohos. Si esta solución se conserva en lugar oscuro, se mantendrá sin alteración por lo menos 8 semanas. La **solución de extracción** se obtiene tomando 60 cc. de la sol. madre y llevándolos a 1000 cc. con agua. La solución tendrá por consiguiente una concentración de 0.03 N de lactato de calcio y 0.03 N de HCl y cada día debe ser preparada.

2. — **Solución sulfúrica de molibdato.** — 50 gramos de molibdato de amonio cristalizado se disuelven en un matraz de 2 litros con 500 cc. de agua destilada y a una temperatura de aproximadamente 60° (sol. A). 500 cc. de ácido sulfúrico concentrado puri-

simo, se echan en 500 cc. de agua destilada (sol. B). Después del enfriamiento hasta la temperatura ambiente, se agrega la sol. B a la A, agitando ésta durante el proceso. Una vez fría se lleva a dos litros y se guarda en frasco caramelo. Dura por lo menos 1 año.

3. — **Solución de cloruro de estaño.** — Se disuelve 1 gramo de  $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  para análisis en 100 cc. de HCl al 5 % (tomando el mismo ácido que para la solución anterior, si 100 tienen 34.7 x tendrán 5;  $x = 14.4$  cc, y estos 14.4 cc. se llevan a 100 con agua destilada). La solución tiene que ser completamente clara, si no lo es, el cloruro de estaño no sirve. Esta solución debe ser preparada todos los días 1-2 horas antes de empezar las determinaciones colorimétricas.

4. — **Solución standard de fósforo.** — 1.917 gramos de fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) se disuelven en 1000 cc. de agua destilada. 100 cc. de esta solución se llevan con agua destilada a 1000 cc. agregando 0.25 cc. de cloroformo cuidando siempre que quede bien tapada (100 miligramos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en 1000 cc.). Esta solución se conserva por lo menos 2 meses y con ella se obtienen las soluciones de comparación que permiten establecer una escala para los distintos valores colorimétricos; 10 cc. de solución fosfórica (1 miligramo de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) se llevan con solución de extracción a 250 cc. Esta solución que contiene 0.01 miligramos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en 2.5 cc. se agrega en cantidades progresivas a la solución de extracción pura, de manera que el volumen total de extracción quede siempre en 25 cc.: 2.5 + 22.5; 5.0 + 20; 10.0 + 15 hasta 25.0 + 0.0.

Estos 25 cc. (la cantidad corresponde a la del filtrado del suelo analizado) representan por lo tanto a una escala:

Para 5 gr. de suelo	Para 100 gr. de suelo
2.5 .... 0.01 mg. $\text{P}_2\text{O}_5$	.... 0.2 mg. $\text{P}_2\text{O}_5$
5.0 .... 0.02 " "	.... 0.4 " "
10.0 .... 0.04 " "	.... 0.8 " "
25.0 .... 0.10 " "	.... 2.0 " "

**Técnica analítica.** — 5 gramos de suelo se

agitan en un agitador durante 2 horas con 100 cc. de solución de extracción a una temperatura de aproximadamente 23°—27°. Es conveniente emplear frascos de unos 200 cc. de capacidad. Luego del agitado se filtra en filtros extra-duros, tirando los primeros 10 o 20 cc. de filtrado, para que el resto quede de un claro cristalino.

De cada filtrado se toman exactamente 25 cc. se colocan en un tubo de ensayo (debe ser de paredes gruesas) y se agrega a cada tubo 1 cc. de la solución 2, tratando que los líquidos se entreveren, para lo cual colocándole un tapón de goma se agitan. Se colocan al baño maría a 25° y cuando las soluciones han alcanzado esta temperatura se efectúa la determinación colorimétrica. Para ésta se coloca en el mismo baño la solución 3 (cloruro de estaño) recién preparada y cuando ésta ha alcanzado la misma temperatura, se agrega a razón de 0,5 cc. a cada tubo. Se mezclan nuevamente los líquidos y unos minutos después se compara el matiz de color azul con las soluciones standard, a las que también se le ha agregado las 2-soluciones en las mismas proporciones ya descritas para los extractos de los suelos. Las soluciones standard se preparan en el momento.

La relación entre las partes de fosfórico solubilizadas y los rendimientos de las plantas fué establecida mediante numerosos ensayos de abonos. Los datos siguientes demuestran las conclusiones obtenidas:

**Suelo 0-20 cm. mlg. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 100 grs.**

Pobre .....	menos que	0.4
Débilmente aporvisionado ..	0.4 ———	0.8
Medianamente aporvisionado ..	0.8 ———	1.6
Bien aporvisionado .....	1.6 ———	3.2
Rico .....	más que	3.2

**Sub-suelo, mlg. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 100 grs.**

Pobre hasta mediano .....	menos que	0.4
Buano .....	0.4 ———	1.6
Rico .....	1.6 ———	4.4

**Ejemplo:**

Si efectuado el análisis, el tubo con el

extracto de suelo tiene una coloración igual a la correspondiente al tubo standard de 10 y 15, la tierra tendrá 0.8 miligramos por 100 gramos. Si no alcanzara a la coloración del tubo 2.5 + 22.5 acusa — 0.2 mlg.

**12. — DETERMINACIÓN DEL POTASIO**

Se pesan 25 gramos de tierra, se calcinan y se colocan en una cápsula de porcelana. Se humedecen con agua destilada y se dejan caer unas gotas de ácido nítrico hasta que no haga más reacción al calentarse y luego se agregan de un solo golpe 25 cc. de ácido nítrico. Se ponen las cápsulas en el baño de arena durante 5 horas y luego se filtra hasta reacción neutra. El filtrado se recoge o se pasa a un balón aforado de 500 cc. y se completa hasta el enrase del balón con agua destilada. Se mezcla bien el líquido, tomándose 100 cc. de éste con una pipeta de doble enrase que se vierte en un vaso de Bohemia de 400 cc. Después se agrega CaCl<sub>2</sub> al 10 % hasta que cese de formar precipitado (alcanzan 10 o 20 cc.). Luego se agrega amoniaco puro hasta reacción alcalina y después carbonato de amonio al 20 % hasta la formación de precipitado de carbonato de bario. Se deja decantar y se comprueba que todo el bario ha precipitado dejando caer una pequeña porción de solución de carbonato de amonio por las paredes del vaso y observando si no precipita. Se deja decantar y se filtra y lava con agua destilada caliente hasta reacción negativa a la difenilamina (0.2 de difenilamina + 100 cc. de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 20 H<sub>2</sub>O). El filtrado debe ser completamente claro, de no ser así se volverá a filtrar. Se evapora después al baño maría o de arena hasta sequedad completa, se seca a la estufa durante una hora a 100°—105° y después se calienta a la llama sucesivamente hasta que no se desprendan más vapores blancos (no pasar 140°). Se deja enfriar y se agregan 2 cc. de HCl, se filtra y se lava bien con agua caliente hasta reacción neutra. Se evapora en cápsula al baño maría o de arena. Luego se trata con 2 a 3 centímetros

de ácido perclórico, echándolo por las paredes de la cápsula y evaporar a sequedad, agregándose nuevamente otros 5 cc. de ácido perclórico y llevarlo a estado siruposo.

Se agrega alcohol de 96° al 0.2 % de ácido perclórico y se filtra, lavando vaso y filtro con ese alcohol. El filtro en el que se recoge el precipitado debe ser secado a 50° en estufa y tarado.

Lavado el filtro 4 o 5 veces con alcohol, se deja secar bien y se lleva a la estufa a 50° durante 5 horas.

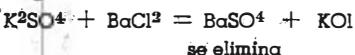
Ejemplo:      Peso de la muestra = 25 gramos.  
                   cc. tomados       = 100 cc. (corresponden  
                   a 5 grs. de suelo)

	42.8808
Tara filtro + pesa filtro =	42.8238 — 42.8238
Peso total .....	42.8808 —————
	0.0570

$0.0570 \times 0.339 = 0.0193$  (K<sup>2</sup>O en 5 grs.)

$0.0193 \times 200 = 3.86$  ‰ (K<sup>2</sup>O)

Las reacciones que se producen son las siguientes:



Con la evaporación a poco volumen y flameado, se elimina NH<sup>3</sup> y (NH<sup>4</sup>)<sup>2</sup>CO<sup>3</sup>



Precipi-  
tado blan-  
co

### 13 — DETERMINACION DEL SODIO: METODO DE KAHANE'S (Modificado).

Reactivos:

Solución de uranil acetato de magnesio:

Acetato de uranilo, cristalizado libre de sodio .....	32 grs.
Acetato de magnesio, cristalizado, libre de sodio .....	100 grs.
Acido acético glacial .....	20 c. c.
Alcohol absoluto .....	453 c. c.
(o 500 c. c. alcohol rectificado de 90%)	
Agua en cantidad suficiente para ..	1000 c. c.

Se pesa y se calcula el potasio de acuerdo al siguiente razonamiento:

2 K Cl O <sup>4</sup> —————	1 K <sup>2</sup> O
2 x 138,5 —————	94
277	
277	Dif. de pesadas
	—————
94	X

X = 0.339 x dif. d pesadas (K<sup>2</sup>O) en el filtro.

El número obtenido multiplicado por 200 nos da el ‰.

Se disuelve el acetato de uranilo y el acetato de magnesio en agua, calentando, luego se agrega el ácido acético y el alcohol, se deja enfriar y se lleva a 1000 c. c. con agua. Se deja en un sitio oscuro durante 1-2 días y entonces se filtra para eliminar el precipitado que se forma con el sodio proveniente de los reactivos empleados. Se guarda en un frasco de vidrio pyrex, para evitar la absorción del sodio proveniente del vidrio de recipientes ordinarios. El reactivo es sensible a la luz directa del sol, pero si se le guarda en la obscuridad, se conserva durante varios años. Para preparar la solución anterior, solamente se deben emplear reactivos libres de sodio, cuanto mayor sea el precipitado de sodio, más débil será la fuerza del reactivo y es posible que dé resultados más bajos.

**Alcohol saturado con uranil acetato de sodio y magnesio.** — Agítese alcohol a 96% con unos pocos gramos de precipitado de uranilacetato de sodio y magnesio, en una botella con tapón de vidrio, y déjese decantar durante 24 horas. Se filtra la parte límpida del líquido que sobrenada a través de un filtro

de papel Whatman N° 44 y se recoge en una segunda botella (trasco) con una cantidad suplementaria de la triple sal cristalizada. Esto proporciona un stock suplementario de alcohol saturado con la sal de sodio y después de filtrarla está siempre pronta para usarla como líquido de lavado. Siempre se agregan nuevas porciones de alcohol a la primer botella y se deja durante 24 horas o más, antes de trasvasarlo a la segunda botella. Cualquier impureza, presente como trazas en el alcohol reacciona con el uranilacetato de sodio y magnesio formando compuestos amorfos de color pardo, y el primer tratamiento elimina estas impurezas. El uranil acetato de sodio y magnesio de la segunda botella conserva su color brillante y su forma cristalina.

**Análisis del sodio.** — 25 gramos de tierra se humedecen con agua destilada, agregando luego HCl en exceso (150 c.c.).

Se hace hervir un momento a la llama y luego se lleva 1 hora al baño maría. Se filtra y se lava hasta reacción neutra, llevando después a volumen conocido en un matraz aforado de 500 c.c. (Solución madre). Verter en un matraz aforado de 200 cc., 300 c.c. de la solución madre, correspondiente a 5 grs. del material en análisis, agregar 5 c.c. de solución de acetato de magnesio al 5 % y 30 c.c. de amoníaco concentrado.

Agítase vigorosamente y déjese decantar por algún tiempo.

Se enfría, se enrasa con agua y se agita vigorosamente. Se deja reposar durante toda la noche para permitir la separación completa de todo el fósforo presente. Luego se filtra a través de un filtro Whatman N° 44.

Las primeras porciones del filtrado se desprecian, luego, en un trasco seco se recogen una cantidad suficiente de líquido filtrado. Se toman 100 c.c. (correspondientes a 25 grs.) del líquido filtrado, suficiente como para que contenga de 1-5 miligramos de sodio, pero no

más de 5 miligramos ni tampoco más de 15-20 miligramos de potasio, se vierten en una cápsula pyrex y se evapora en baño maría hasta sequedad. Una vez seco se agregan 3 c.c. de agua y 5 c.c. de ácido nítrico concentrado, se cubre la cápsula con un vidrio de reloj y se deja en el baño maría hasta que se descompongan las sales de amonio. Cuando esta reacción se ha producido, se quita el vidrio de reloj, se lava recogiendo el agua en la cápsula, y se evapora nuevamente a sequedad.

Cuando el contenido de la cápsula está seco, se retira del baño maría y se le deja enfriar. Entonces se disuelve el residuo lo más completamente posible, en 6 c.c. de agua fría agitando con una varilla de vidrio. Se agrega 15 c.c. del reactivo de acetato uranil magnésico, se agita vigorosamente durante 15 segundos, o hasta que se forme un precipitado.

Se cubre la cápsula y se le deja decantar durante 30 minutos, pero no más de 1 y 1/2 hora si hay mucho potasio presente. Se filtra a través de un pequeño crisol de gooch, cargado de abestos.

Se lava el precipitado de uranil acetato de sodio y magnesio con 2 porciones del reactivo y luego 5 veces con alcohol de 96° saturado con la triple sal, luego se transfiere cuantitativamente el precipitado al crisol de Gooch. El crisol, se seca en una estufa a 150°C., no pasando de 1 hora, se enfría en desecador y se pesa.

El peso hallado  $\times 0.015 = \text{Na}$   
 $\text{Na} \times 400 = \text{Na}^0/\text{aa}^3$   
 El peso hallado  $\times 0.02022 = \text{Na}_2\text{O}$   
 $\text{Na}_2\text{O} \times 400 = \text{Na}_2\text{O}^0/\text{da}$

En lugar de la estufa para el secado se puede utilizar éter. En este caso se lava tres veces con éter el crisol y el precipitado, se deja secar al ambiente y se le mantiene durante 15 minutos al lado de la balanza antes de proceder a su pesada.

#### 14. HIDROGENO INTERCAMBLABLE. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE BASES Y PORCENTAJES DE SATURACION. (Método de Parker).

El intercambio recíproco que se produce en el suelo entre los cationes (bases e hidrógeno) retenidos por la micela coloidal en estado de absorción y los que entran en su contacto, es uno de los principales fenómenos en él desarrollados.

Su conocimiento permite establecer el estado de saturación con bases, dato de suma importancia para interpretar su natural evolución o para explotarla agrónomicamente.

Los métodos para su determinación son numerosos, inclinándose — dado su sencillez — por el de Parker.

Para la ejecución del análisis se pesan 10 gramos de suelo y se digieren durante 8-10 horas a la temperatura del laboratorio, con una solución normal de acetato de bario de pH 7



Se pasa luego la tierra a un embudo Buchner adaptado a una bomba de vacío y se agota con porciones sucesivas de acetato de bario normal neutro hasta tener 250 cc. de filtrado. Esta solución no es exactamente neutra sino, generalmente, algo ácida. Cuando se trabaja con tierras casi neutras o alcalinas es importante llevar esa solución, lo más cerca posible a pH 7 empleando hidrato de bario para neutralizar la acidez.

Sobre el filtrado se determina el hidrógeno intercambiable, titulando el hidrógeno liberado de la micela coloidal con una solución décimo normal de hidrato de bario. (Se carbonata con facilidad por lo cual es necesario titularla diariamente).

Los centímetros de hidrato de bario n/10 empleados en la titulación del hidrógeno de cambio expresan directamente (cuando se

trabaja con 10 gramos de suelo) los miliequivalentes por 100 gramos de suelo, puesto que 1 cc. de una solución N/10 tiene 0,1 miligramo de hidrógeno. Por lo tanto, si expresamos los resultados por 100 gramos de tierra, 1 cc. equivaldrá a un miliequivalente.

El suelo saturado de bario que tenemos en el Buchner lo agotamos ahora con porciones sucesivas de una solución normal de cloruro de amonio ( $NH^4Cl = 53$  gramos por litro). Son suficientes 250 cc. de solución para sustituir todo el bario.

Se lava el exceso de cloruro que quedó en la tierra, embudo y filtro, con alcohol a  $96^\circ$  hasta que no acuse reacción de cloruros frente al nitrato de platino (en solución al 10 %).

Se pasa la tierra y el filtro a una perla Kjeldahl, se cargan 5 gramos de óxido de magnesio y se destila recojiendo el amonio destilado sobre 50 cc. de solución décimo normal de ácido sulfúrico. Se dosifica el exceso de ácido con hidrato de sodio del mismo título y la diferencia indicará el amonio retenido por los 10 gramos de suelo, expresando a la vez la capacidad total de bases de cambio. La destilación se hace con óxido de magnesio y sin digerir para no interferir el humus del suelo en el análisis.

Los cc. obtenidos de la diferencia de la titulación nos da directamente la capacidad de intercambio de bases sobre 100 gramos de suelo de acuerdo al razonamiento ya explicado para el hidrógeno intercambiable.

Con los datos que anteceden se puede calcular por diferencia las bases de cambio totales, puesto que la capacidad total de intercambio (T de Hissink) menos el hidrógeno reemplazable es igual a las bases intercambiables totales (S de Hissink).  $S = T - H$

El porcentaje de saturación se calcula según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de saturación} = 100 \frac{\text{Hidrógeno intercambiable} \times 100}{\text{capacidad de intercambio de bases}} \times 100 \text{ (S/T)}$$

NOTA: La determinación de cada una de las bases intercambiables absorbidas que son de suma importancia para determinar la fertilidad de la tierra, se indican en el curso de Química Agrícola y Edafología.

**15 — HIGROSCOPICIDAD (Según Mischerlich)**

El agua higroscópica no es aprovechable por las plantas, y representa, sin embargo una medida de importancia para dictaminar sobre la calidad de un suelo, complementando el análisis de movilidad del agua.

Cuando un suelo se va enriqueciendo en agua, se ha comprobado que una parte, sobre todo las primeras porciones, se fija con gran intensidad a las partículas del suelo y es tan fuertemente retenida que por medios mecánicos no se puede extraer. Se ha observado que se forman películas líquidas alrededor de las partículas más pequeñas y particularmente alrededor de las partículas de carácter coloidal.

Esta agua constituye el agua higroscópica y su medida nos da dos ideas importantes: la medida de la aridez, ya que su cifra equivaldría a "estirar" las partículas en una línea y colocar sobre ésta una película de agua; y en las tierras con altos contenidos de sales higroscópicas, una medida de éstas.

El análisis se efectúa pesando más o menos 10 gramos de suelo y colocándolo en una

cápsula de vidrio previamente tarada, de por lo menos 6 centímetros de diámetro, siendo importante que quede extendido en una capa fina.

Se lleva esta cápsula, sin tapa, a un desecador de vacío sobre por lo menos 100 cc. de ácido sulfúrico al 10 % hecho con densímetro (ver tabla más adelante) y se hace el vacío con una bomba de agua hasta bajar la presión a 1—2 centímetros, interponiendo un frasco de seguridad.

No habiendo manómetro, se controla aproximadamente, el vacío por el burbujeo del ácido o colocando una ampolla de vidrio cerrada por un lado y por el otro con orificio muy pequeño. Cuando se va haciendo el vacío, va desalojando el aire de la ampolla y es sustituido por líquido.

Se deja 3 días en lugar protegido del sol, rectificando el vacío diariamente. Transcurrido este tiempo se hace entrar despacio (para que el suelo no sea proyectado) aire por un tubo de vidrio con punta capilar, se saca la cápsula, se cambia el ácido y se coloca nuevamente al vacío otros 3 días. Al cabo de ellos, y con las mismas precauciones anteriores se saca la cápsula, se tapa y se pesa en una balanza de precisión. Se lleva luego a la estufa 8 horas a 105°C se deja enfriar y se pesa nuevamente en la balanza de precisión.

**Cálculo:**

Tara de la cápsula .....  
 + suelo .....  
 + agua higroscópica .....  
 = .....  
 Higroscopiedad % H<sub>2</sub>O =  $\frac{\text{peso de agua higroscópica}}{\text{peso de suelo}} \times 100$

Se pesa en una balanza de precisión la cápsula y el suelo. Después de haber estado en el vacío durante 3 días se hace entrar despacio el aire por un tubo de vidrio con punta capilar, se saca la cápsula, se cambia el ácido y se coloca nuevamente al vacío otros 3 días. Al cabo de ellos, y con las mismas precauciones anteriores se saca la cápsula, se tapa y se pesa en una balanza de precisión. Se lleva luego a la estufa 8 horas a 105°C se deja enfriar y se pesa nuevamente en la balanza de precisión.



cado y promediar los dos más próximos.

Los suelos arenosos retienen menos agua y los arcillosos más, dando importantes diferencias porcentuales entre ambos tipos extremos.

#### 17. — MOVILIDAD DEL AGUA. (Según Vageler y Alten).

El consumo y el movimiento del agua en el suelo por unidad de tiempo es lo más importante para el balance de agua de las plantas, y si la relación de estos dos factores no es favorable, las raíces asimilan toda el agua disponible en sus cercanías y sufren después de falta de agua, ya que esta afluye demasiado despacio. Las plantas no sólo necesitan del agua en general, sino también de cierta cantidad dentro de determinado plazo.

En suelos muy arcillosos pasa muy a menudo que el agua no llegue en el plazo requerido, lo que disminuye los rendimientos. Pero tampoco es muy ventajosa una renovación que se adapte a cualquier exigencia de la planta, que puede ser muy grande en horas de mayor transpiración, caso que acontece en los suelos muy arenosos, y donde el agua se desperdicia.

De lo antedicho se deduce que el agua debe afluir en el suelo con una determinada velocidad mínima a la raíz de la planta.

Se considera como mínima una velocidad de elevación de 0,2 mm. por hora y la **capa que es traspuesta por el agua con esta velocidad mínima necesaria** se llama **espesor crítico** y se designa como:  $E/crit.$

Vageler y Alten argumentan que la exigencia de agua durante un tiempo de vegetación de 100 a 150 días es de suponer entre 3600 a 4800 lit./hectárea. Las plantas necesitan por lo tanto por hora un promedio de 1-2 m<sup>3</sup>/hectárea. Suponiendo el volumen de poros del suelo en 50 %, entonces la velocidad de movimiento del agua por hora sería de 0.2-0.4 mm. La necesidad de las

plantas estará pues balanceada en una **capa** de suelo en la cual el agua se mueve con una velocidad de 0.2-0.4 mm. por hora. Pero como el consumo no es constante, ya que de noche gastan las plantas menos agua, se tiene que calcular temporalmente un consumo horario de 5 m<sup>3</sup>, lo que significaría un movimiento horario de 1 mm.

El equilibrio de agua, o el régimen de agua, así como la movilización de elementos nutritivos por la solución de suelo, sólo puede ser evaluado con exactitud tomando en consideración el espesor crítico del suelo.

Para el análisis, en un tubo de vidrio de 1 1/2 a 2 centímetros de diámetro y un metro de largo, cuya extremidad inferior se tapa con gasa, se coloca el suelo bien mezclado, dando golpes en el tubo para conseguir una posición tan compacta como sea posible. El tubo lleno hasta una altura de 100 centímetros es colocado verticalmente en una cuba sobre una especie de pequeño banco de red de alambre, y se introduce agua destilada (en la cuba) hasta que suba 1 cc. encima de la extremidad del tubo cerrado con gasa.

Siendo de esperarse elevaciones finales abajo de 300 mm. son anotadas las alturas de elevación después de 20 y 100 horas (buscar siempre la relación de 1 a 5) y para suelos que acusen mayores elevaciones se deben preferir intervalos de 5 a 25 horas.

El valor final de las verdaderas alturas de elevación es determinado según la ecuación que sigue:

$$y = \frac{x \times T}{x + q \times T}$$

- En esta función hiperbólica, significan:  
y = Altura de elevación anotada en mm.  
T = " " " " final " "  
x = Tiempo de anotación en horas  
q = Módulo del tiempo

Para facilitar los cálculos transportemos la ecuación a una lineal mediante la introducción de valores recíprocos, como sigue:

$$x = \frac{1000}{b} ; T = \frac{1000}{K}$$

Para mejor comprensión presentamos la solución

$$b = \frac{\frac{1}{a} \times \frac{1}{K}}{\frac{1}{a} + q \times \frac{1}{K}}$$

$$b = \frac{\frac{1}{a} \times \frac{1}{K}}{\frac{1}{a} + q \times \frac{1}{K}}$$

$$b = \frac{1}{\frac{1}{a} + q \times \frac{1}{K}}$$

$$b = \frac{K + q \times a}{a \times K}$$

$$b = \frac{K + q \times a}{a \times K}$$

$$b = K + q \times a \quad (\text{ecuación lineal})$$

$x_1$  y  $x_2$  son los tiempos de anotación en horas;  
 $y_1$  e  $y_2$  las respectivas alturas anotadas en mm;  
 después de  $x_1$  y  $x_2$  horas.

Los valores de  $q$  y de  $K$  son obtenidos, como sigue:

$$a_1 = \frac{1000}{x_1} ; a_2 = \frac{1000}{x_2} ; b_1 = \frac{1000}{y_1} ; b_2 = \frac{1000}{y_2}$$

$$K = \frac{5 b_2 - b_1}{4} ; a = \frac{b_2 - K}{a_2}$$

(Con una relación de 1:5 en los tiempos de anotación).

Ejemplo de cálculo:

$$y_1 = 350 \text{ mm.}; x_1 = 20 \text{ horas}; b_1 = \frac{1000}{350} = 2.85; a_1 = \frac{1000}{20} = 50$$

$$y_2 = 675 \text{ mm.}; x_2 = 100 \text{ horas}; b_2 = \frac{1000}{675} = 1.48; a_2 = \frac{1000}{100} = 10$$

$$K = \frac{5 b_2 - b_1}{4} = \frac{5 \times 1.48 - 2.85}{4} = \frac{4.55}{4} = 1.13$$

$$T = \frac{1000}{K} = \frac{1000}{1.13} = 885 \text{ mm.}$$

$$q = \frac{b_2 - K}{x \cdot a_2} = \frac{1.48 - 1.13}{10} = \frac{0.35}{10} = 0.035$$

Altura final (T) = 885 mm.  
 Módulo del tiempo (q) = 0.035

$$E/crit. = 2 T (1 + 0.447 \sqrt{q})$$

$$E/crit. = 2 \times 885 (1 + 0.447 \sqrt{0.035}) = 1611 \text{ mm.}$$

El valor (T) se multiplica por 2, porque desde el punto de vista del movimiento del agua

Por estos valores se puede determinar la capa crítica de espesor, por medio de la fórmula; así obtenemos 1611 mm. a la raíz puede llegar tanto de abajo como de arriba.

En el ejemplo expuesto, con un espesor de 1611 mm. las plantas tienen un aprovisionamiento suficiente.

El cálculo del E/crit. se facilita por medio del cuadro siguiente, que tiene el valor  $(1 - 0,447 \sqrt{q})$  ya calculado para los valores encontrados de q. (Valor:  $-(1 - 0,447 \sqrt{q})$ ).

Cuadro para calcular:  $(1 - 0,447 \sqrt{q})$  en función de q.—(I)

q	r	q	r
0,010	0,96	0,200	0,80
0,012	0,94	0,220	0,79
0,016	0,94	0,230	0,789
0,020	0,94	0,258	0,77
0,022	0,93	0,260	0,77
0,025	0,929	0,300	0,76
0,028	0,92	0,350	0,736
0,040	0,91	0,400	0,72
0,046	0,90	0,475	0,69
0,050	0,90	0,500	0,68
0,052	0,898	0,578	0,66
0,060	0,89	0,600	0,65
0,072	0,88	0,640	0,64
0,076	0,88	0,700	0,62
0,080	0,87	0,730	0,62
0,100	0,86	0,800	0,60
0,110	0,85	0,900	0,58
0,120	0,84	1,000	0,55
0,140	0,83	1,080	0,54
0,150	0,827	1,500	0,45
0,172	0,81	1,870	0,39
0,180	0,81	2,000	0,37
0,190	0,80	2,250	0,329

### 18.— ANALISIS MECANICO DE LAS TIERRAS

El estudio físico mecánico de un suelo es hecho bajo el punto de vista de sus partículas, que varían desde las visibles sin aparatos especiales hasta las que sólo son visibles a través del ultramicroscopio. Estas partículas determinan relaciones entre suelo y planta, ya que el movimiento del agua, la circulación del aire, la presencia y actividad de los microorganismos, etc., son muy influenciadas por el tamaño de las partículas

o textura del suelo.

Para el análisis se ha adoptado el método de la "International Society of Soil Science", que se basa en una dispersión total y luego se toman muestras de acuerdo a la velocidad de caída de las partículas, según la Ley de Stokes.

La técnica es la siguiente:

Se pesan 20 gramos de tierra y se colocan en un vaso de Bohemia de 1000 cc., con preferencia alto, para evitar proyecciones, agregándole 60 cc. de H<sup>2</sup>O<sup>2</sup> al 6 % (1 cc. de H<sup>2</sup>O<sup>2</sup> concentrado más 4 cc. H<sup>2</sup>O, partiendo de perhidrol a 100 volúmenes) y se lleva a baño maría. Se produce una enérgica reacción sobre la materia orgánica, que se favorece agitando con una varilla de cuando en cuando. Cuando se reduce el volumen, se le agrega otros 60 cc. de H<sup>2</sup>O<sup>2</sup> y se pone nuevamente al baño maría. Repetir los agregados hasta que cese la reacción. Las tierras muy ricas en humus requieren a veces varios agregados de H<sup>2</sup>O<sup>2</sup> ya que el H<sup>2</sup>O<sup>2</sup> quema la materia orgánica. (El final de la reacción se aprecia bien: se amortigua el desprendimiento gaseoso y la masa líquida queda en ebullición tranquila).

Se deja enfriar y se le agregan 50 cc. de HCl/N, hecho de la siguiente manera: Densidad HCl = 1,175; riqueza = 34,7 %; HCl = 36,5 gramos

$$100 : 34,7 :: x : 36,5 \quad x = 105,1 \text{ gramos}$$

$$D = \frac{P}{V} \quad 1,175 = \frac{105,1}{v} \quad v = 89,5 \text{ cc.}$$

Se lleva el volumen a 250 cc. con agua destilada, quedando el HCl N/5.— El ácido clorhídrico descampane los carbonatos, y se agita de tiempo en tiempo con una varilla de vidrio, dejándose sedimentar perfectamente. (Conviene dejar toda la noche). Luego se filtra y se lava con agua destilada caliente hasta reacción neutra al papel de tornasol, tratando de que la tierra del vaso no pase al filtro.

Se vierte el contenido del filtro y del vaso a un frasco de 1000 cc. por medio de un

embudo grande, agregándole 50 cc. de amoníaco al 10 % (si tenemos  $\text{NH}_3$  de densidad 0,890 y una riqueza del 33 %, basta con agregar a 2 litros de agua destilada 1 de amoníaco de esa densidad) y completándose el volumen a 500 cc. con agua destilada. El  $\text{NH}_4\text{OH}$  se agrega como medio dispersante, pudiendo usarse también el hidrato de sodio.

El frasco que contiene el suelo y las soluciones se lleva a un agitador rotativo durante 12 horas, produciéndose de esta manera una total dispersión del suelo. En los suelos arenosos, la dispersión es rápida, bastando con 2 horas de agitado; pero en los suelos pesados, es menester agitar más horas, por lo que es conveniente asegurar una buena dispersión durante por lo menos 12 horas.

Se pasa luego el líquido y la tierra a una probeta de 1000 cc. de un diámetro de 6 cc., llevando todo el volumen a 1000 cc. con agua destilada.

Completado el volumen, se agita por medio de un basuqueador o a mano, durante un minuto, procediéndose a separar la fracción limo y arcilla después de 4,48 minutos, por medio de una pipeta de 20 cc. a 10 centímetros de profundidad para  $20^\circ$  de temperatura. La pipeta está colocada en un aparato especial donde se puede graduar la profundidad, por una cremallera o por un caño elevador hidráulico, para que regule la caída de la pipeta de tal manera que no entre en el líquido de golpe y remueva el medio. La pipeta tiene dos llaves en la parte superior: una está conectada a una bomba de vacío y la otra a un embudito por donde se agrega agua para lavar la pipeta.

La pipeta se introduce 20 segundos antes del tiempo estipulado para la toma, y llegado éste, se abre la llave de la bomba; aspirándose despacio una cantidad algo mayor de líquido que la necesaria. Inmediatamente se retira la pipeta, se enrasa perfectamente, y luego el líquido se coloca en un

cristalizador tarado previamente, lavando la pipeta desde el embudito superior con unos 10 cc. de agua destilada. Se lleva a la estufa a  $105^\circ$  hasta sequedad y se pesa.

Después de la toma se agita en la misma forma anterior 1 minuto y se deja 8 horas, tomándose otros 20 cc. a 10 centímetros de profundidad para  $20^\circ\text{C}$  de temperatura.

Se repite la operación de lavado de la pipeta y secado posterior del cristalizador, dándonos esta pesada la arcilla.

No habiendo un baño maría con regulador para mantener la temperatura a  $20^\circ$  se pueden hacer las tomas a distintas profundidades, de acuerdo al siguiente razonamiento: las velocidades de sedimentación de las partículas se encuentran de acuerdo a la Ley de Stokes aunque no se aplica rígidamente, porque sus velocidades de sedimentación no pueden calcularse con exactitud. Por tal motivo se decidió suponer que las partículas de suelo de 0,002 mm. caen a través de una profundidad de 10 cm. de agua en 8 horas a  $20^\circ\text{C}$  y calcular las velocidades de las otras partículas por la ecuación de Stokes.

Se ha convenido en designar las fracciones de acuerdo al siguiente diámetro:

Arena gruesa	2,0	—	0,2	mm.
fina	0,2	—	0,02	
Limo	0,02	—	0,002	"
Arcilla	menor que 0,002 "			

De acuerdo a la ya citada Ley de Stokes, la velocidad varía directamente de acuerdo al cuadrado del radio de la partícula que cae, y como el diámetro efectivo del limo, por ejemplo, es 10 veces mayor que el de la arcilla, la velocidad de aquel debe ser 100 mayor que la de la arcilla, a la misma temperatura. Pero como la velocidad de una partícula que cae es inversamente proporcional a la viscosidad del fluido, si el tiempo de sedimentación es constante, la profundidad a decantar varía inversamente de acuerdo a la viscosidad y si la altura de sedimentación o decantación es constante, el tiempo

po, correspondiente varia de acuerdo a la viscosidad.

Como la viscosidad del agua está en función de la temperatura, al aumentar la misma disminuye aquélla, rápidamente, y por lo tanto las profundidades de sedimentación y los tiempos que dan las mismas velocidades,

sufren cambios rápidos al variar la temperatura. Le estudiaremos con la siguiente

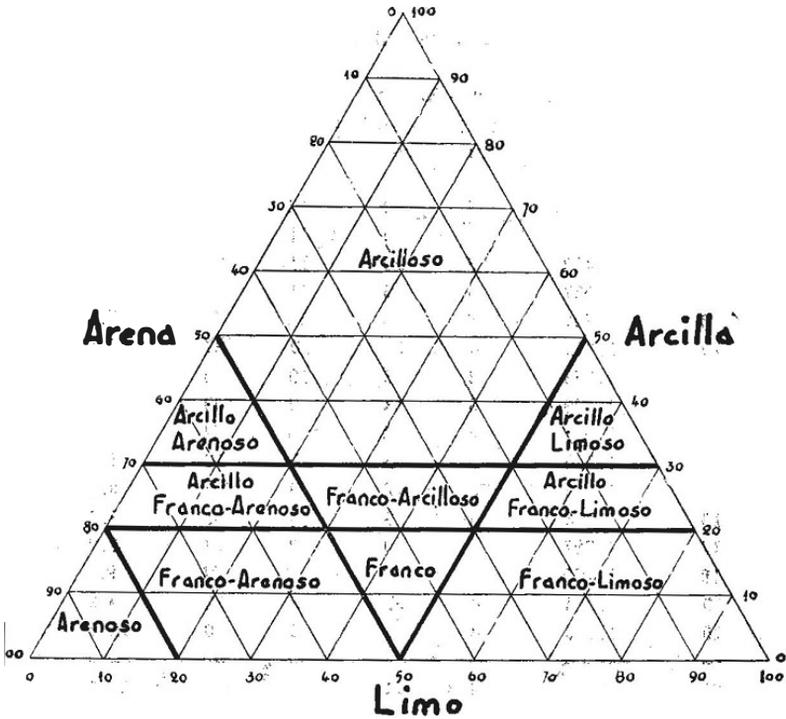
El cuadro que sigue permite, de acuerdo a temperaturas variables, calcular el tiempo y la profundidad para efectuar las tomas correspondientes a la arcilla y limo y arcilla.

### TIEMPOS DE SEDIMENTACION

Temperatura °C	Viscosidad	Limo / Arcilla		Arcilla		Profundidad Cm.
		Minu- tos	Segun- dos	Horas	minutos	
5	1.519	7	13	12	2	6.6
6	1.473	7	0	11	41	6.8
7	1.429	6	48	11	20	7.1
8	1.387	6	36	11	0	7.3
9	1.348	6	25	10	41	7.5
10	1.310	6	14	10	23	7.7
11	1.273	6	3	10	6	7.9
12	1.239	5	54	9	49	8.1
13	1.206	5	44	9	34	8.4
14	1.175	5	35	9	18	8.6
15	1.145	5	27	9	5	8.8
16	1.116	5	19	8	51	9.0
17	1.087	5	10	8	37	9.3
18	1.060	5	3	8	24	9.5
19	1.034	4	55	8	12	9.8
20	1.009	4	48	8	0	10.0
21	0.984	4	41	7	48	10.3
22	0.961	4	34	7	37	10.5
23	0.938	4	28	7	26	10.8
24	0.916	4	22	7	16	11.0
25	0.895	4	15	7	6	11.3
26	0.875	4	10	6	56	11.5
27	0.855	4	4	6	47	11.8
28	0.836	3	59	6	38	12.1
29	0.818	3	54	6	29	12.3
30	0.800	3	48	6	21	12.6
31	0.783	3	43	6	12	12.9
32	0.767	3	39	6	3	13.2
33	0.751	3	34	5	54	13.4
34	0.736	3	30	5	50	13.7
35	0.721	3	26	5	45	14.0

En el método de la pipeta se puede modificar la profundidad o el tiempo de sedimentación. En el limo, debe adoptarse el tiempo o la profundidad correspondiente a la temperatura real de la suspensión. Durante la sedimentación para la arcilla, mucho más len-

ta, hay cambios de temperatura, y los tiempos de sedimentación y las profundidades deben ser las que correspondan a la temperatura media de la suspensión, para lo que conviene colocar cerca de la suspensión un termómetro de máxima y mínima que se coloca al em-



Dibujo 3

pezar y al terminar.

Obtenidas las fracciones arcilla, y limo más arcilla por diferencia entre ambas se obtiene el limo, restándonos sólo encontrar la arena fina y la arena gruesa.

Para ello se aspira el líquido que sobrenada por medio de un tubo de vidrio con la punta doblada en U, usando como fuerza aspiradora una bomba de agua, cuidando de no agitar la tierra decantada.

Se agrega luego agua hasta una altura

de 10 cm. a partir de la punta del tubo en U, se agita 12 segundos, se deja decantar 4.48 minutos y se vuelve a sacar el líquido en la misma forma ya descrita. Esta operación es menester repetirla tantas veces como sea necesaria para que el agua salga completamente clara.

Una vez llegado a este término, se pasa toda la arena a una cápsula, que se lleva a un baño de arena hasta completa sequedad.

Si tuviera restos de vegetación, caso no

muy frecuente, se coloca en un crisol y se calcina. Luego se pasa por un tamiz de 0.2 mm., obteniéndose la arena gruesa encima y la fina debajo.

El método descrito difiere del International Society of Soil Science original, en que nosotros obtenemos las arenas al final, una vez lavada la arcilla y el limo y secado el residuo. En el original, la arena

gruesa se obtiene al principio, lavando sobre un tamiz la suspensión total, de en él y la arena fina al final; luego de separar arcilla y limo-arcilla. La operación de separar la arena gruesa al principio es mojada es engorrosa, habiendo a veces pérdidas de sustancias, lo que se subsana separándola al final.

**Ejemplo:**

**Limo y arcilla.**

Cristalizador + limo y arcilla = 72.6838

Tara del cristalizador = 72.4782

Limo + arcilla = 0.2056

**Arcilla.**

Cristalizador + arcilla = 54.6722

Tara del cristalizador = 54.5274

Arcilla = 0.1448

**Limo.**

Limo + arcilla = 0.2056

Arcilla = 0.1448

Limo = 0.0608

$$\% \text{ de arcilla} = \frac{0.1448}{4} \times 1000 = 36.2 \%$$

$$\% \text{ de limo} = \frac{0.0608}{4} \times 1000 = 15.2 \%$$

**Arena gruesa.**

2.68 gramos

**Arena fina.**

5.90 gramos

**Arena gruesa %**

$2.68 \times 5 = 13.40 \%$

**Arena fina %**

$5.90 \times 5 = 29.50 \%$

La suma de arcilla, limo, arena gruesa, arena fina y humus, debería dar 100 pero

siempre hay una pequeña diferencia debida a las sales, pérdidas, etc.

36,20	arcilla	} Por sub- húmeda
15,20	limo	
13,40	a. gruesa	
9,50	A. fina	
<hr/>		
94,30		

37,31	arcilla	} Por sub- seca
15,67	limo	
13,81	A. gruesa	
30,41	A. fina	
<hr/>		
1,72	humus	
<hr/>		
98,92		

El limo y la arcilla se calculan dividiendo por 4 y multiplicando por 1000, de acuerdo al siguiente razonamiento: si x es el peso hallado, la concentración de la suspensión es en % (100 cc.) 5 x. Habiendo pesado 20 gramos de tierra y llevándolos a 1000 cc. la proporción será:

$$20 \text{ grs. tierra: } 5 \times 10 :: 100 \text{ grs. : } y$$

$$5x \times 10 \times 100 \quad 5,000 \quad 1000$$

$$y = \frac{5000 \times 100}{20} = 250 \times 4 = x$$

La arena gruesa y la arena fina se calculan en % multiplicando por 5 porque lo que se pesa es la totalidad de esos elementos sobre los 20 gramos.

Los datos de este análisis se transportan al triángulo del dibujo N° 3, ubicándose sobre las líneas correspondientes, el que da directamente la textura del suelo.

En el ejemplo expuesto y considerando 37 % de arcilla, 16 % de limo y 44 de arena, estaríamos frente a un suelo arcilloso (punto donde se cruzan los tres porcentajes) con tendencia a arcillo-arenoso.

### 19.— DETERMINACION RAPIDA DE LOS COLOIDES TOTALES. (Bouyoucos).

El método Internacional permite determinar la composición física de un suelo con una gran exactitud, pero tiene el inconveniente de ser un método que lleva varios días para su realización. Si es necesario efectuar un análisis rápido, el método Bouyoucos permite determinar los coloides totales, incluyendo la arcilla limo y humus.

Para este análisis, 50 gramos de suelo se colocan en el vaso de un agitador eléctrico (9.000 revoluciones por minuto, cargado) y se le agrega agua hasta 3 centímetros del borde superior y KOH normal (56,1 de KOH purísima en un 1000 cc.) en la proporción de 5 centímetros si la tierra tuviera pocos coloides, 10 si tuviera muchos (arcillosa).

Se agita durante 9 minutos, y luego se pasa el líquido y la tierra a una probeta especial lavándose el vaso tantas veces como sea necesario para pasar los restos de tierra. Se coloca el densímetro especial para coloides, y con él adentro se enrasa a la marca 1.130 centímetros de la probeta.

Se retra el densímetro, se agita a mano o con bscuqueador durante 1 minuto exactamente para uniformar la suspensión y se deja decantar 15 minutos exactamente. Al cabo de ellos se coloca el densímetro Bouyoucos y se lee la densidad y la temperatura.

Como el densímetro está hecho para 67° Fahrenheit hay que transformar los grados centígrados en Fahrenheit. La cifra obtenida se resta de 67° F para luego multiplicarla por 0.35 (factor de corrección de la temperatura).

Esta cifra se suma a la densidad obtenida si la temperatura es mayor de 67° F. y se resta, si es menor. Multiplicando por 20, obtenemos el % de coloides totales.

Este método es preciso realizarlo cuando las temperaturas no se apartan mucho de 67° F. porque puede dar errores apreciables, siendo quizás necesario emplear otra corrección en lugar de 0,35 propuesta por el autor del método.

Ejemplo:

Densidad = 20°

Temperatura = 23°C.

$$^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5} + 32 = ^{\circ}\text{F}.$$

$$23^{\circ} \times \frac{9}{5} + 32 = 73.4^{\circ}\text{F}.$$

73.4 - 67 = 6.4 (Dif. de temperatura de 67°F.)

$$6.4 \times 0.35 = 2.24 \text{ (corrección).}$$

$$2.24 + 20 = 22.24 \text{ (Cálculos totales en 50 grs.)}$$

$$22.24 \times 20 = 444.8 \text{ \%/cc.}$$

## 20.— DETERMINACION RAPIDA DE LA ARENA GRUESA (Schloesing).

10 gramos de suelo se llevan a una cápsula de porcelana de boca ancha (10-12 centímetros) y se humedecen con agua, agregando después 20 cc. más con probeta. Se

malaxa bien con el dedo, se deja reposar 1 segundos y se tira el líquido colocando el dedo en el pico de la cápsula para evitar pérdida de arena. Una vez tirado el líquido se malaxa con el dedo para destruir los grumos de arcilla y se agregan otros 20 cc. de agua, malaxándose nuevamente, y decantando 10 segundos. Esta operación se repetirá tantas veces hasta que el líquido sea completamente claro.

Se seca el residuo y se pesa. Si tuviera mucha materia orgánica conviene calcinar para evitar errores.

El peso del análisis multiplicado por 1 da directamente el  $\text{\%/cc}$ .

Ejemplo:

$$\text{Peso de la tierra} = 10 \text{ gramos}$$

$$\text{A. gruesa pesada} = 3.39 \text{ "}$$

$$\text{\%/cc A. gruesa} = 3.39 \times 100 = 339$$