

2017

Cátedra de Edafología
Facultad de Agronomía y Zootecnia
Universidad Nacional de Tucumán



Guía de estudio

Análisis de suelos





ANÁLISIS DE SUELOS

Lic. Adriana Plasencia

1. INTRODUCCIÓN

El productor agrícola debe conocer las características del suelo ya que estas, tienen una estrecha relación con su productividad y capacidad de uso.

El rendimiento de un cultivo está afectado por diversos factores, entre los que ocupa un lugar importante la disponibilidad en el suelo de los nutrientes esenciales para las plantas. Cuando estos no están en cantidades adecuadas, se debe agregar fertilizantes químicos o enmiendas para suplir las necesidades y corregir condiciones adversas.

El objetivo de esta guía es brindar una noción básica de los análisis químicos y físicos que se realizan en un laboratorio de suelo.

Los análisis de: pH, densidad aparente y humedad gravimétrica están expuestos en forma más detallada que el resto, ya que son valores de diagnóstico del suelo muy importantes y además poseen métodos sencillos de realizar y con instrumental de fácil acceso o adquisición.

2. MANEJO DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO

Las muestras de suelo llegan al laboratorio, donde se las somete a ciertos procedimientos de acondicionamiento antes de realizar los análisis correspondientes. De acuerdo al orden de realización para muestras sólidas (las muestras de aguas son identificadas y usadas directamente o previo filtrado si es que traen impurezas o se presentan turbias), los procedimientos son:

1. Identificación de la muestra
2. Secado
3. Molido
4. Tamizado
5. Mezclado

6. Envasado
7. Almacenado

2.1. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

En un libro, cuaderno de registro, o archivo de PC, el Laboratorio da a la muestra que recibe un número de entrada o de registro (N° de Laboratorio). Este número identifica a la muestra en todo momento, desde la recepción hasta el informe técnico. Acumular y sistematizar la información recibida es importante para mejorar el diagnóstico.

En cada muestra de detalla:

- a) **Tipo de muestra:** Suelo, material vegetal, agua, soluciones, lombricompuesto, mezclas específicas, etc.
- b) **Ubicación de la muestra:** Ej. Horizonte Ap, horizonte Bw, capa arable, subsuelo 40 cm de profundidad, suelo camino del pinar, suelo de bosque, agua del río, agua de napa a profundidad 30 cm, agua salida del chorro, etc.
- c) **Procedencia de la muestra:** ciudad, provincia, etc.
- d) **Antecedentes de uso de la muestra y destino que se le dará al resultado:** conocer la historia de la muestra puede ser de gran ayuda para el diagnóstico. Ej. pastura de más de 6 años de implantada para evaluar estado de fertilidad. Agua para riego en monte frutal. Potrero en agricultura continua para fertilización de fósforo y potasio en trigo. Hojas de maíz para estimar el estado nutricional.
- e) **Datos de la persona, empresa o institución que recibe el resultado:** dirección, teléfono, fax, forma de enviar el informe (carta, fax, o retira personalmente).

2.2 SECADO

Las muestras se extienden sobre bandejas especiales o papel limpio para su secado al aire o en estufas con circulación de aire a una temperatura de 40°C. El secado se realiza con el fin de expresar todos los resultados del análisis en unidades de suelo seco (por ciento, o partes por millón).

2.3. MOLIDO

Los agregados del suelo, lombricompuestos, mezclas, etc. Se muelen hasta el tamaño final de la muestra en relación con el tipo de análisis que se necesite. Debe evitarse cuidadosamente moler las partículas de gravas y arenas.

2.4. TAMIZADO

Se pasan por tamiz de 2 mm para macrodeterminaciones y por tamiz 0,5 mm una porción más pequeña para microdeterminaciones.

Tamizados especiales: las muestras de suelos, vegetales y sustratos para análisis de microelementos se trabajan con molidoras de acero inoxidable y tamices de plástico.

2.5. MEZCLADO Y CUARTEADO

El mezclado de la muestra se realiza colocando toda la muestra sobre un lienzo fuerte, el cual se toma en diagonal por sus dos esquinas. Se acerca una esquina sobre la otra, haciendo los movimientos despacio para que el suelo se “enrolle”. Esta operación debe repetirse varias veces hasta obtener una mezcla homogénea. De allí se cuarteo y se separa una alícuota, que se envasa para llevar al laboratorio.

2.6. ENVASADO

Las muestras se colocan dentro de frascos o bolsas de plástico provistos de etiquetas, interior y exteriormente, que permitan identificarlas sin dificultad. En estas etiquetas debe figurar de manera destacada

el número del registro de entrada al laboratorio. Con sólo este dato y auxilio del registro realizado, se podrá conocer el nombre del propietario del suelo, establecimiento en que se tomó la muestra, profundidad, etc.

2.7. ALMACENADO

Generalmente, una vez analizadas las muestras, se desechan. Sin embargo, hay ocasiones en que es preciso conservarlas para realizar determinaciones posteriores.

3. ANÁLISIS QUÍMICOS

El análisis químico de una muestra de suelo es una de las principales herramientas que se emplean en el diagnóstico de su fertilidad.

La adecuada interpretación del análisis químico del suelo le permite al productor elaborar programas de monitoreo, enmienda y fertilización que su cultivo en particular requiere, lo que podría redundar en una economía de tiempo, insumos y dinero.

El análisis químico está diseñado para extraer, a partir de una muestra de suelo, los nutrientes disponibles a la planta en una forma similar a como lo hace la raíz. De manera que se logra valorar las limitantes y/o ventajas nutricionales en el que se desea cultivar.

Para hacer un análisis químico se toman 2,5 g de una muestra de suelo de ½ kg. A esta pequeña cantidad le toca representar, por ejemplo 2.400.000 kg que hay en una hectárea (teniendo en cuenta los primeros 20 cm de profundidad). De ahí que *el muestreo de suelos sea la etapa más crítica dentro del diagnóstico de fertilidad, pues es cuando se puede introducir el mayor error en los resultados finales*, si la muestra no es representativa los resultados de laboratorio tendrán poco valor diagnóstico. Los suelos naturalmente son muy heterogéneos, y la variabilidad aumenta con el manejo agrícola. Por estas razones, existen consideraciones básicas que deben tenerse en cuenta para efectuar un buen muestreo de suelos. Estas consideraciones son abordadas en la guía de “Muestreo de suelos”.

El diagnóstico de fertilidad puede efectuarse en diferentes grados de detalle y presupuesto. El análisis químico completo o básico, para determinar la fertilidad de un suelo, por lo general incluye la determinación de % Carbono orgánico, pH y los contenidos disponibles de K, N y P. Lo primero a tener en cuenta antes de solicitar los análisis son las características del lugar en estudio.

3.1. pH

El pH del suelo es una medida que refleja, en forma aproximada, la actividad de los iones hidrógeno (H^+) de la solución del suelo, los que tienen un efecto marcado sobre la fertilidad del mismo (disponibilidad de nutrientes vegetales).

Por lo tanto, es una medida de las propiedades químicas del suelo, ya que si éste es ácido, neutro o básico lo es en función de la solubilidad de sus componentes, de las uniones relativas de los iones en los sitios de intercambio, de la actividad microbiana, del contenido de materia orgánica, de los minerales que lo constituyen, de las condiciones climáticas, ambientales, del manejo del suelo, etc.

3.1.1. MEDICIÓN DEL pH DEL SUELO

El pH del suelo es el de su solución. La medición ideal del pH sería aquella realizada en la solución que contiene el suelo en el rango de humedad al que crecen las plantas (entre *capacidad de campo* y *punto de marchitez*). La extracción de esta solución en cantidad suficiente para efectuar la medición resulta muy engorrosa, por lo que el pH se mide suspendiendo el suelo en agua o en alguna solución (ej: KCl 1N).

La medición consiste en suspender una cantidad de suelo en agua destilada o en alguna solución y después de un cierto tiempo, medir el pH con el potenciómetro.

Como los valores del pH de un suelo varían ampliamente con el método de preparación del mismo, cuando se den datos sobre el pH de cualquier suelo será necesario especificar detalladamente el procedimiento de preparación. Es decir que, para hacer una

correcta interpretación del dato analítico, se debe conocer en que relación suelo:agua se hizo la medición.

El pH del suelo puede evaluarse de diferentes maneras de acuerdo al objetivo perseguido. Por ej:

- pH actual
- pH potencial

3.1.1.1. pH actual. Relación suelo:agua de 1:2,5

Considera el H^+ presente en la solución del suelo y pretende ser un reflejo de lo que encontrará la planta en la rizosfera. En función de este pH los suelos pueden clasificarse de la según la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación del pH.

pH actual	Calificación
< 4,5	Muy fuertemente ácido
4,5 - 5,1	Fuertemente ácido
5,2 - 5,8	Ácido
5,9 - 6,8	Débilmente ácido
6,8 - 7,2	Neutro
7,3 - 7,6	Débilmente alcalino
7,7 - 8,0	Alcalino
8,1 - 8,5	Fuertemente alcalino
> 8,5	Muy fuertemente alcalino

3.1.1.1.1. Materiales

- Agua destilada
- Vaso de precipitado 100 ml
- Probeta 50 ml
- Varilla de vidrio
- pHmetro

3.1.1.1.2. Procedimiento

Se añaden a una muestra de 12 g de suelo contenida en un vaso, 30 ml de agua destilada. Se agita la suspensión obtenida durante 1 minuto. Se deja en reposo 1 hora. Se calibra el pHmetro y se mide a continuación el pH habiendo agitado enérgicamente la

suspensión durante 1 minuto inmediatamente antes de sumergir el electrodo y leer el pH.

3.1.1.2. pH potencial

En condiciones de acidez puede desearse analizar la reserva ácida de los sitios de intercambio de los coloides del suelo. En este caso se realiza la evaluación en una relación suelo:KCl 1M de 1:2,5. En caso de contar con reserva ácida, el pH potencial será inferior al pH actual.

3.1.1.2.1. Materiales

Solución KCl 1M (74 g KCl/litro de agua destilada)
Vaso de precipitado 100 ml
Probeta 50 ml
Varilla de vidrio
pHmetro

3.1.1.2.2. Procedimiento

Se añaden a una muestra de 12 g de suelo contenida en un vaso, 30 ml de KCl 1M. Se agita la suspensión obtenida durante 1 minuto. Se deja en reposo 1 hora. Se calibra el pH-metro y se mide a continuación el pH habiendo agitado enérgicamente la suspensión durante 1 minuto inmediatamente antes de sumergir el electrodo y leer el pH.

3.2. SALES SOLUBLES

El análisis de las sales solubles existentes en los suelos y aguas trata de establecer si existen en ellos cantidades suficientes de sales para producir interferencias con la germinación normal de las semillas, con el crecimiento de las plantas o con la toma de agua por parte de ellas.

Las sales solubles en el agua, que se presentan en los suelos en cantidades totales superiores al 0,1 % están formadas fundamentalmente por los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , enlazados principalmente, con los aniones Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$, algunas veces al NO_3^- y $\text{CO}_3^{=}$ y en cantidades más limitadas con el HCO_3^- . Usual-

mente el 98 % de las sales solubles de los suelos salinos están formadas por estos iones.

Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. Las aguas naturales de los ríos, lagos o pozos, contienen cantidades variables de sales disueltas. Las aguas de escurrimiento o de drenaje arrastran las sales solubles de los suelos, así como sólidos en suspensión.

Cuando un suelo contiene un exceso de sales solubles (conductividad eléctrica del extracto de saturación > 4 dS/m) recibe el nombre de suelo salino. Los problemas de la presencia de salinidad en los suelos pueden clasificarse en dos clases principales:

1. La presencia natural de un exceso de sales en los suelos, en ausencia de un drenaje adecuado, usualmente en las regiones áridas y semiáridas.
2. La presencia de excesos de sales en los suelos por acciones del hombre, ya sea por riego con agua de mala calidad (salina) o como consecuencia de la fertilización (que plantea dificultades en los suelos de los invernaderos fuertemente abonados y en las bandas en que se aplican los fertilizantes).

Los problemas de salinidad de suelos nacen frecuentemente de los iones Na^+ , Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$, pero, en ocasiones puede deberse a la presencia de iones Ca^{++} , Mg^{++} ó $\text{CO}_3^{=}$.

3.2.1 MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La medida de la conductividad eléctrica de las aguas o de los extractos obtenidos de los suelos permite establecer una estimación aproximadamente cuantitativa de la cantidad de sales que contienen.

Esta técnica parte del principio que indica que la concentración salina de la solución del suelo afecta a los cultivos básicamente a través de la modificación del potencial osmótico. Por ello, la determinación debería hacerse de forma tal que la concentración de sales se asemeje en la mayor medida posible a la concentración que posee el medio edáfico, en el que están insertas las raíces.

El contenido de humedad correspondiente a la saturación del suelo es la cantidad máxima de agua que puede retener el suelo sin que, al practicar una depresión en la masa del mismo, se acumule agua libre. Es decir que al llevar al suelo a humedad de saturación se están teniendo en cuenta los límites de humedad en que se desarrollan las plantas.

Posteriormente, se extrae en forma parcial la humedad de la pasta bajo vacío, y en el extracto obtenido se cuantifica el contenido salino a través de la conductividad eléctrica.

Esta técnica posee algunas ventajas: es sencilla, apta para trabajos de rutina, aplicable a la generalidad de los suelos y posee un enorme caudal bibliográfico de apoyo. Por esos motivos ha tenido una gran difusión internacional.

3.2.1.1. Pasta saturada de suelo

La pasta saturada de suelo se prepara agregando agua destilada a una muestra y agitando con una espátula. De vez en cuando la muestra debe consolidarse golpeando con cuidado el recipiente sobre la mesa de trabajo. La pasta de suelo saturada brilla por la reflexión de la luz, fluye ligeramente si se inclina el recipiente y se desliza fácilmente de la espátula, excepto en suelos con alto contenido de arcilla. La cantidad de suelo que se requiere depende del volumen de extracto deseado. Una muestra de aproximadamente 250 g de suelo en un recipiente de plástico de 250 ml de capacidad es fácil de manejar y proporciona suficiente extracto para las determinaciones ulteriores.

Después del mezclado se debe dejar reposar la muestra durante una hora y comprobar si se mantiene saturada. En ese momento la pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse. Si ha perdido brillo o se ha endurecido, es necesario agregar agua destilada y mezclar nuevamente. Si la pasta posee demasiada agua se agrega suelo seco en la cantidad mínima necesaria.

3.2.1.2. Obtención de los extractos de saturación

En la mayor parte de los casos la extracción

para evaluar la salinidad puede hacerse poco después de preparar la pasta saturada. Si en el extracto se van a analizar los componentes iónicos, la pasta debe dejarse en reposo de 4 a 16 horas antes de la extracción. Esto se debe a que la solución del suelo necesita llegar a un equilibrio con la fase sólida. En los laboratorios de rutina normalmente se efectúan las pastas a última hora de la tarde, se dejan en reposo toda la noche y se extrae a la mañana siguiente.

La pasta se coloca en un embudo Buchner con papel de filtro. El embudo se coloca en un frasco Kitasato conectado a una línea de vacío, dado por una bomba de vacío de laboratorio y se procede a extraer la solución de la muestra (Figura 1). Existen diversos artificios para lograr que el extracto sea recibido en un tubo de ensayo. Si el filtrado inicial es turbio, se puede descartar o pasar nuevamente al suelo. La extracción al vacío debe terminarse cuando empieza a pasar aire por el filtro.

En el extracto de saturación se determina la salinidad mediante un conductímetro y en muchas oportunidades el extracto es utilizado para determinar los iones solubles.

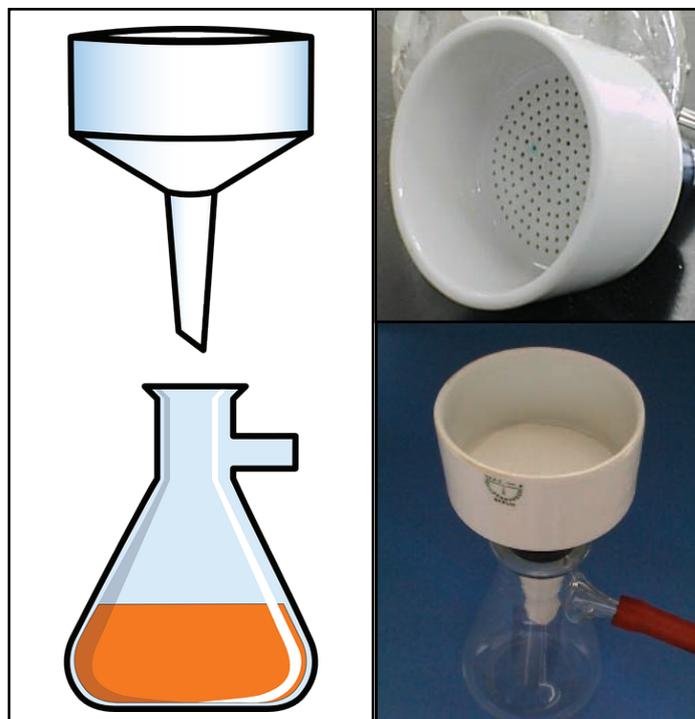


Figura 1: a) embudo Buchner y Kitasato. b) detalle de embudo Buchner (Fuente Alljal CC BY-SA 3.0) c) Embudo Buchner y kitasato conectado a la bomba de vacío.

3.2.1.3. Determinación de la conductividad de la disolución

Se lava la celda para la determinación de la conductividad con agua. Se introduce la disolución a ensayar (extracto de saturación de suelo o aguas). Se lee la conductividad, especificándose las unidades.

3.2.1.4. Concentración relativa del Na respecto al Ca y al Mg Relación de Absorción de Sodio (RAS)

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$

Se puede establecer una relación entre el sodio y los cationes bivalentes en solución. Para ello se utiliza la ecuación de Gapón:

Las concentraciones de los diferentes iones se las determinan en el extracto de saturación (el mismo que se obtuvo para medirle la conductividad eléctrica) y se expresan en meq/l o cmolc/l.

3.3. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo está constituida por una larga serie de compuestos carbonados, en diferentes estados de degradación y síntesis, provenientes de restos vegetales y animales y de la propia biota que en ella se desarrolla. Como el carbono es el elemento principal presente en la materia orgánica del suelo, su determinación permite estimar el contenido de materia orgánica mediante un factor de conversión.

3.3.1. FORMAS DE CARBONO PRESENTE EN LOS SUELOS

- Carbonatos minerales $CO_3^{=}$, HCO_3^- de Ca^{++} y Mg^{++} , y CO_2 .
- Formas condensadas: carbón vegetal, grafito, carbón de hulla.

- Residuos orgánicos (animales y vegetales), alterados y resistentes (humus)

Hay dos formas principales de determinarlo:

3.3.1.1. Carbono Orgánico Total

Por la pérdida de masa por calcinación en un horno a 430 °C. (Norma IRAM-SAGyP 29571-1). Esto se realiza por combustión seca y tiene cierto margen de error debido a la desnaturalización y la pérdida de agua estructural de las arcillas, del yeso en suelos con altos contenidos de este mineral y de gipsita.

3.3.1.2. Carbono Orgánico Oxidable

En el método de determinación de carbono por mezcla oxidante fuerte se cuantifica la cantidad de carbono orgánico del suelo capaz de ser oxidado por dicromato de potasio en medio ácido.

- a) Oxidación con ácido crómico aplicando calor.
- b) Oxidación con ácido crómico con calefacción espontánea.

Además, los miliequivalentes de ácido crómico reducidos, se pueden medir por valoración o por colorimetría, relacionándolos con el contenido de carbono orgánico total.

3.3.2. MÉTODO UTILIZADO EN LA CÁTEDRA PARA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

En el laboratorio de la cátedra usamos el método b o de Walkley-Black.

3.3.2.1. Método de Walkley - Black: Oxidación con ác. crómico basada en la calefacción espontánea con H_2SO_4 . (IRAM-SAGyP 29571-2)

El método consta de dos partes:

1. El carbono orgánico de una muestra de suelo es oxidado por $K_2Cr_2O_7$, y la reacción es facilitada por la generación de calor, cuando 2

volúmenes de H_2SO_4 son mezclados con 1 volumen de $K_2Cr_2O_7$ 1N.

2. El exceso de $Cr_2O_7^{=}$, es determinado por titulación con solución estandarizada de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, sulfato ferroso amónico (sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico se calcula a partir de la cantidad de $Cr_2O_7^{=}$ reducido.

Para calcular el porcentaje de Materia Orgánica % se utiliza la siguiente relación:

$$MO \% = \text{Carbono orgánico \%} * 1,724$$

3.4. NITROGENO

El N se encuentra en el suelo mayormente en forma orgánica con cantidades relativamente pequeñas de sales de NH_4^+ y NO_3^- que son las formas asimilables por las plantas.

Para la determinación del N total del suelo se pueden usar dos métodos o procedimientos analíticos:

- a) Dumas: de conversión del N en forma gaseosa.
- b) Kjeldahl: de conversión del N en $(NH_4)_2SO_4$.

3.4.1. MEDICIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL

En el laboratorio de la cátedra usamos el método Kjeldahl.

3.4.1.1. Método de Kjeldahl

Incluye las formas orgánicas y amónicas, y con ciertas modificaciones, permite la determinación de NO_3^- simultáneamente. Consta de tres partes:

1. **Digestión:** a 1 g de suelo se lo digiere con mezcla catalítica, con lo que se convierte todo el N en $(NH_4)_2SO_4$.
2. **Destilación:** el $(NH_4)_2SO_4$ reacciona con una solución concentrada de NaOH y libera NH_3 que se destila por arrastre de vapor, recogiendo en H_3BO_3 al 2 %.
3. **Titulación:** se determina la cantidad de NH_3 for-

mado y recogido en el H_3BO_3 al 2 % durante la destilación, titulándolo con H_2SO_4 0,05 N.

3.5. FÓSFORO

Las determinaciones de fósforo en los suelos han recibido considerable atención de los químicos del suelo a consecuencia de la importancia del fósforo en la fertilidad de los mismos. La química del fósforo, tanto en disolución como en los suelos, es bastante compleja y los métodos de determinación analítica han requerido una atención exhaustiva a todos los detalles controlables.

La determinación cuantitativa del P presenta dos aspectos bien diferenciados: la extracción del elemento y su cuantificación posterior. La extracción del P de los suelos para su análisis ha recibido un estudio extenso a lo largo de dos líneas fundamentales:

- a) **Fosfato extraíble:** Tiene la finalidad práctica de simular la acción de la planta al absorber P, para ello se han probado varios extractantes entre ellos los de Bray, Olsen y Mehlich con alta correlación con la absorción de P por la planta y el rendimiento del cultivo
- b) **Fraccionamiento de P:** en cada una de las clases químicas o especies de fosfato en el suelo. Sirve para caracterizar las fracciones con distinta actividad.

3.5.1. MEDICIÓN DEL FÓSFORO EXTRAÍBLE

3.5.1.1. Método BrayKurt I modificado (IRAM-SAG-yP 29570-1)

Es el método de ensayo de P extraíble más difundido y el que se aplica a la mayoría de los suelos de Argentina. El ensayo consta de dos partes:

Extracción: se realiza con una solución diluida de fluoruro de amonio y ácido clorhídrico, con relación 1:7 suelo:extractante. Se remueve del suelo las formas de fósforo fácilmente solubles, princi-

palmente fosfatos de calcio y algunos de hierro y aluminio. El HCl disuelve los fosfatos cálcicos. El NH_4F disuelve el fósforo ligado al Fe y Al, por formación de complejos con estos iones metálicos en una solución ácida.

Determinación espectrofotométrica: los iones fosfato presentes en el extracto de suelo que se obtuvo en el paso anterior, al reaccionar con una solución ácida que contiene iones molibdato y antimonio, forman un complejo ácido de fosfato-molibdato-antimonio. En presencia de ácido ascórbico dicha molécula se reduce y desarrolla un color azul de intensidad proporcional a la concentración de iones fosfato y adecuado para las mediciones espectrofotométricas cuantitativas.

3.6. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y CATIONES INTERCAMBIABLES (CIC y CI)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es una medida de la cantidad de cargas negativas presentes en los coloides del suelo por unidad de masa. Dichas cargas son balanceadas por iones de carga opuesta llamados cationes intercambiables (CI).

Las especies catiónicas canjeables o intercambiables de interés más frecuente en suelos son los iones Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ y son todos extraídos con facilidad con una solución de Acetato de Amonio (NH_4OAc) 1 N a pH 7 y determinados en el extracto obtenido.

Los cationes canjeables de naturaleza no metálica más importante son el NH_4^+ y el H^+ .

Si bien el Al^{+++} , Fe^{+++} , Cu^{++} , Zn^{++} y Co^{++} se extraen en parte con el acetato amónico, su química en suelos es más compleja que la de los cationes metálicos canjeables más abundantes, al igual que sus determinaciones analíticas.

3.6.1. MEDICIÓN DE LA CIC Y EL CI

Las metodologías para obtener los CI y CIC son varias y responden a distintos criterios. La usada en la mayoría de los laboratorios de la Argentina es la

siguiente:

3.6.1.1. Método de intercambio con acetato de amonio

3.6.1.1.1. Extracción

1. Reemplazar todos los cationes (CI) de los sitios de intercambio de los coloides, por un catión saturante (solución A) del que se obtiene el extracto con CI.
2. Lavar el suelo, saturado con NH_4^+ en el paso anterior con un solvente no polar (solución B), hasta ausencia del NH_4^+ en la solución intermicelar.
3. Desplazar al catión saturante adsorbido (NH_4^+) con una solución salina (solución C), del que se obtiene el extracto con la CIC.
4. Los CI se determinan del extracto obtenido en el 1er paso.
5. Cuantificar el NH_4^+ obtenido en el 3er paso, lo que corresponde a la CIC del suelo.

3.6.1.1.2. Soluciones

- A. Solución del catión saturante: Acetato de Amonio (NH_4OAc) 1,0 N (pH 7)
- B. Solvente no polar: Etanol
- C. Solución salina: Cloruro de Sodio (NaCl) 10 % acidulado con HCl

3.6.1.1.3. Cuantificación de los CI

- **Determinación de Ca y Mg:** Se realiza en el extracto del primer paso, por titulaciones de complexométricas
- **Determinación de Na y K:** Se realiza en el extracto del primer paso y se determinan sus concentraciones por espectrofotometría de llama.
- **Cuantificación de la CIC:** Se realiza en el extracto del tercer paso, por medio del método Kjeldahl.

4. ANÁLISIS FÍSICOS

4.1. GRANULOMETRÍA

La determinación del tamaño de las partículas es una de las más importantes determinaciones físicas.

La determinación de la textura realizada en el campo se basa en el comportamiento del suelo bajo el barreno o manualmente, esta debe ser chequeada y corroborada con análisis mecánicos. Dicho análisis consiste esencialmente en dos operaciones: dispersión del suelo y clasificación de las partículas dispersadas en grupos de tamaños. Los métodos de dispersión usados en los diferentes laboratorios son muy variados, desde simple ebullición del suelo en agua hasta métodos que intentan una dispersión por tratamiento de la arcilla bajo condiciones de saturación con sodio (después de un pretratamiento del suelo con agua oxigenada para oxidar la materia orgánica y HCl para eliminar carbonatos). El fin de estos procedimientos es separar los diferentes grupos de partículas.

De acuerdo a la escala de Atterberg se realiza la separación de las partículas en cuatro grupos: arena gruesa, arena fina, limo y arcilla de acuerdo a los límites de tamaño.

Si las partículas fueran geoméricamente regulares no habría ningún problema para su evaluación. Sin embargo, las partículas del suelo son muy irregulares, de tal manera que es difícil asignarles alguna longitud, anchura, espesor y diámetro. No existe un método preciso para medir el tamaño de las partículas. Para tal fin se hace necesario introducir el concepto de diámetro nominal y diámetro efectivo. La única alternativa al problema de la irregularidad de las partículas es asignarles una dimensión equivalente. Si este diámetro está basado en el tamaño de la partícula que pudiera pasar a través de un tamiz con perforaciones o aberturas conocidas, la partícula podría tener ese diámetro nominal, igual a la sección transversal del cilindro.

Otra expresión indirecta del tamaño de la partícula es el diámetro efectivo o diámetro equivalente esférico. Este diámetro está basado en la ley de Stokes. De acuerdo a la misma, en un fluido de de-

terminada densidad y viscosidad, la velocidad Terminal de una partícula esférica, bajo la influencia de la gravedad, será proporcional al cuadrado del radio de dicha partícula. Esta ley se aplica, principalmente en partículas mayores de 1μ y menores de 50 a 80μ . Una partícula de suelo, de cualquier forma, tendrá un diámetro efectivo igual al diámetro de una esfera que tenga la misma densidad, es decir, que caería con la misma velocidad considerando que exactamente obedece a esta ley.

Las partículas de arcilla con un diámetro máximo de $0,002$ mm se definen como aquellas partículas con velocidad de sedimentación de 10 cm en 8 horas ($0,000347$ cm/s) en agua a 20 °C, y esto coincide por el uso de la definición de arcilla con las bases fundamentales de cálculo de la ley de Stokes con la escala de Atterberg.

En 1934 se acordó que las partículas entre $0,2$ y 2 mm de diámetro se deben separar por medio de precisos tamices de aberturas cuadradas, y se prescribe el método de sedimentación para partículas menores a $0,2$ mm.

La ley de Stokes que conecta la velocidad de sedimentación con el tamaño de las partículas es la siguiente:

$$v = \frac{2}{9} \frac{g r^2}{\eta} (D - d)$$

Donde:

v	velocidad de sedimentación
g	aceleración de la gravedad
r	radio de la partícula esférica
η	coeficiente de viscosidad del fluido
D	densidad de la partícula esférica
d	densidad del fluido

Si se combinan todas las constantes: $v = K r^2$. Como η y d dependen de la temperatura, K dependerá también de la temperatura. En el sistema internacional, el valor de K es indirectamente definido con la relación que conecta el tamaño de las partículas de arcilla con la velocidad de sedimentación.

Hay tres sistemas de clasificación: el Interna-

cional, el Americano y el Británico.

Los nombres utilizados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos son los presentados en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de las partículas según USDA.

Diámetro (mm)	Partículas
2 a 1	arena muy gruesa
1 a 0,5	arena gruesa
0,5 a 0,25	arena media
0,25 a 0,1	arena fina
0,1 a 0,05	arena muy fina
0,05 a 0,002	limo
menores a 0,002	arcilla

4.1.1. MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINACIONES GRANULOMÉTRICAS

4.1.1.1. Método de la Pipeta o de Kilmer Alexander

La muestra se seca, se muele y se tamiza por malla de 2 mm. Luego se trata con agua oxigenada para eliminar el material ligante (materia orgánica), se lava y se trata con HCl para eliminar el material cementante (carbonatos), se lava nuevamente. Se filtra y se dispersa con una solución que contiene Na⁺ (hexametáfosfato de sodio), para reemplazar los cationes adsorbidos en las arcillas (particularmente di y trivalentes) por sodio, catión que favorece la peptización de las partículas.

La arena se separa lavando la muestra en un tamiz de 300 mallas por pulgada, de las fracciones de limo y arcilla que pasan y se reciben en una probeta. Se quita el tamiz y se traspasan las partículas retenidas en él llevándolas a una cápsula de porcelana para ser secada en estufa. (Fracción de arena). Una vez seca la arena es pesada en balanza analítica.

Se lleva la suspensión de limo y arcilla de la probeta a 1 litro con agua, se tapa y se guarda hasta que se tomen la muestra con la pipeta.

4.1.1.1.1. Muestreo con pipeta

Antes del proceso de sedimentación, el material debe agitarse con una varilla con un disco perforado en el extremo. Al terminar de agitar se debe anotar la hora. El muestreo con pipeta se hace para partículas de 20 μ (limo) a 2 μ (arcilla) en el orden que se menciona. Las partículas se muestrean a 10 cm de profundidad y el tiempo del muestreo varía con la temperatura usando una tabla para ver el mismo. Aproximadamente un minuto antes de terminar el proceso de sedimentación se introduce la punta de la pipeta en la suspensión hasta la profundidad indicada, se llena la pipeta y se vacía en un cristizador tarado (Figura 2). Los cristizadores se secan y se pesan (Fracciones de limo y arcilla).



Figura 2: Método de la pipeta. Extracción de partículas a distinta profundidad.

4.1.1.1.2. Tamizado y pesado de las fracciones de arena

Las arenas secas, que contienen algo de limo grueso, se pesan y se colocan en un juego de tamices,

según las especificaciones de la Tabla 3. Las arenas se agitan durante 3 min. en un agitador con movimientos ascendentes, descendentes y laterales. Se pesa cada una de las fracciones

Tabla 3: Especificaciones de tamices para tamizado de arena

Perforación (mm)	Especificaciones
1,0	Lámina con perforaciones circulares, N° 3 recta, perforaciones de 0,04", 240 perforaciones por pulgada cuadrada
0,5	Lámina con perforaciones circulares, N° 00 irregular, perforaciones de 0,02", 714 perforaciones por pulgada cuadrada
0,25	Tela de alambre de 60 mallas
0,105	Tela de alambre de 140 mallas
0,047	Tela de alambre de 300 mallas (alambre de 0,0015")



Figura 3: Método del hidrómetro (Fuente: estudiosuelos-lanogrande.blogspot.com.ar)

poroso. Las unidades de expresión son g/cm^3 o t/m^3 . (Ver Guía Física de Suelos).

4.2.1. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DA

4.2.1.1. Método del cilindro

4.2.1.1.1. Materiales

1. Cilindros para muestreo
2. Recipiente para recolección de muestra
3. Estufa
4. Balanza

4.2.1.1.2. Procedimiento

1. Introducir el cilindro en el suelo a muestrear, teniendo la precaución de no compactar la muestra.
2. Retirar el cilindro con la muestra (Figura 4 y 5).
3. Eliminar excedentes de suelo del cilindro.
4. Determinar el volumen del cilindro (V)
5. Colocar en un recipiente, apto para llevar a estufa, toda la muestra extraída en el cilindro
6. Pesar la muestra secada en estufa. (Ps)
7. Pesar el recipiente limpio y vacío (T)

4.1.1.2. Método del hidrómetro o Bouyoucos

Consiste en determinar, en diferentes tiempos, la cantidad de sólidos en el material en suspensión. La densidad de la suspensión se mide por medio de un hidrómetro especial (la profundidad del centro de flotación del hidrómetro varía con la densidad de la suspensión). A su vez, la densidad del medio se relaciona con la cantidad o porcentaje de partículas en suspensión, para lo cual fue necesario calibrar la metodología con numerosos suelos. El diámetro equivalente de estas partículas en suspensión se estima a través de la velocidad de sedimentación, aplicando la ley de Stokes. Se realizan lecturas con el hidrómetro a diferentes tiempos, obteniéndose una curva de distribución de tamaño de partículas. El método del hidrómetro es más rápido pero menos preciso que el de la pipeta (Figura 3)

4.2. DENSIDAD APARENTE (DA)

La densidad aparente o peso específico aparente (PEA) es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total del mismo, incluyendo el espacio



Figura 4: Cilindro enterrado en un horizonte del perfil.



Figura 5: Cilindro, sombrero (parte de arriba donde se golpea) y filo (parte de abajo) con la muestra recién obtenida.

4.2.1.1.3. Cálculo

$$DA = \frac{(P_s - T)}{V}$$

4.3 DENSIDAD DE LAS PARTÍCULAS (DP ó DR)

La densidad de las partículas (DP) o peso específico real (PER) se define como la relación entre la masa total de los sólidos y el volumen de los mis-

mos, sin incluir el espacio poroso. Las unidades de expresión son g/cm³ o t/m³.

4.3.1. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DP

4.3.1.1. Método del picnómetro

Se basa en determinar la masa y el volumen de los sólidos del suelo a través de un frasco (picnómetro) de volumen conocido.

4.3.1.1.1. Cálculo

$$DP = \frac{\text{densidad del agua} \cdot (P_s - P)}{(P_s - P) - (P_{s+a} + P_a)}$$

donde

P: Peso del picnómetro limpio y seco

P_s: Peso del picnómetro + 10 g de suelo

P_{s+a}: Peso el picnómetro + los 10 g de suelo + agua hasta llegar al volumen total del picnómetro

P_a: Peso del picnómetro + agua hasta completar todo su volumen

4.4. HUMEDAD

La humedad o contenido hídrico gravimétrico de un suelo es la cantidad (peso) de agua que se encuentra en una determinada masa de suelo

4.4.1. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD GRAVIMÉTRICA

4.4.1.1. Método de la estufa

4.4.1.1.1. Materiales

1. Recipiente hermético y apto para estufa, para recolección de muestra
2. Estufa
3. Balanza

4.4.1.1.2. Procedimiento

1. Muestrear el suelo y colocar en recipiente cerrado.
2. Pesar la muestra húmeda y luego colocar en estufa. (Ph)
3. Pesar la muestra seca (Ps). Retirar la muestra y pesar el recipiente (T)

4.4.1.1.3. Cálculo

$$\text{Humedad \%} = \frac{(Ph - Ps)}{(Ph - T)} 100$$

4.5. ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Muchos investigadores prefieren utilizar la estabilidad de los agregados más que, por ejemplo, la distribución del tamaño de los mismos, como índice de la estructura en el campo. Esta decisión se basa, principalmente, en el hecho que la resistencia a la ruptura de los agregados frente a fuerzas destructivas, parece relacionarse en gran medida con importantes fenómenos observados a campo.

Los poros de mayor tamaño, relacionados con la estructuración del suelo, favorecen la tasa de infiltración, una buena aireación para el desarrollo de las plantas, etc.

Inmediatamente de ocurrido el laboreo del suelo, generalmente estos poros son abundantes. Sin embargo, su permanencia en el suelo va a depender, fundamentalmente, de la estabilidad de los agregados. Por otro lado, la erodabilidad de los suelos va a disminuir a medida que la estabilidad estructural aumenta.

Para evaluar la estabilidad estructural, los físicos de suelo someten a los agregados a fuerzas destructivas inducidas artificialmente, de forma de simular los fenómenos que naturalmente se producen en el campo. La naturaleza de estas fuerzas aplicadas artificialmente va a depender de la percepción particular que tiene el investigador del fenómeno que pretende reproducir. De tal modo que algunas metodologías se basan en el efecto destructivo del viento, otras en la acción degradante del agua (ya sea por inmersión o por efecto mecánico de las gotas de lluvia), etc.

Sin embargo, el concepto de estabilidad estruc-

tural se relaciona, principalmente, con la resistencia de los agregados a la acción del agua.

4.5.1. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

A continuación se describen brevemente algunos de los métodos más utilizados para la determinación de la estabilidad de la estructura.

4.5.1.1. Método francés (Hénin)

Este método destaca el efecto del aire atrapado como agente deteriorante de la estructura. El mismo consiste en someter el suelo a tres pretratamientos: agua, alcohol etílico y benceno y luego evaluar la cantidad de suelo que queda retenido en un tamiz. El tamizado se realiza bajo el agua, se utiliza un aparato que produce un movimiento helicoidal análogo al que se le imprime al tamiz cuando la operación se hace a mano. Con los resultados se puede establecer un índice de estabilidad estructural. Con el pretratamiento con alcohol etílico (o líquido similar), se atenúa el efecto de estallido, ya que favorece la expulsión del aire contenido en los agregados. El alcohol etílico, de mayor viscosidad y menor tensión superficial que el agua, penetra más lentamente que esta, de tal manera que favorece la expulsión del aire interno. Cuando la muestra se sumerge a continuación en agua, el efecto estallido disminuye.

Para destacar la característica hidrofóbica de la materia orgánica, se utiliza el pretratamiento con benceno (líquido orgánico no miscible con el agua ni fijado por la materia mineral), la materia orgánica presente fija el benceno, rodeándose de una película que protege al agregado del contacto con el agua.

En general, se comprueba que el pretratamiento del suelo con alcohol permite obtener más agregados estables (siempre que el suelo no sea sódico) que con agua. El suelo con materia orgánica da, después del tratamiento con benceno, tantos o más agregados que después del tratamiento con alcohol; el mismo suelo sódico, con contenido de materia orgánica, se dispersa menos.

4.5.1.2. Método de la gota (McCalla)

Este método destaca el efecto destructivo de la gota de agua al impactar sobre los agregados desnudos.

Agregados individuales del suelo son sometidos a la acción destructiva de gotas de agua aplicadas de una manera estandarizada. El número total de gotas requeridas para la destrucción total del agregado o la fracción de suelo que aún permanece agregado luego de un tiempo dado, son indicativos de la estabilidad estructural.

4.5.1.3. Método del tamizado en seco y en húmedo (De Leenheer and De Boodt)

Con esta técnica se pretende evidenciar principalmente, el efecto disgregante del agua saturando el suelo.

Una muestra de suelo seco en estufa es colocada en un juego de tamices de diferentes tamaños. Se tamiza el suelo y se pesan los agregados de diferentes tamaños obtenidos.

Por otro lado, una muestra similar, previamente humedecida con agua, se tamiza en forma similar a la anterior pero bajo el agua. El humedecimiento previo al tamizado bajo el agua, evita la destrucción de los agregados por efecto del aire entrampado. En ambos casos, el tamizado se realizará con movimientos ascendentes y descendentes constantes y sistemáticos. Con los agregados obtenidos en ambos tamizados (seco y mojado) se elaboran gráficos que muestran el porcentaje en peso de los diferentes tamaños de agregados (Figura 6).

Con un planímetro se determina la superficie comprendida entre ambas curvas. Este valor de área es utilizado para la elaboración de un índice de estabilidad estructural. Mientras más pequeña es el área entre las curvas, más estables serán los agregados y viceversa.

5. ANÁLISIS DE SUELOS EN ARGENTINA

El SAMLA (Sistema de Apoyo Metodológico a

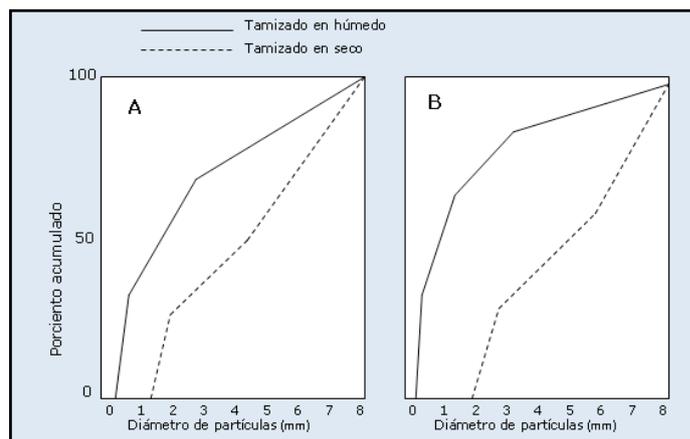


Figura 6: Gráficos obtenido de muestras analizadas por el método de De Leenheer and De Boodt. El área entre las dos curvas determina el valor de estabilidad estructural. En el caso de la figura, el suelo A tiene mayor estabilidad estructural que el suelo B al tener una menor área entre ambas curvas de tamizado.

Laboratorios de Análisis de suelos, aguas, vegetales y enmiendas orgánicas) es una red nacional, de adhesión voluntaria y gratuita, que nuclea a laboratorios, públicos y privados, vinculados a la actividad agropecuaria. Su objetivo principal, paralelo al de la capacitación, es contribuir a mejorar la calidad de los análisis con el fin de lograr resultados confiables, y también, comparables entre sí, mediante la estandarización de normas y protocolos.

La Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, integra el SAMLA junto con otras 9 entidades entre las que figura AUDEAS (Asociación Universitaria de Educación Agropecuaria Superior. Sus representantes son un equipo técnico-científico colegiado y forman la Comisión Coordinadora que lo conducen y la sede de la Coordinación General está en el Ministerio de Agroindustria de la Nación

En el año 2004 se suscribió un convenio entre IRAM y SAGPyA para el estudio y normalización de los protocolos empleados en los análisis de suelos en Argentina. Así mismo el SAMLA realiza capacitaciones del personal de los laboratorios adheridos y brinda servicios de asistencia técnica.

Con el objetivo de propender a mejorar la calidad de los resultados analíticos de los ensayos que realizan los laboratorios de suelos públicos y privados de la República Argentina fue creado en el ámbito del Ministerio de Agroindustria de la Nación, el Programa

Nacional de Interlaboratorios de Suelos Agropecuarios (PROINSA). Los programas de ensayos de aptitud interlaboratorio tienen la finalidad de determinar el desempeño de cada laboratorio participante mediante la comparación de sus resultados con los de todos los demás. Con este fin se distribuye un mismo ítem de ensayo (muestra de suelo) a todos los participantes y se realiza una evaluación estadística de los resultados y certifica a los laboratorios con resultados satisfactorios.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes del SAMLA - Sistema de Apoyo Metodológico de Laboratorios de Suelos y Aguas. Buenos Aires. Año 1995
- Norma IRAM-SAGyP 29578-2009 Pretratamiento de muestras de suelo para uso agropecuario para análisis físicos y químicos con secado en estufa.
- Marbán, L. y Ratto, S. 2005. Tecnología en el análisis de suelos. Cap. 2.
- Jackson, M. L. Análisis Químico de Suelos. 1964. Cap. 3
- Molina, N. C. Andina D. P y Fernández de Ullivarri, J. 2009. Guía de estudio "Físicoquímica del suelo". Cát. Edafología. FAZ. UNT.
- Marbán, L. y Ratto, S. 2005. Tecnología en el análisis de suelos. Cap. 3.
- Richards, L. A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Cap. 6.
- Jackson, M. L. Análisis Químico de Suelos. 1964. Cap.10
- Jackson, M. L. Análisis Químico de Suelos. 1964. Cap.9
- Norma IRAM-SAGyP 29571-1 Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 1 – Método de pérdida de masa por calcinación. Primera edición 2008
- Norma IRAM-SAGyP 29571-2 Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2 - Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro. Primera edición 2011
- METHODS OF SOIL ANALYSIS, Soil Science Society of América. Madinson - Wisconsin USA- 2nd. Edition - 1982 - Cap. 31.
- Norma IRAM-SAGyP 29572 Determinación de nitrógeno total por el método Kjeldahl modificado. En revisión
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMÉRICA - PROCEEDINGS - 1973 - Automated Total Nitrogen Analysis of Soil and Plants Samples.
- Giuffré, Lidia. 2005. Capítulo 4. Fósforo. En: Tecnologías en análisis de suelos: alcance a laboratorios agropecuarios. 1ª edición. Marbán, Liliana; Ratto, Silvia. AACs. Buenos Aires. 147-196
- METHODS OF SOIL ANALYSIS: Chemical Methods- Part 3, Soil Science Society of América. Madinson - Wisconsin USA-- 1996 - Cap. 32.
- Norma IRAM-SAGyP 29570-1. Calidad ambiental – Calidad de suelo. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1 – Método Bray Kurtz 1 modificado (Extracción con fluoruro de amonio – ác. clorhídrico).
- Apuntes SAMLA - Sistema de Apoyo Metodológico de Laboratorios de Análisis de Suelos y Aguas. 1995.
- Jackson, M. L. Análisis Químico de Suelos. 1964. Cap.5
- Norma IRAM-SAGyP 29577-1. Calidad ambiental – Calidad de suelo. Determinación de capacidad de intercambio catiónico y cationes básicos intercambiables. Parte 1: extracción con acetato de amonio pH 7. En estudio
- De Leenher, L & M De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. Inter Sysmp. on soil structure. Medeligen. Rykskandbouwhogese-hool, Gent. Belgie, 24: 290-300.
- Hénin, S; G Monnier & A Combeau. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 9: 73-92.
- Jiménez, R. Guía de estudio "Física del suelo". 2009 Cát. Edafología. FAZ. UNT.
- McCalla, T.M. 1944. Water-drop method of determining stability of soil structure. Soil Sci. 58:117-121.