

DETERMINACION RAPIDA DE LA HUMEDAD DEL SUELO POR PRESIOMETRIA DE ACETILENO

LEÓN NIJENSON (') y HECTOR PILASI (' ')

Instituto de Suelos y Riego - Facultad
de Ciencias Agrarias - Universidad
Nacional de Cuyo

INTRODUCCION

La determinación del contenido de agua del suelo es una de las operaciones analíticas de más necesaria y frecuente realización en la agricultura de regadío, especialmente cuando el control del riego se hace con supervisión y criterio técnicos.

El método mas preciso es siempre el clásico de secado a estufa: extracción de la muestra, colocación en recipiente hermético tarado y determinación de la pérdida de peso después de someterla a 100-105°C un tiempo suficiente. Esta pérdida de peso es la que se considera como humedad y se expresa porcentualmente como agua retenida por unidad de peso o volumen de suelo seco (1). La realización de este procedimiento no sólo requiere elementos especiales —balanza de precisión y estufa— sino que insume una demora de varias horas para ser completado. Estas circunstancias implican inconvenientes cuando, por la índole del ensayo o control a efectuar, debe conocerse en forma casi inmediata a la extracción de la muestra el dato de humedad o cuando la determinación debe efectuarla el mismo agricultor.

Existen numerosos otros métodos alternativos para la determinación del agua en el suelo. Un grupo de ellos no pretende medir cantidades absolutas de agua sino el estado energético de la misma en el suelo, a través de alguna propiedad física relacionada: conductividad eléctrica de elementos de yeso, nylon y lana de vidrio (2,3,4), variación de peso de conos de porcelana absorbente (5); tensiometría de equilibrio (6) y permeametría al aire de cerámica porosa (7). Para que los resultados obtenidos con estos métodos puedan expresarse en porcentajes de humedad, deben los aparatos utilizados ser calibrados para cada tipo de tierra.

(') Ingeniero Agrónomo; Profesor Titular de Edafología.

(' ') Enólogo; Ayudante de Investigación.

Otro grupo de métodos pretende medir directamente, también a través de alguna propiedad física relacionada, la proporción de agua en el suelo y entre ellos podemos citar: variación de la densidad de alcohol (8); temperatura de mezcla con ácido sulfúrico (9); conductividad térmica (10); capacidad dieléctrica (11) y dispersión de neutrones, (12). Recientemente Berg desarrolló un método gasométrico basado en la medición del hidrógeno desprendido por el contacto de la tierra con hidruro de calcio (13).

El valor práctico de estos métodos está disminuído por uno o más de estos factores: variaciones inducidas por factores extraños (materia orgánica, sales solubles); dificultades en el contacto de los instrumentos con la tierra o necesidad de empleo de aparatos costosos. Algunos también requieren calibración previa para aplicar los resultados de las mediciones al suelo en el cual se emplearán.

OBJETO

El objeto del presente trabajo es el de estudiar la aplicabilidad de un procedimiento sencillo para determinar humedad en condiciones de campaña, basado en la medida de la presión desarrollada por el acetileno producido por la reacción entre el agua del suelo y el carburo de calcio.

ANTECEDENTES

Sibirsky, en 1936 (15), propuso emplear la reacción del acetileno en la medida de la humedad del suelo pesando antes y después del agregado de carburo de calcio la muestra a determinar. La pérdida de peso, correspondiente al acetileno desprendido, se refiere a agua presente. Smolik (16) describe un aparato para la determinación del volumen de acetileno desprendido en la reacción mencionada, volumen que también se refiere a agua presente. En Inglaterra, bajo el nombre de "The Speedy Moisture Test" se fabrica un aparato comercial, que también se utiliza bastante en Brasil (17) y que es, en esencia, un recipiente de reacción, con un manómetro acoplado, graduado directamente en porcentaje de humedad. A pesar de la aparente simplicidad de todos estos procedimientos ninguno de ellos ha conseguido imponerse en la rutina edafológica, tanto es así que ni siquiera son mencionados en las últimas publicaciones de síntesis sobre métodos de determinación de humedad en el suelo (18).

Posiblemente, de acuerdo por lo menos a nuestra experien-

cia, esto se deba a las siguientes circunstancias: en el método gravimétrico la precisión necesaria en las pesadas requiere un tipo de balanza y una pulcritud en el manipuleo, que no se prestan a las condiciones del trabajo de campaña; en el método volumétrico, aunque en el trabajo de Smolik citado no se lo precise, el líquido a desplazar debe ser por fuerza mercurio —lo que hace al aparato de medición delicado para trabajo de campo— dado que el acetileno es absorbido ávidamente por el agua, alcohol, bencene, etc. y, además, deben hacerse correcciones de acuerdo a la temperatura y, en especial, a la presión atmosférica, la que sería engoroso determinar con exactitud en campaña. Estos procedimientos podrían ser efectuados en laboratorio, pero entonces no se justificarían dado que en ese caso el método de la desecación en estufa los supera en exactitud y, si bien es más demoroso, no supone ninguna dificultad ejecutiva.

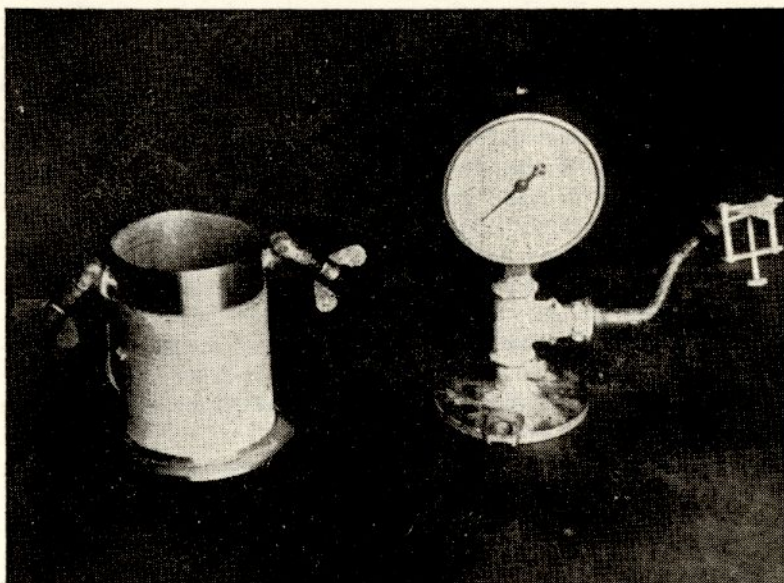
En cuanto al procedimiento que utiliza la medición de la presión desarrollada, las principales condiciones que pueden afectar seriamente la exactitud del resultado obtenido y que no son consideradas en lo que conocemos del aparato comercial a que hicimos referencia son: a) extremada lentitud en completar la reacción cuando la muestra es arcillosa y de elevado contenido de humedad, pues el estado plástico coherente dificulta un buen contacto entre la tierra y el carburo de calcio; b) influencia de la textura en la cantidad de agua que retiene el suelo sin reaccionar y, aunque en menor grado, c) influencia de la temperatura en la presión observada.

En el procedimiento que proponemos tratamos de superar estas fuentes de error de modo de aumentar la exactitud y practicidad del método.

MATERIAL Y METODOS

Descripción del aparato utilizado: (Fot. No. 1).

Se confeccionó de caño de acero inoxidable, de 69 mm de diámetro interno, 2 mm de espesor y 150 mm de altura, al que en un extremo se soldó una chapa del mismo material que le sirvió de base. La tapa, de chapa de 6 mm de espesor, lleva una ranura interna donde va una junta de goma sintética que asienta contra el borde superior del cilindro y se ajusta herméticamente a él con dos tornillos volcables provistos de tuercas con mariposas. En la cara externa de la tapa y a continuación de un orificio practicado en su centro se suelda un caño T de 3/8", galvanizado, en uno de cuyos brazos se atornilla el manóme-



Fot. N° 1 a. — Aparato presiométrico de metal

tro y en el otro un cañito de cobre prolongado por tubo de goma que se puede obstruir por medio de una pinza Hoffman; también puede terminar con una llave como para aire comprimido.

El manómetro utilizado, metálico, tipo Bourdon, está graduado de 0 a 15 libras por pulgada cuadrada, con subdivisiones de 0,2 de pulgada y su círculo graduado es de 56 mm de diámetro.

Posteriormente se simplificó el aparato empleando como recipiente de reacción un frasco de vidrio grueso, tipo conserva, de 400 cc de capacidad y de 45 mm de diámetro de boca. En un tapón de goma troncocónico adecuado a la boca del frasco se introduce, atornillándolo en un orificio practicado en el mismo, un manómetro de características similares al mencionado y en otro orificio se coloca un tubito de vidrio al que ajusta un trozo de tubo de goma con su correspondiente llave de cierre (Fot. N° 1 b.). El cuello del frasco lleva un bozal de seguridad, de alambre, para mantener en su lugar al tapón de goma pese a la presión producida durante la reacción.

Ambos aparatos han funcionado con similar eficiencia, aunque por su construcción más sólida es siempre preferible el primer tipo para trabajos de campaña. Las dimensiones detalladas



Fot. N° 1 b. — Aparato presiométrico de vidrio

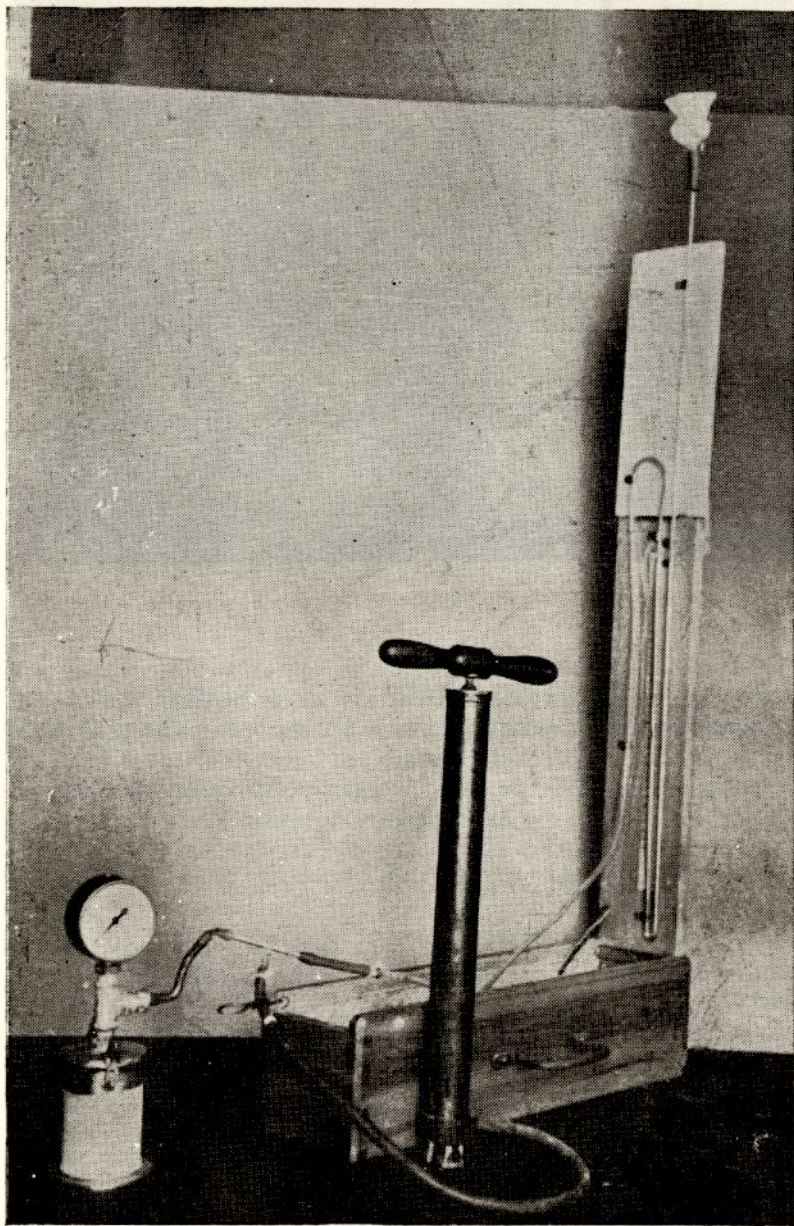
no se dan más que como referencia y no es necesario que en la construcción de aparatos similares se las siga con exactitud, dado que la calibración de cada aparato en forma individual hace distintas —dentro de un cierto margen de variación de volumen total— las medidas de los elementos constitutivos.

Control y corrección del manómetro

El tipo de manómetro utilizado tiene la ventaja que la variación de presión se hace sin modificación del volumen total del aparato y que su cero es independiente de la presión atmosférica indicando, por lo tanto, valores absolutos de sobrepresión.

Sin embargo este tipo de manómetro, aún los de relativa buena calidad, están sujetos a fallas mecánicas y a errores de taraje inicial, por lo que se debe efectuar su control periódico.

Con tal objeto y acoplado el manómetro utilizado a uno de mercurio en la forma que puede apreciarse en la Fot. N° 2, se corrigió la escala del manómetro de media en media libra. Como puede examinarse en la Tabla N° 3, el error de cada posición de la aguja en el manómetro no es una cantidad fija sino



Fot. N° 2 — Corrección del taraje del manómetro

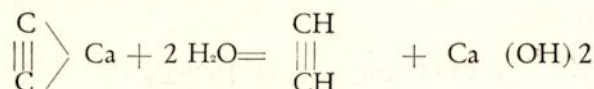
que varía apreciablemente aún en posiciones muy cercanas, lo que hace necesaria la corrección detallada de toda la escala de lectura.

Cada tanto conviene verificar, con el dispositivo indicado, la lectura del manómetro Bourdón por si hubiera algún cambio que efectuar en las correcciones; en caso de no tener comodidades de laboratorio como para efectuar las correcciones con el manómetro de mercurio, éstas pueden hacerse indirectamente midiendo la presión desarrollada por cantidades conocidas de agua, como se verá más adelante.

Taraje del aparato

Consiste en la determinación, para las condiciones experimentales elegidas y para el tipo de aparato usado, de la *relación entre la presión desarrollada y el agua presente*. Hemos querido asimismo comprobar si los datos experimentales coinciden con las previsiones teóricas.

Cálculo teórico. La reacción entre el carburo de calcio y el agua puede esquematizarse de acuerdo a la siguiente ecuación:



Quiere decir, que para la producción de un mol-gramo de acetileno se requieren 36 gramos de agua.

La presión desarrollada por 100 y 800 mgr. de agua — cantidades extremas elegidas— puede calcularse de acuerdo a la fórmula de Van der Waals:

$$p = n \frac{RT}{V-nb} - \frac{na}{V^2}$$

donde: p presión en atmósferas; n número de moles; R constante de los gases (en litros—atm. grado mol.); T la temperatura absoluta en °K; V volumen del recipiente en litros; a y b , constantes de Van der Waals.

En nuestro caso: el volumen V del aparato es de 0,415 litros y la temperatura T de referencia elegida es la de 20°C (293,1 °K). Para 100 mgr. de agua el valor de n es de $2,77 \cdot 10^{-3}$ y para 800 mgr. n es $22,16 \cdot 10^{-3}$.

Los valores de a y b , función de las fuerzas de atracción molecular y del volumen de las moléculas, respectivamente, son de 4,39 y 0,05136 para el sistema de unidades 1.atm. mol. grad. K (19). Sustituyendo valores:

Para 100 mgr. de agua presente:

$$p = 2,77 \cdot 10^{-3} \frac{8.205 \cdot 10^{-2} \cdot 293,1}{0,415 - 2,77 \cdot 10^{-3} \cdot 5,36 \cdot 10^{-2}} - \frac{2,77 \cdot 10^{-3} \cdot 4,39}{(0,415)^2} = 0,161 \text{ atm.} = 2,39 \text{ lb/pulg}^2$$

Para 800 mgr. de agua presente:

$$p = 22,16 \cdot 10^{-3} \frac{8.205 \cdot 10^{-2} \cdot 293,1}{0,415 - 22,16 \cdot 10^{-3} \cdot 5,36 \cdot 10^{-2}} - \frac{22,16 \cdot 10^{-3} \cdot 4,39}{(0,415)^2} = 1,274 \text{ atm}$$

Refiriendo este último dato a la presión desarrollada cada 100 mgr. será:

$$\frac{1,274}{8} = 0,1593 \text{ atm.} = \underline{2,33 \text{ lb/pulg.}^2}$$

En resumen: el cálculo teórico indica que en las condiciones experimentales elegidas la presión desarrollada por cada 100 mgr. de agua presente, transformada en acetileno, varía de 2,36 lb/pulg² a 2,33 lb/pulg² para 100 y 800 mgr., respectivamente, de agua total.

Relación experimental: en un dedal de hojalata de aproximadamente 1 cm. de diámetro y 1 cc. de capacidad se pesaron cantidades crecientes de agua, entre 40 y 650 mgr. y se midió, en el aparato metálico descrito, la presión del gas acetileno formado por la reacción con carburo de calcio. Como puede observarse, a través del examen de la Tabla N° 1, la presión desarrollada, expresada en libras corregidas a 20°C, mantiene una satisfactoria aproximación con la calculada teóricamente y varía entre los límites de 2,37 y 2,18 libras por cada 100 mgr. de agua presente.

Las pequeñas desviaciones con respecto a las presiones teóricas calculadas —2,36 a 2,33 lb/pulg. cuadr. entre 100 y 800 mgr.— se deben probablemente a errores emergentes de las lecturas manométricas.

TABLA N^o 1. — PRESION DESARROLLADA POR LA REACCION DE AGUA CON CARBURO DE CALCIO (Volumen del aparato 415 ml.)

Agua Presente	Presión Corregida	Presión c/100 mgr.
mgr.	Ib/pulg.2 a 20°C	Ib/pulg.2
38,3	0,91	2,37
84.0	1,98	2,36
111,2	2,55	2,30
179,5	4,20	2,34
244	5,45	2,23
403	8,85	2,18
593	13,00	2,19
647	14,20	2,19

A los fines de los cálculos posteriores se tomará como media una presión de 2,25 libras por pulgada cuadrada a 20°C por cada 100 mgr. de agua presente.

Método empleado:

Después de numerosos tanteos hemos adoptado el siguiente procedimiento:

Preparación del Carburo de Calcio: Se muele en mortero metálico trozos de carburo de calcio industrial, fresco, y se hace pasar por tamiz de 1 mm de abertura de mallas. Se guarda en frasco herméticamente cerrado.

Pesaje de la muestra: Para el aparato utilizado se pesan en balanza de 20 mgr, de sensibilidad, 4 gr. de tierra previamente desmenuzada con los dedos. Cuando la muestra corresponde a tierra de textura fina y muy húmeda se pesan sólo 2 gr. (lo que se tiene en cuenta posteriormente en los cálculos). En este último caso se debe tener la precaución de disgregar la tierra ligeramente, sin amasarla.

Preparación de la muestra: Cuando ésta es arenosa y no está muy húmeda se la introduce directamente en el aparato, previamente limpiado de los restos de la reacción anterior. Para ello se emplea un escobillón y trapo seco. Cuando es de textura franca a arcillosa y/o está muy húmeda se pasa la muestra pesada a un mortero y se le agrega una cucharadita (5 cc. aproximada)

mente) de cuarzo molido y tamizado por tamiz de 1 mm. Se muele el conjunto y luego se pasa al aparato. Se amontona la muestra en un rincón del fondo.

En esta forma se obvia el inconveniente de reacción lenta y a veces incompleta que observamos en los casos de suelos arcillosos y/o muy húmedos y se llega rápidamente al punto final (Tabla N° 2).

TABLA N° 2 — INFLUENCIA DE LA DISGREGACION PREVIA CON CUARZO MOLIDO SOBRE EL TIEMPO DE REACCION

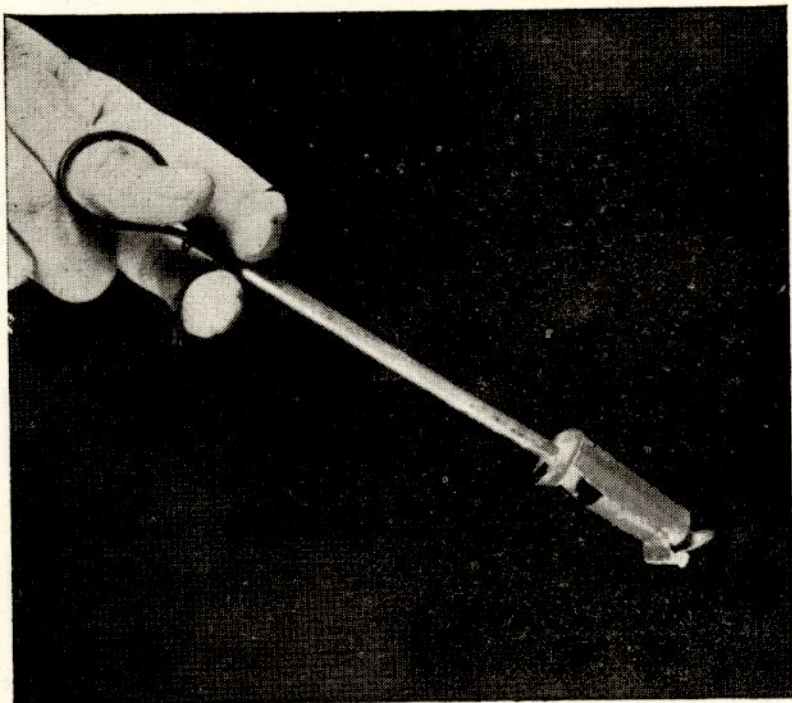
Muestra (Sobre 2gr.)	Presión final lb/pulg.2	Tiempo para alcanzar presión final minutos	
		Sin cuarzo	Con cuarzo
Arenosa	12,5	15	5
Franco arenosa	10,5	50	4
Franca	12,0	75	6
Arcillosa	12,8	120	8

Introducción del carburo de calcio: Se deposita una cantidad en suficiente exceso del carburo de calcio molido (aproximadamente 6 gr) en el fondo del recipiente, acumulándolo en un rincón y cuidando de que no entre en contacto con la muestra de tierra colocada diametralmente opuesta.

Con el objeto de facilitar la introducción del carburo de calcio hemos confeccionado un cargador dosificador, que se ilustra en la Fot. N° 3, y que consiste en un receptáculo de hojalata provisto de una ventana lateral por donde se carga el carburo de calcio y un fondo móvil con movimiento a bisagra. El receptáculo está soldado a un mango de 15 cm. de longitud, hueco, que se hace de un caño de cobre de 3 mm de diámetro, por dentro del cual se desplaza el pistón que empuja el fondo móvil, provisto de un resorte que asegura el cierre, y que se maneja desde el extremo superior.

Cierre y agitado: una vez dentro del aparato la muestra de tierra y del carburo de calcio, se coloca la tapa, se ajustan los tornillos mariposa y se cierra la llave Hoffman del tubo de desprendimiento. Durante estas operaciones hay que tener cuidado de que no entre en contacto la tierra con el carburo.

Una vez cerrado herméticamente el aparato se lo agita sacudiéndolo con desplazamientos laterales enérgicos. Intermitente-



Fot. N° 3 — Cargador - dosificador de Carburo de Calcio

mente se observa el manómetro y se da por terminada la reacción cuando dos observaciones consecutivas den la misma lectura.

Corrección de la lectura: después de terminada la reacción se aguarda unos minutos para que la temperatura interna se ponga en equilibrio con el ambiente.

Luego se efectúan las siguientes correcciones: 1° *De manómetro:* se emplea al efecto la tabla confeccionada para el instrumento usado, interpolando si es necesario. (Tabla N° 3). 2° *De temperatura:* la lectura manométrica corregida se refiere a 20°C multiplicándola por el factor correspondiente, que surge de la fórmula:

$$f = \frac{293.1}{273.1 + t^{\circ}\text{C}}$$

En la Tabla N° 4 se consignan esos factores, calculados para rangos de temperatura, de modo que el error máximo a come-

ter sea del 0,5 %, aproximación suficiente. De la mencionada tabla surge que entre 18,5 y 24°C es innecesaria la corrección, dentro del error admisible.

Relación presión: humedad de la muestra

Con la presión corregida a 20°C, expresada en libras por pulgada cuadrada, se calcula el contenido de agua de la muestra, expresada en por ciento sobre tierra seca, con las siguientes fórmulas:

Para 4 gr. de tierra húmeda:

$$\text{Humedad } \% : \frac{\text{libras/pulg.}^2 \cdot 44,5 \cdot 100}{4.000 - (\text{libras/pulg.}^2 \cdot 44,5)}$$

Para 2 gr. de tierra húmeda:

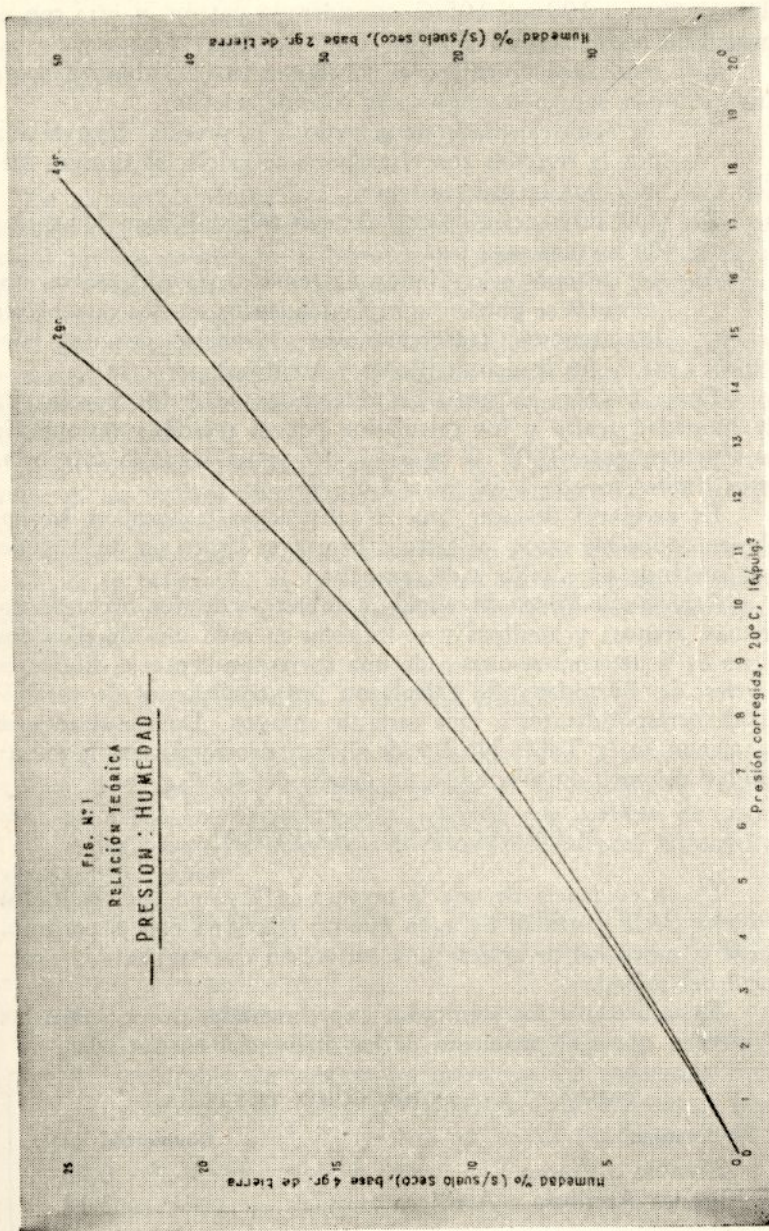
$$\text{Humedad } \% : \frac{\text{libras/pulg.}^2 \cdot 44,5 \cdot 100}{2.000 - (\text{libras/pulg.}^2 \cdot 44,5)}$$

Estas fórmulas están basadas en la relación experimental de 2,25 lb/pulg.² de presión por cada 100 miligramos de agua de donde surge el factor 44,5, que corresponde a la cantidad de mgr. de agua capaces de desarrollar la presión de una libra por pulgada cuadrada. En caso de emplear otro aparato, de distinta capacidad, sería otro el factor a usar. Con los datos obtenidos, Tabla N° 5, se construyeron las curvas de la Fig. N° 1, que permiten en forma gráfica calcular el agua presente, expresada en 100 partes de tierra seca, a partir de la lectura de la presión desarrollada en la reacción con el carburo.

En estos cálculos y representación gráfica se supone que toda el agua presente reacciona con el carburo de calcio. Como se verá esta suposición no es correcta en el caso de las tierras, lo que hace necesario introducir un incremento que significa un desplazamiento de las curvas.

PARTE EXPERIMENTAL

En muestras de diversa textura y contenido de agua, extraídas del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias Departamento de Luján, Mendoza, se hicieron dos series de determinaciones paralelas de humedad: una con el método de pér



dida de peso a 100 — 105°C, considerado patrón, y otra con el procedimiento descripto.

Los resultados obtenidos se consignan en la Tabla N° 6, de cuyo examen surgen las siguientes consideraciones:

- 1) El agua calculada de acuerdo a la presión desarrollada por la reacción con el carburo de calcio, es siempre menor que la real existente.
- 2) Las diferencias observadas son mayores para los suelos de textura más fina.
- 3) De acuerdo a los límites extremos de las diferencias observadas se pueden agrupar los suelos en dos categorías: los arenosos, franco-arenosos y francos, por una parte, y los franco-arcillosos y arcillosos por otra.

En la primera categoría las diferencias entre los porcentajes de humedad reales y los calculados por el método presiométrico fluctúan entre 0,08 % y 1,61 %; en la segunda categoría, estos límites son de 1,62 % a 2,65 %.

Es necesario destacar que la calificación textural se ha hecho en todos los casos "al tacto", lo que es lógico en un método que pretende ser rápido y de campaña.

Reproducibilidad: Se eligieron muestras de dos texturas extremas, arenosa y arcillosa y se hicieron en cada una de ellas dos series de 6 determinaciones cada una correspondientes a diferentes niveles de humedad. Se calcularon los coeficientes de variabilidad correspondientes a cada serie de ensayos. Los resultados se consignan en la Tabla N° 7 y de ellos se desprende que la variabilidad del método propuesto no excede del 0,9 %.

CORRECCION TEXTURAL

De la evidencia de que la textura influye en los resultados a través de la cantidad de agua que no reacciona con el carburo, surge la necesidad de aplicar una corrección que aumente la exactitud del método.

De acuerdo a los resultados experimentales proponemos las siguientes, que son promedio de las diferencias encontradas.

TABLA N° 9 — CORRECCION TEXTURAL

Textura	Corrección (1)
Arenosa a Franca	+ 0,75
Franca Arcillosa a Arcillosa	+ 2,11

(1) Valor a agregar al porcentaje de humedad encontrado según cálculo gráfico (Fig. N° 1).

Aplicando estas correcciones hemos recalculado los valores experimentales obtenidos, los que se consignan en la Tabla N° 8. Los errores absolutos así cometidos varían entre los límites extremos de $-0,94 + 0,67 \%$.

DISCUSION

En el procedimiento que se propone en este trabajo hay dos puntos esenciales que deben ser destacados, pues sirven para superar los inconvenientes citados en la discusión de la bibliografía y llevan al método a un grado de exactitud y reproducibilidad adecuada a sus fines.

El primero de ellos es la disgregación con cuarzo de las muestras muy húmedas y/o de textura muy fina. Este detalle es fundamental para asegurar una reacción completa dentro de un tiempo prudencial.

El segundo es el reconocimiento de la influencia de la textura en los valores obtenidos y el establecimiento de las correcciones correspondientes.

Adicionalmente, y aunque obvia, no es de menor importancia, por su influencia en la exactitud de los resultados, la indicación de la necesidad de la corrección previa de los manómetros utilizados.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se describe un método para la determinación rápida de la humedad del suelo basado en la medida de la presión del acetileno formado por la reacción con carburo de calcio.

A los procedimientos ya conocidos se introducen las siguientes modificaciones:

- 1° — Disgregación previa de la muestra, ya pesada, con cuarzo molido, en los casos de tierras muy húmedas y/o arcillosas.
- 2° — Corrección de la lectura manométrica (control con manómetro de mercurio) y normalización a 20°C .
- 3° — Empleo de valores de corrección que dependen de la textura organoléptica: para suelos de arenosos a francos $+ 0,75 \%$ y para suelos de franco arcilloso a arcillosos $+ 2,11 \%$.

En esta forma se consigue, por una parte, que la reacción sea más rápida y completa y, por otra, mejorar la exactitud y reproducibilidad del método.

SUMMARY

A method for the rapid determination of soil moisture, based in the calcium carbide-water reaction, and a simple piezometric apparatus is described.

The following main modifications to former procedures are introduced:

- 1° — When the soil is very moist and/or of a clayish nature, the weighed sample is mixed in a mortar with ground quartz before carrying on with the moisture determination.
- 2° — The Bourdon gauge used is periodically checked against a mercurial manometer. The pressure values are corrected at 20°C.
- 3° — To the water actually determined, expressed as moisture percentage in dry soil basis, the following correction values are added: 0,75 % for sandy up to loamy soils and 2,11 % for soils with heavier textures. The textures are organoleptically appreciated.

With the procedure here proposed the reaction goes faster and more complete and the texture influence upon the amount of non reactionable water is taken into account. So the method reaches a satisfactory degree of accuracy and reproductibility.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methode zur schnellen Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit, die auf der Druckmessung des durch die Reaktion mit Calciumkarbid gebildeten Acetylen beruht, beschrieben.

In die bereits bekannten Verfahren werden folgende Änderungen eingeführt:

- 1 — Vorheriges Zermahlen des bereits abgewogenen Musters mit gemahlenem Quarz bei sehr feuchten und/oder Tonerden.
- 2 — Berichtigung der manometrischen Angaben (Kontrolle mittels Quecksilbermanometer). Die Druckwerte sind auf 20°C bezogen.
- 3 — Anwendung von Korrektionsfaktoren die von der granulometrischen Zusammensetzung (organoleptisch bestimmt) abhängig sind: für Sand — bis Lehmböden + 0,75 % und für Lehm — bis Tonböden + 2,11 %.

Auf diese Weise erreicht man, dass, einerseits, die Reaktion schneller und vollständiger verläuft und, andererseits, die Genauigkeit grösser wird und Methode wiederholt werden kann.

L I T E R A T U R A

- (1) BAVER, L. L. — 1956. Soil Physics. Third ed. John Wiley & Sons, New York.
- (2) BOUYOUCOS, G. AND MICK, A. H. — 1946. An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions. Michig. Agr. Exp. Sta. Tec. Bull. 172.
- (3) BOUYOUCOS, G. L. — 1949. Nylon electrical resistance unit for continuous measurement of soil moisture in the field. Soil Sci. 67: 319-330.
- (4) COLMAN, E. A. AND HENDRIX, T. M. — 1949. The fiberglass electrical soil moisture instrument. Soil Sci. 67: 425-438.
- (5) LIVINGSTON, B. E. AND KOKETSU, R. — 1920. The water supplying power of the soil as related to the wilting of plants. Soil Sc. 9: 469-485.
- (6) RICHARDS, L. A. — 1942. Soil moisture tensiometer materials and construction. Soil Sci. 53: 241-247.
- (7) KEMPER, W. D. AND AMEMIYA, M. — 1958. Utilization of porous ceramics as measure of hydraulic stress in soils. Soil Sci. 55: 117-124.
- (8) BOUYOUCOS, G. L. — 1929. Soil Sci. 32: 173-178 citado por Alarcón Tames C. 1945. Métodos físicos y químicos de laboratorio para el estudio del suelo y tierras de cultivo. Madrid.
- (9) EMMERT, E. M. — 1937. Soil Sci. 43: 31-36. Cit. por Alarcón Tames C. (Op. cit.).
- (10) SHAW, B. AND BAVER, L. D. 1939. An electrothermal method for following moisture changes of soil in situ. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 10-83.
- (11) FLETCHER, J. F. — 1939. A dielectric method for determining soil moisture. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 84-88.
- (12) STOKY, L. H. AND CAHOON, G. A. — 1957. A field calibrated portable neutron rate meter for measuring soil moisture in citrus orchards. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 571-575.
- (13) BERG, L. G. Y SOTNIKOV, N. W. — 1958. Skorostnoe opredeleniye vlaynosti pochv gidrinm metodom (Determinación rápida de la humedad del suelo por el método del hidruro) Pchpovedinie N° 5: 78-80.
- (14) SIBIRSKY, W. — 1935. Die Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit nach der Carbidmethode. Third Int. Cong. Soil Sci. Vol. I: 10-13. Oxford.
- (15) SIBIRSKY W. — 1936. Método rápido para determinar la humedad de los suelos. II Cong. Int. de Ing. Rural, pp 37-42. Madrid.
- (16) SMOLIK, LADISLAV. — 1941. Nuevo aparato para la determinación volumétrica de los carbonatos y de la humedad del suelo. Agronomía. Año XXXII, N° 150. pp. 183-185, trad. de A. Arena. Buenos Aires.
- (17) LEGUIZAMON, ALFREDO M. — 1958. Comunicación personal.
- (18) NAISE, HOWARD R. — 1955. How to measure the moisture in the soil. Water. Yearb. of Agr. 1955, pp. 362-371. U.S.D.A.
- (19) GETMAN, F. H. Y DANIELS, F. — 1950. Tratado moderno de Fisicoquímica Trad. de la 2da. edti. Inglesa. Buenos Aires.

TABLA N° 3 — CORRECCION DEL MANOMETRO USADO

Lectura del manómetro libras/pulgada ²	Corrección a agregar Libras/pulgadas ²
0,2	0,25
0,5	0,30
1,0	0,35
1,5	0,37
2,0	0,40
2,5	0,45
3,0	0,50
3,5	0,45
3,75	0,42
4,0	0,48
4,2	0,50
4,5	0,52
5,0	0,55
5,2	0,60
5,5	0,65
6,0	0,75
6,5	0,67
7,0	0,60
7,5	0,65
8,0	0,60
8,5	0,65
9,0	0,65
9,5	0,63
10,0	0,70
10,5	0,75
11,0	0,80
11,5	0,75
12,0	0,70
13,0	0,70
13,5	0,75
14,0	0,78
14,25	0,75
14,5	0,65

TABLA N° 4. — CORRECCION DE TEMPERATURA

(Presión a 20°C = Presión a t°C . f)

t°C	f.
7 —10	1.04
10 —12,8	1.03
12,8—15,7	1.02
15,7—18,5	1.01
18,5—21	1.00
21 —24	0.99
24 —27,5	0.98
27,5—30,5	0.97
30,5—33,5	0.96

TABLA N° 5. — RELACION PRESION; HUMEDAD

(Calculadas suponiendo reacción total)

Libras/pulg.² a 20°C	Humedad % (sobre suelo seco)	
	Base 4 gr. (1)	Base 2 gr. (2)
1	1.12	2.27
2	2.27	4.65
3	3.45	7.15
4	4.65	9.76
5	5.89	12.51
6	7.15	15.40
7	8.44	18.44
8	9.77	21.65
9	11.12	25.04
10	12.51	28.62
11	13.94	32.40
12	15.40	36.42
13	16.90	40.69
14	18.44	45.31
15	20.02	50.09

(1) Calculadas, para este aparato, según: Humedad % =

$$\frac{1b/p.c \ 44,5 \cdot 100}{4.000 - (1b/p \ 44,5)}$$

(2) Calculadas, para este aparato, según: Humedad % =

$$\frac{1b/p.c \ 44,5 \cdot 100}{2.000 - (1b/p \ 44,5)}$$

TABLA N: 6 . INFLUENCIA DE LA TEXTURA DEL SUELO EN LA HUMEDAD DETERMINADA POR PRESIOMETRIA DE ACETILENO

Textura	Humedad real (1) %	Humedad calculada (2) %	Diferencia
Arenosa	0.95	0.35	0.60
	5.20	4.45	0.75
	6.90	5.80	1.10
	9.30	8.60	0.70
	10.70	9.50	1.20
	12.50	11.70	0.80
Franco-Arenosa	1.62	0.97	0.65
	2.58	2.27	0.31
	3.41	2.60	0.81
	5.27	4.36	0.91
	5.38	4.45	0.93
	6.70	5.50	1.20
	7.54	6.27	1.27
	7.37	6.35	1.02
	8.30	8.10	0.20
	8.33	8.13	0.20
	15.25	14.08	1.17
Franca	9.94	9.60	0.34
	11.73	11.65	0.08
	11.91	11.75	0.19
	12.20	11.88	0.32
	17.38	16.15	1.23
	20.24	18.55	1.28
	18.70	18.55	0.15
	21.04	19.61	0.43
Franco-Arcillosa y Arcillosa	23.00	21.39	1.61
	2.47	0.85	1.62
	3.65	1.78	1.87
	5.12	2.70	2.42
	5.69	3.52	2.17
	6.48	4.58	1.90
	7.04	5.20	1.84
	10.60	8.10	2.50
	11.70	10.25	1.45
	14.54	11.89	2.65
	15.72	13.35	2.37
	18.79	16.34	2.45
	21.40	19.25	2.15
	24.67	22.72	1.95
	27.46	25.14	2.32
	31.10	29.10	2.00

(1) Pérdida de peso a 105°C, referida a Humedad %

(2) Presión desarrollada referida a agua presente y calculada como Humedad %.

TABLA Nº 7 — REPRODUCIBILIDAD DEL METODO — (Resultados calculados gráficamente).

Textura	Ensayo Nº	Humedad determinada %	Media	Desviación Normal	Coefficiente de variabilidad	Desviación normal de la media	Coefficiente de variabilidad de la media
Arenosa Sobre 4 gr. (Fig. Nº 1) + corrección 0.75	1	5.40					
	2	5.55					
	3	5.45	5.56	± 0.22	3.9 %	± 0.09	1.6 %
	4	5.65					
	5	5.35					
	6	5.95					
Ardillosa Sobre 4 gr. + corrección 2,11	1	12.30					
	2	12.65					
	3	12.10	12.25	± 0.30	2.4 %	± 0.12	0.9 %
	4	12.00					
	5	12.00					
	6	12.65					
Sobre 2 gr. + corrección 2,11	1	30.91					
	2	32.51					
	3	31.11	31.51	± 1.42	4,5 %	± 0,58	1,84 %
	4	33.91					
	5	29.91					
	6	30.71					

TABLA N° 8 — ERROR DEL METODO

Humedad calculada %	Humedad real %	Error absoluto
Arenosos (1)		
1.10	0.95	+ 0.15
5.20	5.20	— 0.00
6.55	6.90	— 0.35
9.35	9.80	+ 0.05
10.25	10.70	— 0.45
12.45	12.50	— 0.05
Franco Arenosos (1)		
1.72	1.62	+ 0.10
3.02	2.58	+ 0.44
3.35	3.41	— 0.06
5.11	5.27	— 0.16
5.20	5.38	— 0.18
6.25	6.70	— 0.45
7.10	7.37	— 0.27
7.02	7.54	— 0.52
8.85	8.30	+ 0.55
8.88	8.33	+ 0.41
14.83	15.25	— 0.42
Francos (1)		
10.35	9.94	+ 0.41
12.40	11.73	+ 0.67
12.50	11.94	+ 0.56
12.63	12.20	+ 0.43
16.90	17.38	— 0.48
19.30	20.24	— 0.94
19.30	18.70	+ 0.60
20.36	21.04	— 0.68
22.14	23.00	— 0.86
Franco-Arcillosos (2) y Arcillosos		
2.96	2.47	+ 0.49
3.89	3.65	+ 0.24
4.81	5.12	— 0.31
5.63	5.69	— 0.06
6.69	6.48	— 0.21
7.31	7.04	+ 0.27
10.21	10.60	— 0.39
12.36	11.70	+ 0.66
14.00	14.54	— 0.54
15.46	15.72	— 0.26
18.45	18.79	— 0.34
21.36	21.40	— 0.04
24.83	24.67	+ 0.16
27.25	27.46	— 0.21
31.21	31.10	+ 0.11

(1) Calculado empleando la corrección + 0.75%

(2) Calculado empleando la corrección + 2.11%