

# ESTUDIOS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA

## EN PERFILES DE SUELOS PLATENSES

### TECNICAS TENSIOMETRICAS (SISTEMA RICHARDS) <sup>1</sup>

Por ANTONIO F. RIZZO <sup>2</sup>

---

#### I. INTRODUCCION

##### A. OBJETO DEL TRABAJO

Dos objetivos fundamentales han constituido el móvil para la ejecución del presente ensayo. El principal fue el de establecer en forma precisa la marcha de la humedad en suelos locales bajo cultivo cerealero, en función de la temperatura del aire y de su humedad relativa en porciento y los aportes hídricos que, por lluvia natural, recibió ese cultivo. El segundo objetivo fue el de someter a prueba de eficiencia, por primera vez en nuestro medio, un equipo moderno para el registro de la humedad en el suelo en forma continuada, constituido por dos tensiómetros de procedencia americana.

Ambos objetivos creemos se han cumplido, a través de mediciones y observaciones realizadas en forma continuada durante un año calendario meteorológico y agrícola.

Durante dicho lapso se han registrado permanentemente las os-

<sup>1</sup> Trabajo realizado en la Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, La Plata, bajo la dirección del profesor titular, ingeniero agrónomo Rubén H. Molfino. (Publicación n° 6, N. S.).

<sup>2</sup> Ingeniero agrónomo, Jefe de Laboratorio (contratado).

cilaciones de la humedad del suelo por medio de las lecturas directas que arrojaban los instrumentos instalados en el cultivo y luego referidos a valores de pF; cronología de la lluvia caída en milímetros; de la temperatura del aire en C° y de su humedad relativa en por ciento. Todos estos datos se interpretan desde el punto de vista eco-edafológico, demostrando las necesidades hídricas del cultivo en sus fases críticas y la influencia del mismo sobre el gradiente hídrico del suelo.

Se complementó la labor con determinaciones edafológicas en laboratorio a fin de establecer las principales constantes hídricas del suelo bajo estudio y se siguió la rutina edafológica para la determinación de las fracciones constitutivas del mismo, mediante la ejecución de análisis físico-mecánicos.

Resulta obvio destacar la importancia de este tipo de ensayos, pues aunque su ejecución se llevó a cabo en zona húmeda, donde la conservación de la humedad del suelo no reviste caracteres de importancia tal como en zonas sub-húmedas y/o áridas, la técnica seguida será la misma para su aplicación en zonas de regadío, donde los aportes hídricos naturales deben ser suplidos artificialmente por el hombre.

Su aplicación, en dichas condiciones, significará económicamente un valioso aporte, pues se evitará el uso excesivo e indiscriminado del agua de riego, determinando con precisión el uso adecuado de las cuotas asignadas o economía en los costes de extracción de aguas subterráneas con fines agrícolas.

Se tiende, mediante este trabajo, a difundir una técnica moderna para el conocimiento rápido y certero de las necesidades de agua del suelo sometido a cultivo, en el preciso instante que las plantas la requieren en forma perentoria, sin correr riesgos de malograrse los cultivos por demoras en el suministro del riego adecuado.

Podemos afirmar que la técnica no es definitiva, ya que es susceptible de mejoras, que esperamos lograr en un nuevo ensayo ya iniciado, pero de todas maneras su aplicación en medios rurales debe ser tenida en cuenta por los técnicos o agricultores que se encuentran abocados al problema que significa determinar el inicio y la finalización de los riegos en suelos bajo cultivo, todo ello en forma económica y eficaz para el desarrollo óptimo del vegetal.

## B. COLABORACIÓN RECIBIDA

Al profesor titular de la Cátedra de Edafología, Ing. Agrón. Rubén H. Molfino, debo agradecer la eficaz dirección que ejerció desde el comienzo del ensayo y que mantuvo el interés del autor durante todo el ciclo de trabajo. Reciba él mi más profundo agradecimiento.

De significativa importancia resultó la colaboración recibida del Observatorio Astronómico de La Plata (Sección Meteorología) dependiente de la Universidad Nacional de La Plata, ya que los registros meteorológicos que se consignan en el presente ensayo fueron suministrados gentilmente por el Servicio a cargo del señor Massaccesi.

El personal no docente de la Cátedra de Edafología se hizo acreedor a mi reconocimiento por la colaboración que prestó durante la ejecución del trabajo, tomas de muestras, etc.

A la Cátedra de Cerealicultura, que puso a disposición sus instalaciones del campo experimental y que colaboró en el suministro de datos relacionados con los cultivos donde se instaló el instrumental en ensayo, debo expresar asimismo mi reconocimiento.

## II. REVISTA DE LA BIBLIOGRAFIA

Sumamente escasa es la bibliografía en idioma castellano que existe sobre el tema. La casi totalidad de las fuentes informativas consultadas por el autor lo fueron en idioma inglés, ya que el desarrollo de la temática que mueve este ensayo se ha llevado a cabo íntegramente casi en EE. UU. y países extranjeros de habla inglesa.

El principal autor que ha desarrollado con suficiente amplitud el concepto de "succión del suelo" y su aplicación al instrumental ensayado, es Richards, L. A., que en EE. UU. de Norteamérica ha efectuado numerosas publicaciones, las que se encuentran en la colección de la revista "Soil Science", en el "Yearbook", que edita el Departamento de Agricultura de los EE. UU. y libros especializados dedicados íntegramente a la humedad del suelo.

Otro autor destacado y que ha condensado en un pequeño volumen todos los conceptos fundamentales que rigen las relaciones

entre el suelo y el agua, es Marshall, T. J. (1959), cuyo trabajo editado por el Commonwealth Bureau of Soils Harpenden de Gran Bretaña, fue consultado y del cual se extrajeron cuadros sinpóticos que sintetizan estos conceptos y se reproducen en este ensayo.

Resultaron de capital importancia para el autor las instrucciones vertidas por Skaling, P. E., en el Catálogo N° 60 de la "Soilmoisture Equipment Co.", de California (EE. UU.) ya que allí se condensa la técnica precisa relativa al manejo de los tensiómetros en particular, principios físicos sobre su funcionamiento, aplicaciones prácticas, etc.

De singular utilidad para la fijación de los conceptos modernos sobre la física del agua en el suelo, es la obra de Tschapek, M. W. (1959) totalmente en idioma castellano, donde se reseña en forma ordenada y científica todo lo relativo al agua en sus diferentes estados naturales, sus relaciones con el suelo, análisis de los principios físicos que rigen dichas relaciones, etc. Resulta de suma importancia esta obra para el iniciado en física del suelo.

En 1956 se realizaron en Uruguay experiencias similares a la presente con un tensiómetro a mercurio por el Ing. Agrón. Alaggia, H. A., que fueron publicadas en la Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos de ese país, pero no se logró una interpretación satisfactoria de los datos obtenidos y se presenta a los tensiómetros como aparatos de muy limitada utilidad práctica, circunstancia que se cree desvirtuar en este ensayo.

### III. INSTRUMENTAL UTILIZADO

#### A. DESCRIPCIÓN DE LOS TENSÍOMETROS

Los tensiómetros utilizados fueron provistos por la "Soilmoisture Equipment Co.", de California (EE. UU. y constituyen una versión práctica y moderna de los antiguos tensiómetros mencionados por Richards, L. A. (1941).

Se utilizaron dos tipos de tensiómetros, los que difieren entre sí solamente desde el punto constructivo de sus instrumentos medidores de vacío. Uno utiliza como medidor de vacío un vacuómetro tipo "Bourdon", y el otro un vacuómetro a columna de mercurio.

Funcionalmente el resto del aparato no difiere absolutamente entre sí, por lo que la descripción que sigue es válida para ambos.

Esencialmente se trata de un tubo metálico de unos 350 mm de largo y 12 mm de diámetro, en cuya extremidad inferior abierta se adapta, por medio de una conexión de caucho, un vaso o capuchón de cerámica porosa. En el extremo superior del tubo metálico se adapta, por medio de otro conector de caucho, un tubo de plástico con un tapón de goma que ajusta herméticamente.

Sobre el tercio superior del tubo de metal se ha practicado un orificio roscado, donde se adapta el vacuómetro que se desee.

Todo el conjunto se encuentra alojado en otro tubo metálico de mayor diámetro que ofrece protección al conjunto y del cual sobresalen, únicamente, el capuchón de cerámica en su parte inferior, el tubo de plástico en la superior y el orificio roscado en el lateral del tubo protector, donde se insertará el vacuómetro elegido.

*a) Tensiómetro con vacuómetro a reloj (modelo LM).* — Se trata de un tensiómetro como el ya descrito, al que se le ha adaptado un vacuómetro (medidor de vacío) tipo "Bourdon", roscándolo en el orificio lateral del tubo metálico.

La característica principal de este vacuómetro reside en que su escala circular se encuentra graduada de 0 a 100, subdividida de 10 en 10, subdivisiones que comprenden 5 unidades menores. Cada una de estas unidades menores representa 2 centibares (0,02 bar) y el tope de la escala (100) representa 1 bar (ver fig. 1).

*b) Tensiómetro con vacuómetro a columna de mercurio (modelo LG).* — En este caso al tensiómetro ya conocido se le adapta un medidor de vacío a columna de mercurio, que consiste en un largo tubo en forma de U invertida, de unos 3 mm de diámetro, una de cuyas ramas es metálica y va desde el orificio lateral del cuerpo del tensiómetro hasta la iniciación de la rama descendente, donde se conecta por medio de un tubo de caucho a uno de vidrio que constituye el medidor propiamente dicho, ya que su extremo inferior abierto penetra en una cazoleta de vidrio que contiene mercurio.

El ascenso o descenso del menisco superior de la columna de mercurio que se forma en el interior del tubo de vidrio, al funcionar el aparato, mide la fuerza de "succión" del suelo, de acuerdo al contenido de humedad del mismo. Adosada al tubo de vidrio de la rama descendente de la U invertida se encuentra una escala

metálica que abarca casi la longitud de dicho tubo. Esta escala se encuentra graduada desde 0 en la parte inferior hasta 850 en su tope superior. Está a su vez subdividida de 10 en 10, subdivisiones que comprenden 5 unidades menores cada una. Estas unidades menores, individualmente representan cada una 2 milibares (0,002 bar) y el tope de la escala 850 milibares (0,850 bar).

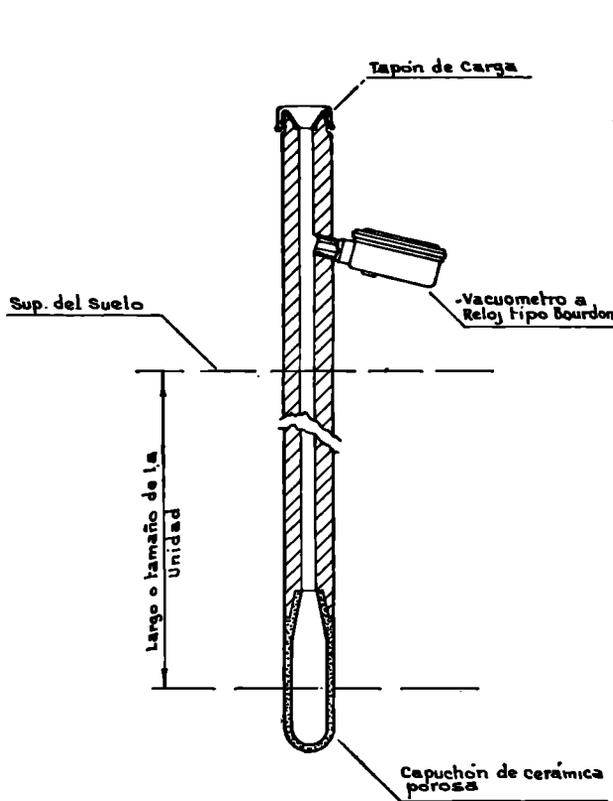


Fig. 1. — Tensiómetro a reloj Bourdon

Todo el conjunto, constituido por los tubos, metálico, de vidrio, cazoleta de mercurio y escala metálica, se encuentra montado sobre un largo soporte de aluminio de sección en U que se fija con tornillos al cuerpo principal del tensiómetro, a fin de darle rigidez al conjunto (ver fig. 2).

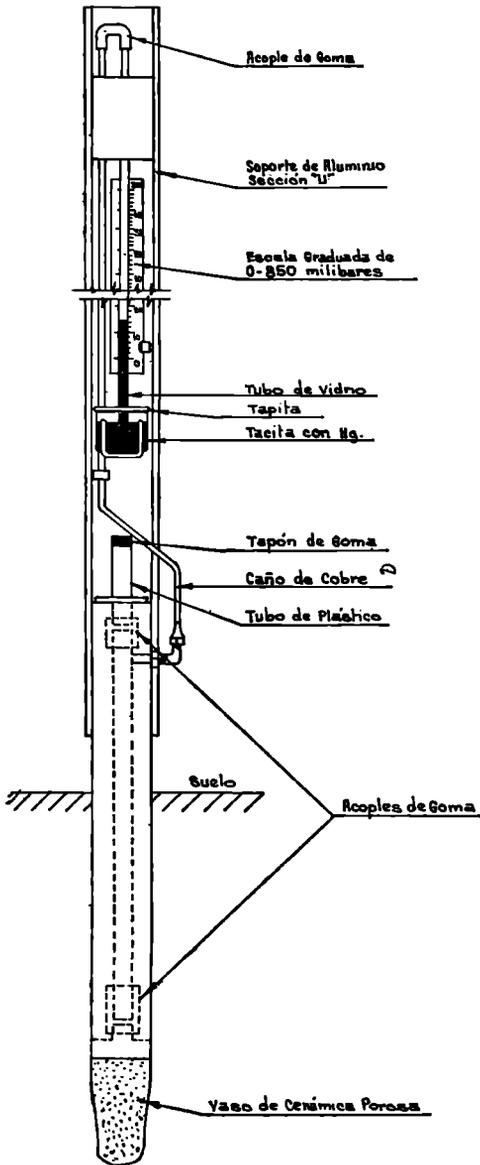


Figura 2. — Tensiómetro a Mercurio

## B. PRINCIPIO FÍSICO DEL FUNCIONAMIENTO

Instalados los tensiómetros en el suelo, cuyas oscilaciones en el contenido de humedad se desean medir, y determinada la profundidad del capuchón de cerámica, se procede a la carga del sistema mediante la inyección de agua, libre de aire en disolución (hervida y enfriada), por el tubo de plástico hasta alcanzar el llenado completo del sistema. De inmediato se procede a colocar el tapón de goma que cierra herméticamente el conjunto. En ese instante el vacuómetro de los tensiómetros debe marcar "0". La presencia de aire en el sistema puede inducir a lecturas erróneas posteriormente; se evitará su presencia recargando y sacudiendo el aparato cuantas veces sea necesario antes de su instalación.

Si el suelo donde fueron instalados se encuentra seco, el agua comienza a fluir por entre los poros del capuchón de cerámica que se encuentra en íntimo contacto con las partículas de suelo y éstas se rodean de una fina película de agua.

Cuando la pared del capuchón de cerámica se encuentra seca y los poros del capuchón se llenan de agua (desde el interior hacia afuera), la tensión superficial del agua en la interfase agua-aire en cada uno de los poros cierra o sella los mismos. El agua puede fluir desde el interior del capuchón de cerámica por entre los poros, pero la película de agua formada en la pared externa actúa como un fino diafragma y no deja ingresar aire al interior del tensiómetro, en el período completo de trabajo del aparato.

La vista aumentada de la figura 3 muestra la película de agua que rodea a cada una de las partículas de suelo, la que es retenida por una gran fuerza molecular (agua proveniente del capuchón de cerámica del tensiómetro).

Cuando el suelo está muy seco, esta película de agua es sumamente delgada y está más fuertemente retenida. La acción de la tensión producida por esta película de agua determina que ésta sea "chupada" de entre el capuchón de cerámica poroso. Esta misma gran fuerza molecular que se desarrolla en la superficie de las películas de un suelo seco hace que aumenten las dificultades de las plantas para obtener humedad en dichas condiciones de sequedad.

Como el agua es "chupada" de entre los poros del capuchón de cerámica por las partículas de suelo, un vacío parcial se origina

en el interior del cuerpo del tensiómetro, ya que su cierre es hermético en la parte superior. El continuo fluir del agua hacia el suelo hace que el vacío formado alcance valores altos, que son registrados por el vacuómetro del aparato, hasta que dicho valor sea suficiente para vencer la tensión de "succión" del suelo. En este momento se logra un equilibrio entre las dos fuerzas opuestas que operan y el agua cesa de fluir por entre los poros del capuchón

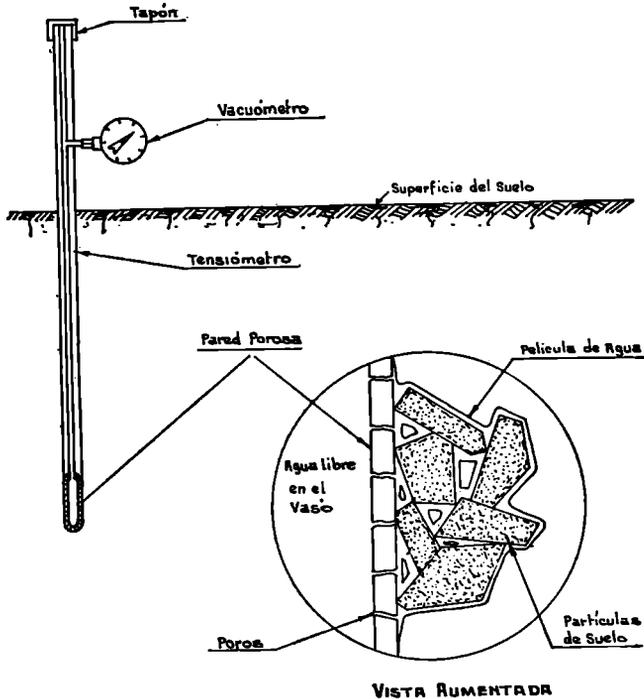


Figura 3. — Capuchón de Cerámica Porosa (vista aumentada)

de cerámica. El vacuómetro registra en ese punto la suma total de la "succión del suelo".

A medida que la humedad contenida por el suelo es utilizada por las raicillas de las plantas, o se consume por evaporación o drenaje hacia las capas profundas, su contenido porcentual disminuye y no siendo reemplazada, la "succión del suelo" aumenta y más agua fluye entonces de entre los poros del capuchón de cerámica porosa. Ello determina que un nuevo punto de equilibrio sea alcanzado, cuyos valores serán más altos aún en el vacuómetro.

La gran fuerza molecular que retiene la fina película de agua en la superficie de las partículas de suelo, durante los diferentes estadios de sequedad del mismo, decrece a medida que ingresa agua al suelo por la acción de la lluvia o de riegos. Así a medida que la partícula de suelo se rodea de una película de agua de mayor espesor, la fuerza de atracción molecular con que es retenida el agua decrece y ésta puede ser más fácilmente desplazada de la superficie de las partículas de suelo.

Volviendo a las paredes del capuchón poroso y recordando que por el estado de sequedad del suelo se lograron altos valores en el vacuómetro, debemos imaginar el proceso inverso al ingresar agua por la lluvia o el riego en el suelo. En efecto, el alto vacío logrado en el interior del tensiómetro hace que la fuerza de succión del vaso poroso sea mayor que la del suelo y el agua recorre el camino inverso, penetrando al interior del tensiómetro a través de los poros del capuchón de cerámica.

Este flujo de agua hacia el interior del tensiómetro, cuando el suelo se encuentra húmedo, continúa hasta el momento que el valor del vacío interior se equilibra con la fuerza de retención del agua en la superficie de las partículas del suelo.

Si se siguiera agregando agua al suelo hasta su saturación, el vacío dentro del tensiómetro quedaría anulado y el vacuómetro marcaría "0", hasta que nuevamente se dieran condiciones de sequedad en el suelo por consumo del agua por las plantas, evaporación, drenaje, etc.

De esta manera los tensiómetros se encuentran constantemente en equilibrio con el contenido de humedad del suelo a través de la "succión" que realiza éste y que miden los aparatos en fracciones de bar.

### C. INTERPRETACIÓN DE LAS LECTURAS

Si medimos la fuerza de la atracción molecular con que es retenida el agua en la superficie de las partículas del suelo, y la energía del agua capilar entre los poros, estaremos en condiciones de conocer el contenido de agua aprovechable por las plantas, ya que pasando de ciertos límites, que se indicarán más adelante, aunque exista humedad en el suelo, ésta no es aprovechable por las plantas, ya que la fuerza de succión de las raíces es menor a la de retención del agua en la superficie de las partículas del suelo.

Una de las formas de medir esta fuerza de atracción y/o energía es contraponerle otra fuerza fácilmente mensurable que al alcanzar el valor de equilibrio con la fuerza contraria determine que el agua que era retenida por el suelo quede en libertad y pueda ser evaluada en por ciento, refiriendo estos porcentos al mismo suelo completamente libre de humedad (seco a estufa 100-105° C).

En todos los casos la fuerza contraria a la de retención del agua por el suelo se expresa en términos de la altura en centímetros de una columna de agua de una sección de 1 cm<sup>2</sup>, cuyo peso es igual a la fuerza que se considera. Cuanto mayor altura en centímetros alcance la columna de agua, mayor será evidentemente esa fuerza. Se puede dejar sentado entonces que la fuerza de retención del agua por el suelo se mide en unidades gravitacionales.

Entre las unidades de medida gravitacionales conocidas se ha convenido utilizar el milibar (milésima de 1 bar) para expresar la fuerza de succión que ejerce el vacío creado en el interior del tensiómetro en contacto con el suelo, fuerza que se contrapone y equilibra con la fuerza de "succión" que ejercen las partículas de suelo en sus diferentes contenidos de humedad o estadios hídricos.

En nuestro caso particular de las escalas medidoras en los vacuómetros de los tensiómetros, las mismas, como ya se expresó más arriba, se han graduado una en milibares (vacuómetro a Hg) y la otra en centibares (reloj Bourdon). La graduada en milibares mide como cifra tope 850 milibares, vale decir, menos de un bar (1.000 milibares), mientras que la graduada en centibares, su cifra tope 100 equivale a los 1.000 milibares = 1 bar.

En los estados de sequedad extrema del suelo, los medidores no han sobrepasado en ningún caso los 850 milibares u 85 centibares, ya que aunque la tensión de succión del suelo era mucho mayor de 850 milibares, no es posible registrar esa "tensión de succión" del suelo, ya que el vacío existente en el interior del tensiómetro no puede alcanzar un valor más alto por razones obvias. Recuérdese que las más perfectas máquinas neumáticas para lograr el vacío en el laboratorio no llegan a lograrlo en el valor absoluto de 1 atmósfera, sino que llegan sólo a valores cercanos a 1 atm.

Por ello, si bien aparentemente podría parecer que el uso de los tensiómetros para planes de riego en cultivos industriales, forestales, etc., es muy limitado, ya que solamente miden el contenido de agua del suelo entre los valores que van de "0" a menos de 1

atmósfera, ello no es así, ya que precisamente entre esos valores es donde se producen los mayores movimientos y/o cambios del contenido de humedad que más fácilmente son aprovechados por las raíces de las plantas, en condiciones favorables de crecimiento y donde con un mínimo de esfuerzo el vegetal extrae agua del suelo para su crecimiento en óptimas condiciones. Es innegable que el vegetal aún continúa extrayendo agua del suelo pese a que éste la retiene a valores superiores a 1 atmósfera y que llega hasta las 15 atmósferas de "succión", pero ello le demanda al vegetal un considerable esfuerzo radicular que va en detrimento de su crecimiento, fructificación, etc., y que en ocasiones le cuesta la vida misma.

*Conversión de las lecturas en términos de pF.* — Como se dijo más arriba, la fuerza de retención del agua por el suelo se expresa en términos de la altura en centímetros de una columna de agua de 1 cm<sup>2</sup> de sección.

Expresando sus equivalencias en términos del peso de una columna de mercurio de igual sección, tendríamos:

$$1 \text{ atm.} = 760 \text{ mm de alt. en columna de Hg.}$$

$$\text{Peso} = V \cdot d = 760 \times 13,599 = 1.033 \text{ g}$$

Para obtener el mismo peso mediante una columna de agua de 1 cm<sup>2</sup> de sección es necesaria una altura de 1.033 cm.

Entonces:

$$760 \text{ mm de Hg} = 1.033 \text{ cm de H}_2\text{O} = 1 \text{ atm.}$$

Como se decía más arriba, para medir la fuerza de retención del agua por las partículas del suelo era necesario contraponer otra fuerza opuesta, que deje en libertad el agua retenida y poder evaluarla.

Hasta ahora hemos visto el equivalente de una atmósfera en unidades de peso (760 mm de Hg o 1.033,3 cm de H<sub>2</sub>O); pero a los efectos de convertir dichas unidades de peso en unidades de fuerza se debe hacer intervenir la fuerza de la gravedad en el sistema, y así:

Si suponemos una columna de mercurio de 760 mm y de 1 cm<sup>2</sup> de sección, sometida a la acción de la gravedad normal, tendremos con la fórmula  $P = V \times d$ :

$$P = 76 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}^2 \times 13,596 = 1.033 \text{ g (o sea 1 atmósfera)}$$

Pero como 1 gramo-fuerza = 981 dynas (más exacto 980,6 dys)

$$P = 1.033 \times 980,6 = 1.013250 \text{ dynas}$$

También tendremos que

$$1 \text{ mm de Hg} = \frac{1.013250 \text{ dy}}{760} = 1.333 \text{ dy, o bien } 1,333 \text{ milibar,}$$

desde que un milibar es igual a 1.000 dynas, de donde:

$$760 \text{ mm de Hg} = 760 \times 1,333 \text{ mbar} = 1.0133 \text{ milibares}$$

A los efectos de dejar bien aclarados los conceptos, debemos destacar que:

$$1 \text{ bar} = 1.000 \text{ milibares} = 750 \text{ mm de Hg} = 0,987 \text{ de atmósfera} \\ = 10^6 \text{ dynas/cm}^2$$

De los dos vacuómetros empleados en los tensiómetros sólo el a reloj tipo Bourdon alcanza su graduación en centibares a 1 bar.

Como la fuerza de retención del agua por el suelo alcanza valores apreciables cuando se encuentra muy seco (hasta 15 atmósferas de presión), su expresión en cm de altura de una columna de agua significaría la expresión de cifras voluminosas de difícil dilucidación a simple vista. Por ello se ha convenido en expresar esa altura en centímetros, por el logaritmo natural del número que alcanza. Esa forma de expresión simplificada se llama pF (potencial capilar).

En nuestro caso particular de los tensiómetros, las escalas medidoras están graduadas en términos de presión y no de peso de columna de agua, pero como la diferencia entre ambas cifras (1.013 y 1.033) es escasa y no cambia el valor de la primera cifra de la mantisa del logaritmo natural, se pueden expresar directamente en "pF" los valores en milibares que se anoten en las escalas de los vacuómetros.

Tendremos así que los tensiómetros miden capacidades hídricas de los suelos entre pF 0 y pF 2,9, vale decir entre saturación máxima y un valor cercano a la humedad equivalente (Wec).

#### IV. OPERATIVO EN CAMPAÑA

##### A. INSTALACIÓN DE LOS TENSIÓMETROS

En coordinación con la Cátedra de Cerealicultura de la Facultad se decidió la instalación de los dos tensiómetros ya mencionados en el seno de los cultivos cerealeros que esa Cátedra conduce anualmente en el Campo Experimental de la Facultad en la sección denominada "jaula".



Fig. 4. — Tensiómetro c/vacuómetro a reloj Bourdon instalado a suelo desnudo en el seno de un cultivo de la Cátedra de Cerealicultura

Antes de la instalación de los instrumentos se efectuó la siembra de las diferentes variedades cerealeras el 23 de mayo de 1962 (1ª campaña), en un suelo previamente arado con reja de vertedera a 0,12 - 0,15 m y rastreado con rastra de dientes móviles, operación ésta que se ejecutó con una antelación de 2 a 3 días a la siembra. La siembra se operó en surcos distantes unos de otros unos 15 cm, depositando la simiente en pequeños hoyos distantes entre sí otros 15 cm.

A los fines de seguir la marcha de la humedad del suelo, sometido a las exigencias de alguna de las variedades de trigo sembradas, se procedió a la instalación del tensiómetro con vacuómetro a columna de mercurio (modelo LG) a una profundidad de 0,30 m

entre los surcos n<sup>os</sup> 16.289 y 16.290, correspondientes a la multiplicación de la F4 del cruzamiento entre las líneas de trigo denominadas Dickinson × Candeal “La Previsión” y la variedad Klein Lucero respectivamente.

Al mismo tiempo y con el objeto de seguir la marcha de la humedad del suelo libre de cultivo alguno (testigo), se procedió a



Fig. 5. — Tensiómetro c/vacuómetro a mercurio instalado entre líneas del cultivo cerealero

la instalación del tensiómetro con vacuómetro a reloj Bourdon a la misma profundidad del anterior, en el centro de una pequeña parcela de 1 m<sup>2</sup> de superficie, próxima al lugar de instalación del otro tensiómetro.

Ambas instalaciones se realizaron el día siguiente al de la siembra, vale decir el 24 de mayo de 1962 (1<sup>a</sup> campaña).

Esta última parcela se encuentra libre de cultivo y/o maleza, manteniéndose en esas condiciones mediante laboreo muy superficial durante todo el ciclo de observaciones. Estos cultivos se llevan a cabo en condiciones naturales, recibiendo como único aporte hídrico el de la lluvia y la influencia superficial de la humedad relativa del aire atmosférico.

## B. RECONOCIMIENTO EDAFOLÓGICO

El sector donde fueron instalados los dos tensiómetros dentro de la "jaula" se encuentra ubicado en el extremo SE del campo experimental de la Facultad, con relieve natural llano y un micro-relieve interior que acusa una ligera depresión o desnivel hacia el este y noroeste.

Se trata de un suelo sometido a labores y cultivos anuales en forma permanente, que ha perdido las características primitivas en lo que a su textura y estructura se refiere, por el agregado de materiales de relleno ocurridos muy anteriormente y obras diversas que han variado su composición granulométrica primitiva. Se puede considerar en términos generales como un suelo mediano, bien aireado en su primer horizonte.

Luego de la cosecha se desarrolla vegetación espontánea con predominio de gramíneas.

Las condiciones de escurrimiento e infiltración del agua de lluvia son limitadas en el sector E y NO precisamente por su inclinación, ya que en ese sector se acumulan las aguas superficiales luego de una lluvia y se infiltran con suma lentitud por las características propias del perfil edafológico que se analiza más adelante.

a) *Ensayos físicos preliminares.* — Se efectuó una determinación física preliminar a las determinaciones físico-mecánicas de laboratorio con muestras al estado natural, determinándose algunas de ellas "in situ" con los siguientes resultados:

Características determinadas	Muestra nº 1 (desnudo)	Muestra nº 2 (cultivado)
TACTO en seco	Grano grueso y agregado	Grano grueso y agregado
CONSISTENCIA en seco	Quebradizo a duro	Quebradizo a duro
COLOR en muestra Húmeda	Pardo oscuro-marrón	Pardo oscuro-marrón
COLOR en muestra Seca	Pardo	Pardo
COLOR según tabla de Munsell	10 YR - 4/2 marrón grisáceo oscuro	10 YR - 4/2 marrón grisáceo oscuro
PLASTICIDAD .....	MEDIANA a ALTA	MEDIANA a ALTA
ADHERENCIA	Id.	Id.
RESISTENCIA de una "bolita" a la presión	<i>Dedo</i> Duro. No rompe <i>Pie</i> Regular. Rompe c/bordes agudos y filosos	<i>Dedo</i> Duro. No rompe <i>Pie</i> Regular. Menos resistente que la nº 1. Rompe con bordes agudos y filosos
TEXTURA AL TACTO	Franco-arcillo-limoso → Arcillo-limoso	Franco-arcillo-limoso → Arcillo-limoso

b) *Determinaciones físico-mecánicas de laboratorio.* — Posteriormente a los ensayos que anteceden, y con muestras de suelo tomadas de los lugares de instalación de los tensiómetros, se procedió a ejecutar un análisis físico-mecánico de las fracciones componentes de cada suelo. Se siguió la rutina para el análisis físico-mecánico por el método de Robinson o de la "pipeta". Las muestras utilizadas, que se tomaron a las mismas profundidades de instalación, fueron previamente secadas al aire y porfirizadas en ambiente de laboratorio.

Ejecutados los ensayos y determinaciones para la muestra nº 1 (suelo desnudo) y para la nº 2 (suelo cultivado) se obtuvo:

## Para muestra de suelo nº 1. Suelo desnudo (0,30 m)

Fracciones	Ø en micrones	Contenido %
Arena gruesa	(2.000-200)	2
Arena fina	(200-20)	38
Suma de arenas	(2.000-20)	40
Limo	(20-2)	29
Arcilla	(menos de 2)	22
Suma de fracciones mecánicas .....		91
Wh-Mat. Org.-Ca (CO <sub>2</sub> ). Sales solubles (HCl N 0,2)		9
		100

Textura según triángulo de textura: *franco* con tendencia al *franco-arcilloso*.

## Para muestra de suelo nº 2. Suelo cultivado (0,30 m)

Fracciones	Ø en micrones	Contenido %
Arena gruesa	(2.000-200)	2
Arena fina	(200-20)	36
Suma de arenas	(2.000-20)	38
Limo	(20-2)	26
Arcilla	(menos de 2)	26
Suma de fracciones mecánicas		90
Wh-Mat. Org.-Ca (CO <sub>2</sub> ). Sales solubles (HCl N 0,2)		10
		100

Textura según triángulo de textura: *franco-arcilloso*.

## Constantes hídricas más importantes

(Wh) = Humedad higroscópica a estufa 100-105° C .	Muestra 1 = 4,4 % Muestra 2 = 4,5 %
(Whm) = Coeficiente de higroscopicidad, a 96 % de humedad relativa al vacío..	Nº 1 = 7,1 % Nº 2 = 6,7 %
(Wec) = Equivalente de humedad, a bomba de vacío	Muestra nº 1 = 26,4 % Muestra nº 2 = 26,2 %

### C. RECOPIACIÓN DE DATOS

Durante todo el año calendario y agrícola que abarcó la campaña 1962-63 las observaciones y lecturas de los tensiómetros se efectuaron diariamente y siempre en horas de la mañana, tratando de que las mismas se llevaran a cabo alrededor de las 9 horas, a fin

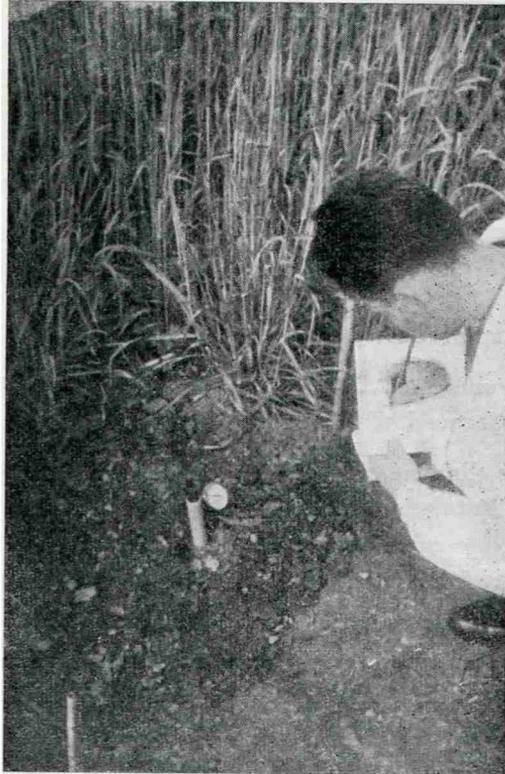


Fig. 6. — Tomando lectura del tensiómetro *e/vacuómetro* Bourdon a suelo desnudo

de uniformar el levantamiento de datos y evitar las influencias del rocío nocturno y/o exposición prolongada de la superficie del suelo a los rayos del sol, en el supuesto de lecturas tomadas con demasiada antelación o retraso respectivamente.

Las observaciones complementarias que se realizaron durante la campaña agrícola y que se prolongaron luego hasta finalizar el año calendario se centraron en: estado del cultivo cerealero en sus diferentes etapas de desarrollo; aspecto general de la superficie del

suelo en concordancia con sus diferentes estados de humedad; correlación de los ciclos vegetativos con las lecturas tensiométricas y todo dato de interés que condujera a una mayor claridad e interpretación de los fenómenos físicos donde intervenían los factores planta-suelo-humedad-temperatura.

Simultáneamente se recogieron los registros térmicos e higrométricos del aire atmosférico que nos suministraba el Observatorio Astronómico de La Plata, ubicado en las cercanías del lugar del ensayo.

Con todos estos datos se confeccionaron los gráficos y tensiogramas 1962-63 que se presentan a continuación, donde se han consignado 365 lecturas y registros térmicos e higrométricos respectivamente.

## V. DE LOS GRAFICOS

### A. MÉTODO CONSTRUCTIVO

a) *Tensiograma 1962-63*.—Para la confección del gráfico denominado "Tensiograma 1962-63" se utilizaron los siguientes elementos:

1º Lecturas directas en milibares y centibares arrojadas por los tensiómetros instalados en suelo cultivado y desnudo, respectivamente.

2º Milímetros de lluvia caídos durante toda la campaña.

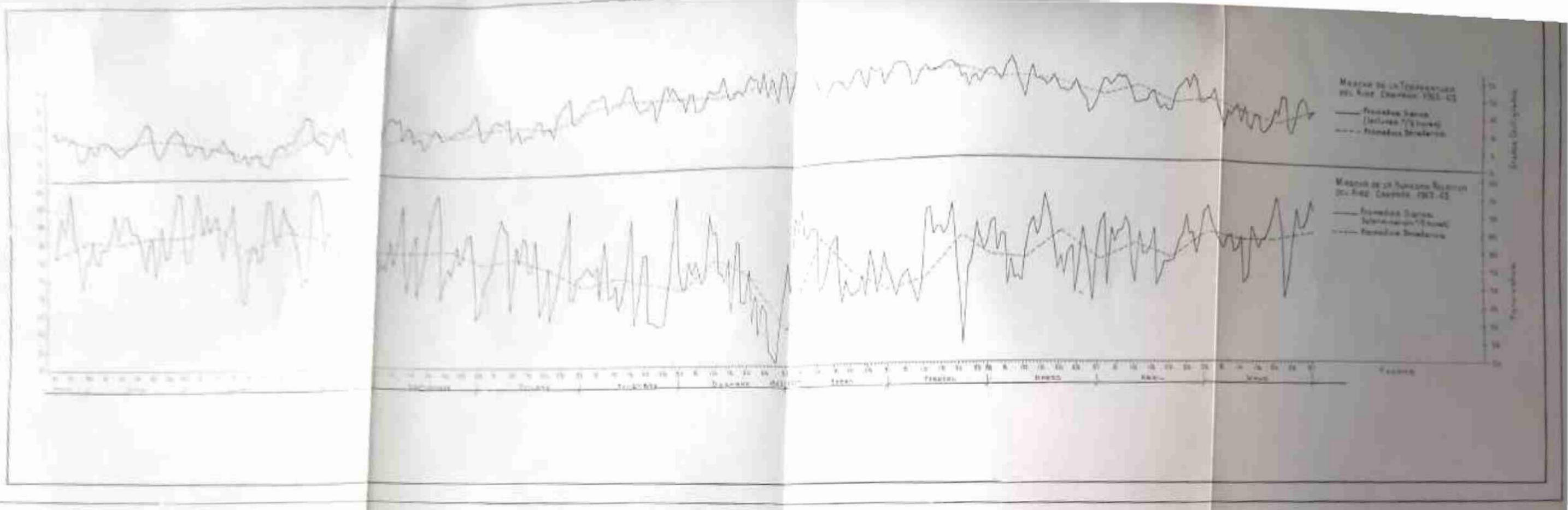
3º Fechas en que se operaban ambos registros.

Sobre el eje de las abscisas y asignando a cada unidad (día) una dimensión lineal de 2 milímetros, se colocaron en orden sucesivo todos los días que comprendía el año calendario y meteorológico iniciado el 24 de mayo de 1962 y que finalizó el 24 de mayo de 1963, encontrándose comprendida en él la campaña agrícola iniciada el 23 de mayo de 1962 y que finalizó el 1º de diciembre de 1962 (siembra-cosecha del cultivo).

Sobre el mismo eje y en correspondencia con la fecha en que acaeció el meteoro, se levantan barras verticales que representan los milímetros de lluvia caídos en el lugar, asignándole a cada barra una longitud de 2 mm por cada milímetro de lluvia caído.

Los puntos correspondientes a los diferentes valores en milibares y centibares de las lecturas directas de los tensiómetros se han unido con líneas de diferentes trazos a fin de diferenciar a qué





Measur de la Temperature  
de l'air (Station 1982-83)

— Fremont Series  
(includes 7/3 bore)  
- - - Fremont Shalena

Measur de la Temperature  
de l'air (Station 1987-88)

— Fremont Series  
(includes 7/3 bore)  
- - - Fremont Shalena

Temperature

Temperature

Temps

10h 14h 18h 22h 2h

tipo de aparato y por ende a qué lugar de instalación corresponden. Así para la línea que une las diferentes lecturas registradas en el tensiómetro con vacuómetro a columna de mercurio (suelo c/cultivo) se eligió un trazo cortado, mientras que para la línea que une las lecturas del tensiómetro con vacuómetro a reloj "Bourdon" (suelo desnudo) se le asignó un trazo lleno.

Los diferentes valores que alcanzan las lecturas directas de los tensiómetros se miden sobre la ordenada a razón de 20 mm por cada 100 milibares ó 10 centibares, respectivamente.

Asimismo, sobre la ordenada mencionada se han tabulado los valores de pF que corresponden a cada 100 milibares ó 10 centibares, según el caso, partiendo de valor 0 hasta alcanzar el valor tope de 2,9 correspondiente a 850 milibares u 85 centibares.

En la zona marginal y superior del tensiograma se han anotado, en correspondencia con las fechas en que se manifestaron, el inicio de los ciclos vegetativos del cultivo, labores culturales realizadas, estado general y situación de la superficie del suelo luego de la cosecha.

*b) Registros de temperatura y la humedad relativa del aire.* — En forma de gráfico, a fin de tener un rápido panorama general de conjunto, se han anotado los registros meteorológicos correspondientes a los promedios diarios de la temperatura del aire atmosférico en grados centígrados y los promedios diarios de su contenido de humedad relativa en porciento, en forma separada.

Sobre un mismo eje de la abscisa positiva y asignándole también a cada unidad (día) una dimensión lineal horizontal de 2 mm se suceden los días que integran el año calendario y meteorológico que ya se mencionó.

Sobre el eje de la ordenada positiva se le asignan valores en C° (2 mm para cada grado C°) a los promedios diarios de las variaciones de la temperatura del aire atmosférico, uniendo las coordenadas de dichos puntos con un trazo lleno, mientras que con un trazo cortado se unieron las coordenadas de los puntos correspondientes a los promedios decadarios (10 días) con valores a la misma escala.

Estos últimos promedios se marcan en el gráfico para objetivar las variaciones que experimenta la marcha de la temperatura del aire atmosférico a lo largo de las observaciones y a grandes rasgos.

De la misma forma y con escala similar (2 mm para 1 %) se compilaron en un gráfico contiguo los promedios diarios de las variaciones del contenido de humedad relativa en porciento del aire atmosférico.

Los valores promedios para ambos fenómenos meteorológicos fueron determinados en base a lecturas tomadas de los aparatos registradores cada 2 horas durante las 24 horas del día y a una altura convencional de 1,50 m sobre el nivel del suelo.

## B. INTERPRETACIÓN DE LAS OBSERVACIONES Y RESULTADOS

Al observar detenidamente el tensiograma 1962-63, se puede apreciar desde el comienzo y por un lapso que va hasta el 4 de julio, que los valores de succión del suelo en ambos tensiómetros aumentan en forma paulatina y sostenida, pese a la serie de variaciones que se anotan, hasta alcanzar un valor superior a los 500 milibares (pF 2,7). Precisamente el día 4 de julio de 1962 cae una lluvia de casi 49 mm, que sumada a la del día anterior, de 14 mm, determina la caída brusca de los valores de succión de ambos tensiómetros a "0". Ello se explica, ya que el agua proveniente de ambas lluvias humedeció el suelo por encima del contenido de humedad que corresponde a la capacidad de campo del suelo a 0,30 m de profundidad.

En cuanto a las fluctuaciones que se observan en ese período se explican por las siguientes causas: toda la superficie del sector destinado a cultivo cerealero, se encuentra protegido por paredes y techo constituidos de alambre tejido de malla fina para impedir las depredaciones de las aves. En el período que se trata, la humedad relativa del aire atmosférico fue alta (promedios diarios de hasta 98 % con un sólo descenso al 72 %) y la temperatura reinante del aire acusaba un marcado descenso que alcanza casi los 5° C en promedio, pese a tender a un ascenso general a partir del 28 de mayo. Estas tres causas: cubierta de alambre metálico, humedad relativa alta y bajas temperaturas, hacían que se condensara el vapor de agua atmosférico en las mallas de alambre y por ello, la superficie del suelo recibía lo que se podría llamar una lluvia artificial, que determinó las variaciones diarias en la succión del suelo, por las variaciones que experimentaba su contenido de humedad superficial.

En lo general el lapso se caracterizó por la escasez de lluvias recibiendo el suelo únicamente el agua de condensación de que se habló.

Durante la primera década de julio se opera el nacimiento de las simientes cerealeras, anotándose en general numerosas fallas. En la segunda década de julio se ejecuta una labor cultural consistente en una carpida superficial para eliminar las malezas que nacieron con el cultivo y evitar una competencia desventajosa para las plantitas de cereal y mantener la humedad del suelo, evitando una evapo-transpiración excesiva.

Las fallas anotadas en el nacimiento se atribuyen al poco contenido de humedad del suelo, la que no alcanzó para las necesidades de humectación de la simiente en forma correcta, entre otras causas.

Al observar el tensiograma en el período que va del 5 de julio hasta el 9 de octubre de 1962, se observa un hecho notable: mientras que en el período analizado anteriormente los valores de succión arrojados por el tensiómetro instalado a suelo desnudo sobrepasan los valores de succión anotados por el tensiómetro instalado en suelo cultivado, ahora ocurre a la inversa, circunstancia que se operará hasta la cosecha del cereal.

Ello se debe a que al producirse el nacimiento de las especies cerealeras, los requerimientos de agua por las raicillas de las plantas, determinan que el contenido de humedad del suelo bajo cultivo sea inferior en todo momento al del suelo desnudo, ya que este último debe entregar agua únicamente a los requerimientos de la evaporación superficial e infiltración, predominando la primera, ya que la infiltración es lenta, como se anotó anteriormente.

Desde el 5 de julio hasta el 9 de octubre de 1962, los cultivos se desarrollaron en general en forma normal, macollando y encañando en término, manteniendo su porte erecto, acusando un estado general de *regular* a *bueno*, en coincidencia con una distribución regular y espaciada de las lluvias, las que mantuvieron la humedad del suelo a valores superiores a la C. de C. y en algunos períodos la sobrepasaron netamente, llegando casi a la saturación (2ª década de julio y de agosto).

Durante la 3ª década de agosto en coincidencia con un corto período de escasez de lluvias; bajos promedios de humedad relativa del aire y fluctuaciones ascendentes de la temperatura, en

correspondencia con los requerimientos cada vez mayores de agua por parte del cultivo, se anotan rápidas tendencias de incremento en los valores de succión del suelo bajo cultivo inmediatamente luego de las lluvias, circunstancia que no se cumplía durante casi todo el mes de julio y parte de agosto, ya que la humedad del suelo se conservaba por menor requerimiento de parte de los vegetales.

Entre el 20 de agosto y el 10 de octubre, cuando las plantas ya han comenzado un ciclo vegetativo que se caracteriza por la rápida utilización del agua fácilmente aprovechable para cumplir con sus funciones de asimilación y formación de tejidos ante la proximidad del período crítico que corresponde a la espigazón, los valores de succión del suelo que acusa el tensiómetro en suelo cultivado aumentan rápida e inmediatamente de ocurridas las lluvias, que hacen caer los valores a "0", y en una proporción cada vez mayor en relación con los valores que acusa el tensiómetro instalado en suelo desnudo. A partir del comienzo del ensayo y hasta el 10 de octubre, los máximos valores de succión del suelo anotados tanto para el cultivo como para el desnudo (testigo), superaron apenas los 500 milibares o 50 centibares, pero a partir de ese punto las lecturas en ambos tensiómetros aumentan en forma considerable diariamente con marcada supremacía del tensiómetro en suelo cultivado, como se puede apreciar en el tensiograma, donde en sólo 15 días éste alcanzó el valor tope de 850 mlbs., mientras que el suelo desnudo recién alcanza un valor cercano al cabo de casi un mes de sostenido ascenso.

Ambos valores de succión del suelo se mantienen casi en forma constante a esos niveles entre fines de octubre y últimos días de noviembre de 1962.

Es en este período crítico para el cultivo cerealero, donde se manifestaron las condiciones climáticas más adversas para el mismo, ya que como se dijo, es aquí donde más cantidad de agua aprovechable necesitan sus raíces y ocurrió que aparejada a esa necesidad perentoria la humedad relativa del aire bajó durante un período prolongado; la temperatura tiende a ascender en sus promedios diarios y las lluvias son sumamente escasas. Esto trae como consecuencia que la evapo-transpiración se vea acelerada y el contenido de humedad del suelo decrece a valores más allá de los límites de lectura en los tensiómetros. A raíz de este pano-

rama poco favorable, el cultivo en plena espigazón presenta un estado general de *regular* a *malo*, por las deficiencias hídricas que se registran. Se notan ataques intensos de septoria y roya negra.

La caída en los valores de succión del suelo que experimentan ambos tensiómetros a mediados de noviembre de 1962, se debe a que el agua que contenían fue pasando a través del capuchón de cerámica al suelo hasta descargarlos y comenzó entonces a ingresar aire al interior de los tensiómetros haciendo decrecer el vacío existente. Restablecidas las cargas, éstos comienzan a registrar valores de succión altos por la acción del suelo seco y se llega así a los últimos días de noviembre y primeros de diciembre en que a causa de algunas lluvias caídas (algunas de 45 mm) los valores toques alcanzados decrecen bruscamente hasta "0".

El 2 de diciembre se procedió a la cosecha del grano mediante el corte de las espigas en todo el sector, quedando a partir de entonces el rastrojo con las malezas que se habían desarrollado y resistido la sequía anterior; algunas especies a raíces profundas principalmente.

El aspecto de la superficie del suelo es en este momento el que caracteriza a los suelos arcillosos en las sequías: resquebrajado y agrietado profundamente, por la contracción de los agregados arcillosos resecos.

A fines de diciembre de 1962 se registran las temperaturas más elevadas de la campaña y los registros promedios de humedad relativa más bajos (50,5 %), lo que aparejado a la fuerte insolación del suelo, hace que el rigor de la sequía comience a secar paulatinamente las pocas malezas que resisten aún. Los valores tensiométricos se mantienen más allá de los 850 mlbs. y pese a la caída de lluvias de 25 a 30 mm en los primeros días de enero de 1963, los valores no decrecen a "0" sino cuando éstas aumentan en su frecuencia. No obstante, durante el mes de enero y parte de febrero caen lluvias frecuentes de poca intensidad algunas y de 50 mm otras, pero siendo torrenciales y encontrándose tan reseco el suelo, no penetra la humedad a la profundidad de 0,30 m y los registros tensiométricos se mantienen en altos valores.

En la segunda quincena de febrero, cuando la humedad relativa del aire aumenta notablemente, y la frecuencia de lluvias es mayor, (llueve semanalmente) hasta mediados de marzo, pese a que la temperatura del aire mantiene promedios elevados pero

con tendencia general a descender, el tensiograma afecta la forma de crestas sucesivas debido a las fluctuaciones de la tensión de succión del suelo. Los valores que arrojan ambos tensiómetros fluctúan entre 200 y 600 mlbs. (hasta 70 ctbs. en suelo desnudo) sin llegar a "0" en ningún caso, pese a las lluvias que humedecen el suelo. Ello se explicaría por la fuerte evaporación que se opera en la superficie del suelo a raíz de la radiación solar prolongada y dificultad de penetración del agua por lo compacto que se encuentra el terreno.

Recién a mediados de marzo, luego de haber sido sometido el suelo a una labor cultural de arado a 0,12-0,15 m con reja de vertedera y de haber caído una lluvia de sólo 35 mm, ambos tensiómetros decrecen en los registros del valor de succión del suelo hasta marcar "0".

En coincidencia con el comienzo de la segunda quincena de marzo cae una lluvia de casi 65 mm que termina de saturar el suelo ya húmedo de la lluvia anterior, y lleva su contenido de agua a valores superiores a la C. de C. (Wfc). A 10 días de este meteoro acontece una nueva lluvia de casi 90 mm que determina una nueva caída a "0" de los tensiómetros que apenas habían comenzado a marcar tensiones de succión a pF 2,0. En este período se registra el nacimiento de una cubierta herbácea otoñal incipiente.

Durante casi todo el mes de abril de 1963, las lluvias otoñales han decrecido en intensidad y apenas si llegan a los 4 mm aunque su frecuencia se mantiene. La humedad relativa del aire tiende a ascender en forma paulatina mientras que la temperatura media descende progresivamente.

Esta situación, aunada a un desarrollo cada vez más vigoroso de la cobertura vegetal natural, hace que los valores de succión del suelo que registra el tensiómetro a columna de mercurio (ex suelo cultivado, actual c/vegetación herbácea) comiencen a predominar sobre los registros que arroja el tensiómetro a suelo desnudo.

Habiendo decrecido el contenido de humedad del suelo hasta alcanzar un pF de 2,6 (400 mlbs) con sólo una lluvia de casi 20 mm decae a pF 0 nuevamente el valor de la tensión de succión del suelo, el que con ligeras variantes comienza a ser mayor en forma paulatina durante el mes de mayo de 1963. En la primer quincena de este mes se ejecuta la segunda labranza del suelo y en su segun-

da quincena el primer rastreo con vistas a su preparación para la próxima siembra que cubrirá la segunda campaña de estas observaciones y ensayos tensiométricos sobre suelo sometido a un cultivo cerealero con suelo testigo sin cultivo alguno.

### C. CONCLUSIONES

Resulta a primera vista evidente la utilidad de los tensiómetros como auxiliares valiosos e indicadores de la marcha de la humedad de un suelo sometido a cultivo, cualquiera sea éste, a los efectos de dar la voz de alarma cuando la necesidad de agua por los vegetales se hace perentoria, máxime en sus fases críticas como son los ciclos vegetativos previos a la floración y preparatorios de la fructificación.

Esto queda demostrado, ya que si en nuestro ensayo a condiciones naturales de campo hubiéramos sometido el cultivo a riegos (por aspersión), cuando los valores de succión del suelo hubieran alcanzado los 300-600 mlbs (pF 2,7-2,8) durante el período crítico de la espigazón, el estado general del cultivo habría sido muy distinto y en especial el rendimiento de las líneas ensayadas. Se sobreentiende que los riegos deberían repetirse cada vez que los tensiómetros así lo indicaran y con una duración que determina el tiempo de caída a "0" del vacío interior del aparato.

Es de notar que los tensiómetros responden cronométricamente a los ingresos de agua en el suelo, y a las necesidades de agua por parte del suelo, a medida que la misma es utilizada por las plantas, evapotranspirada o infiltrada a las capas más profundas, conforme se aprecian las rápidas respuestas de ambos aparatos a las lluvias y al advenimiento de períodos de sequía, en el tensiograma. El período de estabilización de ambos aparatos a las condiciones de humedad del suelo donde se encuentran instalados se puede calcular en aproximadamente 8 horas, aunque a veces su estabilización es más rápida.

A través del estudio del tensiograma se puede determinar que la penetración del agua de las lluvias invernales y primaverales a 0,30 m de profundidad en suelos de nuestro medio, se encuentra asegurada durante ambas estaciones climáticas del año, aunque las lluvias no alcancen valores altos, ya que la conservación del agua aprovechable fácilmente por las plantas a esa profundidad, se en-

cuentra asegurada por la escasa evapotranspiración que determinan una humedad relativa del aire a alto porcentaje y una temperatura media baja.

No ocurre lo mismo en los meses de verano y principios del otoño, ya que para que la penetración del agua de lluvia se opere a esa profundidad, y alcance para satisfacer un aprovechamiento fácil por el vegetal, éstas deberían ser mucho más frecuentes y alcanzar valores promedios de 40-50 mm cada vez, a fin de contrarrestar la acelerada evapotranspiración que ocurre debido a las altas temperaturas del aire, baja humedad relativa y fuerte radiación solar. Las lluvias estivales que caen no alcanzan a suplir los requerimientos de las plantaciones, por lo que es necesario complementar éstas con riegos para asegurar resultados comerciales satisfactorios en las cosechas.

Se ha podido determinar también que el contenido de sales solubles del suelo ensayado no afecta la normal marcha de los tensiómetros, por lo menos en esta primera campaña.

Se ha notado también que las lecturas de los tensiómetros aumentan generalmente por la tarde, debido a las fluctuaciones de la humedad que ocurren desde las primeras horas de la mañana, debido a que la transpiración es mayor en horas vespertinas. Para obviar estos inconvenientes se deben tomar las lecturas siempre a la misma hora y preferentemente por la mañana.

Uno de los inconvenientes, si así se puede denominar, que presentan los tensiómetros en su instalación permanente a campo, es que cuando los valores de succión del suelo sobrepasan los 850 mlbs u 85 ctbs durante un período prolongado (verano) el agua es extraída del tensiómetro por el suelo seco, en su totalidad y es necesario su recarga muy frecuente.

La utilización de los tensiómetros en suelos netamente arcillosos no resulta muy satisfactoria ya que el rango de humedad que abarcan en estos suelos de textura fina es muy inferior al rango que abarcan en suelos de textura gruesa como son los arenosos.

Pese a ello, considerando que la composición granulométrica del suelo ensayado tiende a un predominio de partículas finas, estimamos que el rango abarcado por los tensiómetros en esta oportunidad, corresponde a la mitad aproximadamente, del total del agua disponible para un fácil aprovechamiento por las plantas.

## VI. CAMPAÑA 1963-64

### A. OBJETIVOS

Vistos los resultados alentadores obtenidos en el ensayo tensiométrico llevado a cabo en la anterior campaña (1962-63), en lo que respecta al correcto funcionamiento de los tensiómetros, seguimiento de los valores de "succión" del suelo a condiciones de campo en parcelas cultivadas y a suelo desnudo, la Cátedra de Edafología por intermedio de su profesor titular, decidió ejecutar un nuevo ensayo tensiométrico en idénticas condiciones de campo, pero variando la profundidad de instalación de ambos tensiómetros.

En efecto: en esta 2ª campaña se instalaron los dos tensiómetros a una profundidad menor (0,20 m) a fin de observar las diferencias que podrían existir en las variaciones de los valores de "succión" del suelo en una capa más superficial, comprobando la velocidad de penetración del agua de lluvia e influencia de los demás meteoros, vegetación, etc., en comparación con los datos obtenidos en la campaña anterior.

Considerando que los cultivos que se llevan a cabo por la Cátedra de Cerealicultura en la "jaula" en forma experimental, son anualmente iguales en lo que atañe a las especies cerealeras, las condiciones no variaban en ese sentido.

Las observaciones se condujeron en la misma forma que en la campaña anterior (Cap. IV-C - Recopilación de datos) y el método constructivo de los gráficos es el mismo que el indicado en el Cap. V.

### B. DETERMINACIONES EDAFOLÓGICAS

A fin de determinar la textura y composición granulométrica de la nueva capa de suelo ensayado, se ejecutó un nuevo análisis físico mecánico con muestras de suelo tomadas a 0,20 m de profundidad y en los lugares de instalación de los tensiómetros. Considerando que en esta oportunidad ambos tensiómetros se instalaron en zonas muy próximas (2 m de distancia entre sí), se efectuó un solo análisis físico-mecánico y demás determinaciones edafológicas, valederas todas para ambas instalaciones (cultivado y desnudo). Los resultados de las distintas determinaciones son las que siguen:

**Características del suelo (muestra natural):** Idénticas a las consignadas anteriormente para las capas de 0,30 m de profundidad de la Campaña 62-63.

**Análisis físico-mecánico por el método de la "pipeta" de Robinson**

Fracciones	$\varnothing$ en micrones	Contenido %
Arena gruesa	(2.000-200)	2
Arena fina	(200-20)	38,6
Suma de arenas	(2.000-20)	40,6
Limo	(20-2)	29,3
Arcilla .....	(menos de 2)	22,4
Suma de fracciones mecánicas		92,3
Wh + Mat. Org. + Ca (CO <sub>2</sub> ) N 0,2)	Sales solubles (HCl)	7,7
	Total.....	100,0 %

**Textura del suelo ensayado (según triángulo de textura):** *franco* con ligera tendencia al *franco-arcilloso*.

Se llevó a cabo una determinación del grado de porosidad de dicho ensayo estableciendo la relación Suelo-Agua-Aire, mediante la toma de muestras de suelo a 0,20 m de profundidad con cilindro metálico de bordes afilados, a fin de no disturbar la estructura de la capa, obteniendo la siguiente relación en porcientos:

Volumen % de suelo	50,1
Volumen % de agua	35,4
Volumen % de aire	14,4
Total.....	99,9

Lo que arroja un grado de porosidad del 50 % para el suelo ensayado, que se debe considerar bastante aceptable para la textura del suelo.

Este grado de porosidad asegura un buen movimiento del agua, asegurando una aereación bastante aceptable a las raicillas de las plantas a esa profundidad.

Por otra parte se determinaron algunas constantes hídricas importantes mediante la rutina de laboratorio, tales como:

Wh = (Humedad higroscópica) a estufa 100-105° C hasta peso constante	4 %
Whm = (Coeficiente de higroscopicidad) a 96 % de humedad relativa en campana de vacío .....	5,8 %
Wec = (Equivalente de humedad) a bomba de vacío	24,8 %



### C. INTERPRETACIÓN DEL TENSIÓGRAMA 1963-64.

A primera vista, en el tensiograma de referencia, se destaca la extraordinaria frecuencia e intensidad de las lluvias ocurridas durante toda la campaña, y principalmente durante el ciclo agrícola que abarca desde el 31-V-1963 al 26-XII-1963. Esta frecuencia y cantidad de agua recibida por el suelo, determinó que durante todo el invierno y a partir de la siembra de la simiente, hasta la iniciación de la primavera el suelo se mantuviera constantemente húmedo, no registrando en consecuencia, durante ese período, los tensiómetros, valores de "succión" del suelo de alguna significación.

En efecto, mientras el tensiómetro instalado a "suelo desnudo" permanece constantemente en "0" desde el 10 de junio al 3 de octubre, el tensiómetro instalado entre las líneas de cultivo apenas si alcanza los 50 mlbs como máximo registro en ese lapso.

Resulta significativo tan bajo valor de "succión" si se considera que a fines de julio y principios de agosto, cuando las plantas del cultivo comienzan sus requerimientos hídricos importantes, para la formación de sus tejidos y desarrollo foliar, éstas logran satisfactoriamente sus necesidades de agua sin esfuerzo alguno. Vale decir, la dotación de agua en el suelo era más que suficiente para abastecer los requerimientos de las raicillas, satisfacer la evapotranspiración y mantenerse almacenada aún sin llegar el suelo a valores de succión relativamente altos. La lozanía del cultivo así lo atestigua, como también la de las malezas y hierbas desarrolladas paralelamente.

Entre fines de agosto y principios de septiembre, se apunta una saturación del suelo, ya que el agua se mantiene casi en superficie, como consecuencia de la superabundancia de lluvias.

Se ejecuta en el período invernal una labor entre líneas del cultivo, consistente en una carpida superficial para eliminación de malezas que amenazan ahogar el cultivo cerealero; esta labor no aporta modificación al cuadro tensiométrico.

Se llega a comienzos de la primavera, en que se ejecuta una segunda labor de carpida entre líneas y aquí, pese a mantenerse una frecuencia de lluvias superior a la normal de la estación, ambos tensiómetros comienzan a experimentar valores de "succión" del suelo de alguna significación, ante el aumento de las necesidades de agua de las plantas que preparan sus reservas para la inicia-

ción del período crítico de la espigazón. En términos generales, el cultivo se desarrolló en buenas condiciones.

Al observar los registros correspondientes al tensiómetro en suelo cultivado, vemos que desde mediados de septiembre hasta fines de diciembre, no alcanzan los valores de "succión" del suelo cifras superiores a los 50 mlbs, ya que en cada oportunidad en que llega a los 250-300-450 mlbs se suceden lluvias que a semejanza de riegos oportunos hacen descender los valores a "0". La similitud de la situación natural del cultivo con un programa de cultivo bajo riego artificial es extraordinaria. Pese a ello, se aprecia que las necesidades de agua por parte del cultivo son máximas, pues a uno o dos días de caídas lluvias de hasta 50 mm los valores de "succión" del suelo se elevan en forma rápida determinando ascensos empinados en la curva ascendente del tensiograma.

En la misma forma, pero siempre a valores de "succión" bastante más bajos, se desarrollan los registros del tensiómetro instalado a "suelo desnudo". No debemos olvidar que este aparato registra estados de sequedad del suelo, sólo por requerimientos de la infiltración y la evaporación del agua, acción esta última regulada por la temperatura, humedad relativa del aire atmosférico y la radiación solar.

A partir de la maduración del grano e inmediata cosecha (fines de diciembre de 1963), se opera un período de sequía que abarca todo el mes de enero de 1964 y primeros días de febrero de 1964.

Coincidentemente con el inicio de este periodo, ambos tensiómetros comienzan a registrar valores de succión del suelo rápidamente ascendentes y en forma pareja, hasta alcanzar el valor de 850 mlbs en el término de unos 15 días. Sumada a la escasez de lluvias se manifiesta un sostenido ascenso de la temperatura del aire y un descenso prolongado de la humedad relativa del aire atmosférico, propios de la estación estival. Los valores de succión del suelo se mantienen en el tope (pueden haber llegado a valores sumamente altos) constantemente hasta el final del enero de 1964, donde experimentan cierto descenso por lluvias de poca intensidad.

Durante este período ocurre un accidente con el tensiómetro a vacuómetro Bourdon, que determina una avería en su estructura, por lo que debe ser retirado para su reparación. Fue reinstalado al final de este período, luego de su reparación en nuestro laboratorio, acusando sus registros una neta correspondencia con el tensiómetro a columna de mercurio.

Se llega así al 5-6 de febrero de 1964, donde se suceden dos precipitaciones pluviales que totalizan los 143 mm y hacen descender bruscamente los registros a "0".

Al cabo de sólo dos días de acaecidas ambas lluvias, los registros tensiométricos comienzan a elevarse nuevamente, en forma más rápida para el tensiómetro a columna de mercurio que para el a reloj Bourdon (suelo desnudo) hasta estabilizarse uno en los 850 mlbs y el otro en los 40 ctbs.

Esto se explica ya que las malezas estivales que permanecían en el rastrojo han adquirido un vigoroso desarrollo y también a semejanza del cultivo ya cosechado, demandan agua rápidamente al suelo, mientras que en el suelo libre de vegetación, es amortiguada la evaporación superficial por el alto contenido de humedad relativa del aire atmosférico alcanzado en dicho lapso.

Coincidentemente con el final del mes de febrero 1964, acontece una serie de precipitaciones pluviales que humectan profundamente al suelo haciendo descender en consecuencia los registros tensiométricos, manteniéndolos entre los 100-200 mlbs hasta fines de abril, donde comienzan a ascender como consecuencia de transcurrir unos 15 días sin lluvias.

Al cabo de la primera década de mayo de 1964, y durante unos 20 días, se sucede otra serie de lluvias que mantienen el suelo húmedo a valores de pF 0, por lo que los tensiómetros no registran lecturas. Se llega así al término del año calendario y meteorológico iniciado el 24 de mayo de 1963.

#### D. CONCLUSIONES

En este nuevo ensayo tensiométrico a 0,20 m de profundidad, vemos que los períodos de sequía son bastante breves, si se los compara con los de la campaña 1962-63, como consecuencia de las condiciones meteorológicas desarrolladas a lo largo de la campaña. Asimismo se puede anotar que las condiciones de humedad del suelo fueron francamente óptimas para el desarrollo y fructificación de los cultivos cerealeros ya que durante el año agrícola no carecieron de agua y su obtención fue sumamente fácil por parte de las plantas, sin demandarles esfuerzo en ningún momento.

Se ha visto que la velocidad de penetración del agua de lluvia a la profundidad de 0,20 m es bastante rápida, pero no se ha po-

**Relación entre varias unidades usadas para expresión de la retención del agua**  
(Dados dichos valores aproximados para 4 niveles de humedad del suelo)

*Extraído y traducido de : « Relations between water and soil » por T. J. Marshall en Technical Communication n° 50 del Commonwealth Bureau of Soils-Harpenden, Gran Bretaña (1959)*

Condiciones de humedad del suelo	Succión		Potencial capilar o energía libre	pF	Radio equivalente al tamaño de los macroporos, los cuales pueden estar llenos de agua	Instrumentos convenientes para medir la succión
	Longitud h en cm de la columna vertical de agua o milibares	Atmósferas o bares	ergios/g o ergios/cc	log h	10 <sup>-4</sup> cm o micrones	
A succión de 1 cm (suelo saturado o casi a este punto)	1	0,001	-9,8 × 10 <sup>8</sup>	0	1,500	Tensiómetro (o succión o plato de presión)
A succión de 100 cm (correspondiendo no precisamente a CdeC (Wfc))	100	0,1	-9,8 × 10 <sup>4</sup>	2,0	15	Tensiómetro (o succión o plato de presión)
A succión de 15 atm. (correspondiendo al punto de march. permanente)	15.000	15	-1,5 × 10 <sup>7</sup>	4,2	0,1	Aparatos de membrana a presión
A presión de humedad relativa de 0,85 (suelo sensiblemente seco)	220.000	220	-2,2 × 10 <sup>6</sup>	5,4	0,007	Métodos de adsorción a vapor
Conversión de succión en cm (a 20°C como más conveniente)	h cm o h/1022 mlb.	h/1035 atm. o h/1022 bar.	-900 h	log h	0,15/h	

dido establecer con certeza el mínimo de lluvia necesario para alcanzar un grado óptimo de humedad a esa profundidad, ya que las lluvias fueron excesivas y demasiado frecuentes durante el año agrícola.

Se pudo observar que a esa profundidad la evaporación es rápida, principalmente en verano. Las respuestas de los tensiómetros lo confirman. Se confirma asimismo las escasas condiciones de infiltración del agua, por la presencia de un horizonte arcilloso subyacente a 0,40 m, que determina la presencia de agua en superficie durante los períodos de grandes lluvias, para ambas campañas.

Se comprobó una influencia acentuada de la temperatura del aire y de su humedad relativa en esa capa sub-superficial de 0,20 m, por los registros del tensiómetro a vacuómetro Bourdon, durante el mes de febrero.

Debe considerarse exitoso este ensayo por el comportamiento de los aparatos en el seguimiento de los valores de succión del suelo. No así por las comprobaciones que se hubieran podido realizar en relación con: humedad del suelo, valores de succión, tiempo de agotamiento a sequedad del suelo por influencia del cultivo, etc., que no pudieron realizarse por las condiciones meteorológicas ocurridas.

**RESUMEN.** — Durante el transcurso de los años 1962-63 y 64 se ejecutó un ensayo tensiométrico en suelos sometidos a cultivos cerealeros en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de La Plata, abarcando dos etapas o campañas. Para la primera campaña se instalaron dos tensiómetros a 0,30 m de profundidad, y en la segunda, en forma más superficial (0,20 m). En ambas campañas, que cubren un año calendario, meteorológico y agrícola cada una, se instaló uno de los tensiómetros, el provisto con vacuómetro a columna de mercurio en el seno de un cultivo de líneas de multiplicación de trigos selectos en planes de fitotecnia genética, y el otro provisto con vacuómetro tipo Bourdon, en una parcela de 1 m<sup>2</sup> de superficie, que se mantuvo permanentemente libre de vegetación.

De esta manera y registrando en ambos casos los valores de "succión" del suelo, a lo largo de un año calendario, donde se encuentra comprendido el ciclo agrícola del cultivo, se obtuvieron dos tensiogramas.

En cada uno de dichos tensiogramas se consignaron los datos correspondientes a las precipitaciones pluviales que acaecieron en todo el ciclo meteorológico, a fin de comparar las respuestas de los tensiómetros con ese meteoro y la acción del cultivo sobre la humedad del suelo y la de las hierbas y malezas luego de levantado éste, en oposición al suelo desnudo, que ofició de "testigo".

Por separado, y también para ambas campañas, se llevaron en forma de diagrama las anotaciones correspondientes a la temperatura y humedad relativa del aire atmosférico, para establecer el grado de influencia de estos meteoros sobre los estados de humedad de ambos suelos.

Durante la primera campaña, que se caracterizó por una sequía prolongada, los tensiómetros sólo registran caídas en los valores de "succión" ante lluvias de bastante significación durante los meses de noviembre-diciembre de 1962 y enero-febrero 1963, época de extrema sequedad del suelo; durante los meses anteriores y posteriores de la sequía, las respuestas son más rápidas ante la presencia de lluvias de menor cuantía.

Fue un año agrícola muy malo, pues la sequía comenzó apenas iniciada la primavera y sus efectos fueron desastrosos para los cultivos cerealeros principalmente.

En la segunda campaña, que contrariamente a la anterior, se caracterizó por la abundancia de lluvias, los tensiómetros se mantienen en bajos valores de succión del suelo durante casi todo el ciclo, salvo en los meses de enero-febrero 1964, donde la sequía propia del verano abarca un corto período que señalan eficazmente los tensiómetros. Año agrícola óptimo por la humedad almacenada en el subsuelo durante todo el ciclo vegetativo. Se comprueba la eficacia de los tensiómetros como herramienta indispensable para conducir planes de riego en zonas de cultivos subáridos y la practicidad de su manejo e información, que suministran constantemente al agricultor en relación al estado de sequedad del suelo, señalando la oportunidad de los riegos y el momento de su finalización.

RÉSUMÉ. — Etudes d'humidité et température dans de profils des sols « plattenses ». Techniques tensiométriques (système Richards), par A. F. RIZZO <sup>1</sup>.

Pendant les années 1962-63-64 on réalisa dans le champ expérimental de la Faculté d'Agronomie de La Plata un essai tensiométrique dans des sols où l'on cultive des céréales; ces expériences comprenaient deux étapes.

Dans la première étape on installa deux tensiômetros à 0,30 m de profondeur; dans l'autre à 0,20 m, c'est à dire plus superficiellement.

Dans les deux étapes, qui comprennent une année complète, météorologique et agricole, on plaça un des tensiômetros pourvu d'un "vacuometer" à colonne de mercure, au milieu d'une culture de blés sélectionnés par plans de phytotechnique génétique, et l'autre appareil à horloge type Bourdon dans une parcelle de 1 m<sup>2</sup> de terre libre toute végétation.

De cette façon en enregistrant au cours de l'année les valeurs de succión du sol dans les deux appareils on a obtenu deux tensiogrammes.

Dans chacun d'eux on observa les chiffres correspondantes aux précipitations pluviales pendant tout le cycle météorologique pour comparer ces chiffres des tensiogrammes dues à la pluie, à l'action de la culture du blé et des herbes sur l'humidité du sol par opposition au sol nu, pris comme témoin.

A part et pour les deux expériences ou étapes, on a pris sous forme de dia-

<sup>1</sup> Atención de la profesora Juana B. Grattoni de Molino.

gramme les notes correspondantes à la température et à l'humidité relative de l'air atmosphérique pour établir le degré d'influence de ces états météorologiques sur l'humidité de ces sols.

Pendant la première étape caractérisée par une sécheresse prolongée, les tensiomètres enregistrent seulement des chutes dans les valeurs de succion, avec des pluies considérables pendant les mois de novembre, décembre 1962, janvier et février 1963, époque d'une extrême sécheresse; pendant les mois antérieurs et postérieurs à la sécheresse commença avec le printemps et ses effets furent désastreux pour les cultures de céréales principalement.

Dans la deuxième étape, par opposition caractérisée par l'abondance des pluies, les tensiomètres marquent des valeurs peu considérables de succion du sol pendant presque tout le cycle, sauf aux mois de janvier et février 1964 où la sécheresse propre de l'été comprend une période très courte indiquée très efficacement par les tensiomètres.

Très bonne année agricole par l'humidité accumulé dans le sous-sol pendant tout le cycle. Comme conclusion, on peut dire que les tensiomètres sont des instruments non seulement utiles, mais indispensables pour établir des plans d'irrigation des zones de culture sous-arides, par la facilité de son emploi et par l'information qu'ils fournissent constamment aux agriculteurs sur la sécheresse du sol, en leur indiquant le moment précis de commencer et de finir l'arrosage des terrains.

#### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALACCIA, H. A., 1956. *Experiencias con un tensiómetro "Lark" en la determinación de humedad del suelo.* — Rev. de la Asociación de Ingenieros Agrónomos. Año XXV, n° 98 52-59, Montevideo, Uruguay.
- CABRERA, A. L., 1948. *Las comunidades vegetales de los alrededores de La Plata.* — Ap. de Lilloa, T. XX 269-376. Actas del 2° Congreso Sudamericano de Botánica, Tucumán, Argentina.
- DE FINA, A. L., 1945. *Los elementos climáticos y los cultivos.* — Enciclopedia Agropecuaria Argentina (28), 258 pp. Ed. Sudamericana, Bs. Aires, Argentina.
- KENWORTHY, A. L., 1944. *Cup conductance, field and laboratory calibration of tensiometers employing inexpensive porous cups.* — Rev. Soil Science, Vol. 59, n° 5 397-404. Ed. Bear y Kitchen, Baltimore, U.S.A.
- MARSHALL, T. J., 1959. *Relations between water and soil.* — Technical communication n° 50. Ed. Commonwealth Bureau of Soils Harpenden, 1 vol., 91 pp., Londren, Gran Bretaña.
- RICHARDS, L. A., 1941. *Soil moisture tensiometer materials and construcción.* — Rev. Soil Science, Vol. 53, n° 4 241-248. Ed. Bear y Kitchen, Baltimore, U.S.A.
- 1949. *Methods of measuring soil moisture tension.* — Rev. Soil Science, Vol. 68, n° 1 : 95-112. Ed. Bear y Kitchen, Baltimore, U.S.A.

- SKALING, P. E., 1961. *Instruments for the extraction and measurement of soil moisture*. — Cat. n° 60, 38 pp. Ed. Soilmoisture Equipment Co., California, U.S.A.
- STOLZY, L. H., MARSH, A. W., PUFFER, R. E. y BAIER, D. C., 1960. *Placement of tensiometers as guides to irrigation practices*. — Rev. California Agriculture, Vol. 14, n° 3 : 11. Ed. Universidad de California, U.S.A.
- TSCHAPEK, M. W., 1959. *El agua en el suelo*. — 1 vol. il., 402 pp. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina.
- VEIHMEYER, F. J. y HENDRICKSON, A. H., 1949. *Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils*. — Rev. Soil Science, Vol. 68, n° 1 75-94. Ed. Bear y Kitchen, Baltimore, U.S.A.

Cátedra de Edafología, julio de 1964.