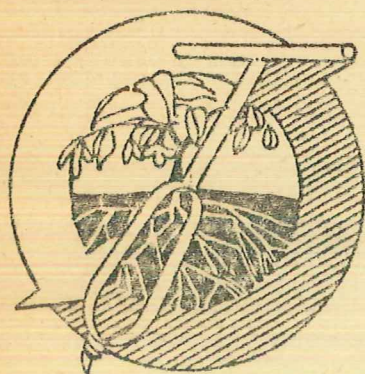




M.A.P.
dirección de suelos

**CARACTERISTICAS FISICAS
DE LOS PRINCIPALES SUELOS
AGRICOLAS DE *CANELONES-*
MONTEVIDEO.
SU INTERPRETACION
AGRONOMICA.**

BOLETIN TECNICO N°8

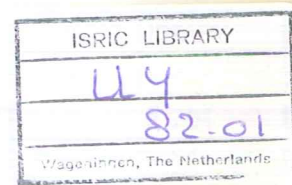
**PARTE III — CONDICIONES DE
LABOREO DE LOS
SUELOS.**

ISRIC LIBRARY

UY - 1982.01

Wageningen
The Netherlands

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA
DIRECCION DE SUELOS



CARACTERISTICAS FISICA DE LOS PRINCIPALES SUELOS AGRICOLAS DE
CANELONES - MONTEVIDEO
SU INTERPRETACION AGRONOMICA

PARTE III - CONDICIONES DE LABOREO DE LOS SUELOS

ING. AGR. JUAN CARLOS SGANGA

ING. AGR. ANA TERZAGHI

NOVIEMBRE, 1984

FE DE ERRATAS

1) Página 5 - Línea 37

dice: niendo como el valor de F en el cual ...

debe decir: nido como el valor de pF en el cual ...

2) Página 6

línea 2 - debe decir $A < 0$

línea 5 - debe decir $D > 10$

3) Página 10 - línea 15

dice: lo se adhiere al martillo ...

debe decir: lo que se adhiere al martillo ...

4) Página 11 - línea 33

dice: $n = 187.06 \times 10^{-6}$ dina/seg/cm² (20°C en el ...)

debe decir: $n = 187.06 \times 10^{-6}$ dina seg/cm² (20°C en el ...)

5) Página 26 - línea 15

dice: nular $r = 0$ es pues ...

debe decir: nula $r = 0$ es pues ...

6) Página 26 - línea 21

dice: dro medio residual ...

debe decir: drado medio residual ...

7) Página 26

La fórmula debe quedar así:

$$t = \frac{\bar{Y} - b\bar{X}}{S_{yx} \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum(x-\bar{X})^2}\right)}} = 2.56$$

8) Página 29

En la línea correspondiente a los valores "y", en la novena columna, el valor correcto es 25.5 en lugar de 35.5. (Figura N° 6).

9) Página 35

Referencia N° 10 - Falta el nombre del Autor: KOENIGS, F.R. ...

10) Página 36

Referencia N° 16 - Última línea debe decir: Boletín Técnico del MAP 8 (1982).

INDICE TEMATICO

- I) RESUMEN
- II) INTRODUCCION
- III) SUELOS
 - III₁ Generalidades
 - III₂ Suelos estudiados
- IV) CLIMA
- V) VEGETACION Y USO ACTUAL
- VI) CICLO HIDROLOGICO
- VII) CARACTERISTICAS ESTUDIADAS

Parte I

VII₁ Suceptibilidad a la erosión

- VII_{1.1} Antecedentes
- VII_{1.2} Metodología
- VII_{1.3} Factores fisiográficos-resultados y discusión
- VII_{1.4} Factores físicos del suelo-resultados y discusión
- VII_{1.5} Factor manejo
- VII_{1.6} Conclusiones
- VII_{1.7} Bibliografía

Parte II

VII₂ Agua disponible del suelo

- VII_{2.1} Antecedentes
- VII_{2.2} Metodología
- VII_{2.3} Factores fisiográficos-resultados y discusión
- VII_{2.4} Arraigamiento- resultados y discusión
- VII_{2.5} Factores físicos del suelo- resultados y discusión
- VII_{2.6} Factor manejo
- VII_{2.7} Balance hídrico- resultados y discusión
- VII_{2.8} Conclusiones
- VII_{2.9} Bibliografía

Parte III

VII₃ Condiciones de Laboreo de los Suelos

- VII_{3.1} Introducción
- VII_{3.2} Revisión Bibliográfica
- VII_{3.3} Metodología y Materiales
- VII_{3.4} Resultados
- VII_{3.5} Discusión
- VII_{3.6} Conclusiones

Parte IV

VII₄ Aereación (Drenaje)

- VII_{4.1} Antecedentes
- VII_{4.2} Metodología
- VII_{4.3} Factores fisiográficos- resultados y discusión
- VII_{4.4} Factores físicos del suelo-resultados y discusión
- VII_{4.5} Factor manejo
- VII_{4.6} Conclusiones
- VII_{4.7} Bibliografía

Parte V

VIII) CONCLUSIONES GENERALES

IX) ANALISIS DE LAS INTERACCIONES ENTRE PROPIEDADES FISICAS

X) BIBLIOGRAFIA

XI) APENDICE

I N D I C E

VII ₃	CONDICIONES DE LABOREO DE LOS SUELOS	1
VII _{3.1.}	INTRODUCCION	1
VII _{3.2.}	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
VII _{3.3.}	METODOLOGIA Y MATERIALES	8
VII _{3.3.1.}	Límites de Atterberg	8
VII _{3.3.2.}	Curvas de pF	8
VII _{3.3.3.}	Perfiles de humedad	8
VII _{3.3.4.}	Test de microlaboreo	8
VII _{3.3.5.}	Test de Perdok	10
VII _{3.3.6.}	Suelos	13
VII _{3.4.}	RESULTADOS	
VII _{3.4.1.}	límites de Atterberg	14
VII _{3.4.2.}	Test de microlaboreo	14
VII _{3.4.3.}	Test de Perdok	14
VII _{3.4.4.}	Curvas de pF	15
VII _{3.4.5.}	Perfiles de humedad	15
VII _{3.5.}	DISCUSION	26
VII _{3.6.}	CONCLUSIONES	33
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	35
	APENDICE	

VII₃ . CONDICIONES DE LABOREO DE LOS SUELOS

VII.3.1. INTRODUCCION

La evaluación de este aspecto, será realizada de 2 formas:

1. determinando cuál es el momento más adecuado para el laboreo de los suelos.
2. contabilizando los días dentro de cierto período, en que el suelo se encuentra en condiciones de ser trabajado.

Ambas resumen las definiciones dadas por HOOGMOED (1980) sobre la cualidad de la tierra "Laborabilidad".

En el área, el laboreo normalmente se lleva a cabo luego del invierno, para la siembra de un cultivo de verano, o bien en el otoño, para la siembra de un cultivo de invierno. En ambos casos, el contenido de humedad de los suelos es más alto que el ideal. Esto, junto con el carácter impredecible de las lluvias, determina la importancia de precisar el momento más adecuado para el laboreo.

Durante mucho tiempo, los límites de Atterberg fueron usados para determinar un rango de humedad dentro del cual las operaciones de laboreo se hacían con menor dificultad. En este trabajo, se determinan los límites de Atterberg, y se incluyen otros dos métodos de laboratorio, desarrollados en Holanda. El primero de ellos, el test de microlaboreo, desarrollado por Koenigs F.R. (KOENIGS, 1976), tiende a definir un valor crítico, y no un rango (como se desprende de la teoría de Atterberg), lo que le da mayor precisión. Se basa en la hipótesis de que es posible imitar el laboreo en condiciones de laboratorio, lo cual en Holanda, fue verificado al comparar sus resultados con las observaciones en el terreno. El segundo método fue desarrollado por Perdok, U.D. (PERDOK, 1973), y se basa en medir la permeabilidad al aire de una muestra de suelo con variables contenidos de humedad y luego de aplicársele diferentes presiones. La razón de incluir este último método, reside en que, una vez ajustado, resulta en una medida más precisa del punto crítico, donde no es necesario un juicio subjetivo. En condiciones holandesas, ambos métodos han coincidido en sus resultados.

También la curva de pF se determina para los horizontes superficiales de los 14 perfiles en estudio, con la finalidad de ver si el punto crítico puede o no ser asimilado con el contenido de humedad del suelo a un cierto valor de pF.

Los resultados obtenidos por los distintos métodos son comparados entre sí. También se realiza una regresión múltiple con el fin de ver en qué grado el punto crítico puede ser explicado por características del suelo tales como textura, % de materia orgánica, cationes presentes en el complejo de intercambio.

Con los datos que se tienen de perfiles de humedad llevados a cabo durante cierto período, se contabilizan los días dentro de ese período, en que los suelos estarían aptos para ser laboreados.

Como conclusión, se intenta clasificar a los suelos de acuerdo al grado de dificultad que presentan al laboreo.

VII3.2 REVISION BIBLIOGRAFICA

Es frecuente que los suelos tengan demasiada humedad, lo que no permite un correcto laboreo, esto es: obtener buenas condiciones para el crecimiento de las plantas, junto con el mínimo deterioro posible de la estructura del suelo, y un requerimiento de energía bajo. Y también sucede que un retraso en la fecha del laboreo, resulta en un menor rendimiento de los cultivos.

En Holanda, donde el laboreo en primavera es problemático, WIND (1960), determinó un decrecimiento del rendimiento de papas de hasta 1% por cada día de retraso en la siembra (citado por KOENIGS, 1976). Eso hace que sea aconsejable conocer con la mayor precisión posible el punto crítico por encima del cual el laboreo no da buenos resultados.

La "Laborabilidad" es considerada una cualidad de la tierra, que está en relación con las siguientes características de la misma: textura, nivel de la napa freática (principalmente en invierno), curvas de pF (pF significa el logaritmo negativo de la succión con la que el agua es retenida por el suelo, en mbar), micro relieve, relación entre la conductividad hidráulica y la succión con que el agua está retenida ($k - \psi$), lluvia-
evaporación y contenido de humedad del suelo (DIJKERMAN, 1982).

KOENIGS (1961) presenta una teoría sobre cómo el laboreo es afectado por el contenido de humedad del suelo. Una correcta labor, requiere la aplicación de suficiente cantidad de energía, y que la misma sea transferida a los agregados que deben ser desmenuzados. Esa transferencia de energía, está determinada principalmente por la fricción y la cohesión entre los propios agregados, y entre ellos y los implementos utilizados. Tanto la fricción como la cohesión, dependen en alto grado del contenido de humedad del suelo. La cohesión intra-agregados, es el resultado de la acción de dos fuerzas: una que tiende a separar las partículas (fuerzas expansivas) y otra que tiende a mantenerlas unidas (enlaces de la materia orgánica, etc.); su máximo valor se da a valores muy bajos de contenido de humedad; luego decrece marcadamente, hasta llegar a un mínimo, a saturación.

La cohesión inter-agregados por otro lado, depende de la forma, tamaño, arreglo de los agregados y de la fuerza ejercida por el agua de capilaridad. En un principio, aumenta con el contenido de humedad, pues los puntos de contacto entre los agregados se van rodeando de anillos de agua. Una vez que estos anillos se van uniendo, el valor de dicha fuerza decrece, y llega a su mínimo también a saturación. Con contenidos muy bajos de humedad, el laboreo no es efectivo; la transferencia de energía a los agregados se hace dificultosa, y la energía requerida para desmenuzarlos es máxima.

Unicamente en el caso de un suelo suelto (texturas livianas), la energía requerida cuando está seco, es baja.

Existe un rango intermedio de humedad, donde la cohesión interna es lo suficientemente baja, y las películas de agua entre los agregados brindan una cohesión suficiente entre ellos, tal que al aplicarse una fuerza cortante y de compresión con cierto implemento, se origina una fuerza de reacción en el suelo de una magnitud que permite la ruptura de los agregados. Si la humedad es demasiado alta, los agregados en cambio sufren deformaciones al aplicárseles fuerzas cortantes y de compresión.

En 1911, Atterberg desarrolló un método tendiente a caracterizar la consistencia del suelo, en relación a su contenido de humedad (BOEKEL y PEERLKAMP, 1956; BAVER, 1973). Definió dos límites; el "límite plástico inferior" (LPI) como el contenido de humedad (expresado como % en peso) en el cual se produce el cambio de consistencia friable a plástica. El "límite plástico superior" (LPS), como el contenido de humedad en el cual el suelo comienza a fluir al aplicársele una fuerza exterior. También definió el "punto de pegajosidad", como el contenido de humedad en el cual el suelo empieza a adherirse a una superficie metálica.

Atterberg demostró que el aumento del porcentaje de arcilla, eleva el LPI en la escala de humedad, y aumenta el número o índice de plasticidad (IP), que es la diferencia entre el LPS y el LPI.

Se ha visto que los límites de Atterberg son mayores en los suelos saturados con Ca y Mg, que en los saturados con K y Na. A la vez, los saturados con Mg, son algo más altos que los saturados con Ca (BAVER, 1973),

Durante mucho tiempo estos límites fueron usados para la clasificación de los suelos. La ubicación del contenido de humedad a pF 1.9 (capacidad de campo) con respecto a ambos límites, es usada como un índice de la estructura del suelo (BOEKEL y PEERLKAMP, 1956). HOOGLMOED (1980) afirma que la importancia práctica de estos límites, radica en la posición relativa de la capacidad de campo con respecto a ellos, considerando dicho contenido de humedad como el más frecuente en condiciones de campo (ésto es cierto en condiciones de baja evaporación). Así, define 2 índices:

- a. La diferencia entre CC y LPI, como la sensibilidad del suelo a la compactación (también llamado "indicador de la friabilidad").
- b. La diferencia entre el LPS y CC, como la sensibilidad al encostramiento.

En condiciones holandesas, halló que el índice "a" no debía ser mayor a 4% (% en peso) y el índice "b" no debía ser menor a 3%.

Con respecto al laboreo, la diferencia entre el LPS y el LPI, llamada índice de plasticidad (IP), se considera el rango dentro del cual el riesgo de ocasionar cambios en la estructura es mayor. El suelo estaría en condiciones de ser trabajado, dentro de un entorno que rodea al LPI, teniendo en cuenta que por sobre él, ya se vuelva plástico y susceptible a un deterioro de la estructura. A su vez, el "punto de pegajosidad" ha sido considerado el verdadero punto límite, por encima del cual el suelo comienza a adherirse a los implementos.

REMY (1971) encuentra problemas en el uso de estos límites para cuantificar la "laborabilidad" de los suelos. Su crítica se basa en que para la determinación de los mismos, se procede a una completa destrucción de la estructura del suelo, haciendo muy diferentes las condiciones de laboratorio a las que se dan en el terreno. Pero acepta que, de no existir otra información, los límites de Atterberg permiten tener una idea objetiva sobre los problemas de diferentes suelos frente al laboreo.

GONNET (1978), utiliza el balance hídrico según Thornwaite y Mather, para cuantificar los días laborables en suelos de La Estanzuela. Definió días aptos, como aquellos en que el suelo presenta menos de 84% del agua disponible en los primeros 10-12 cm. Determinó una alta correlación entre los días aptos definidos por este método y los efectivamente aptos.

En general, en la bibliografía no se encuentra acuerdo sobre cuál es el punto crítico para laboreo. En este trabajo se intenta definir ese punto mediante la aplicación de dos métodos de laboratorio, desarrollados y verificados en condiciones holandesas.

El primero de los métodos empleados, tendientes a definir un punto crítico por encima del cual no conviene efectuar labores (Límite Superior de Laboreo o LSL), es el test de micro laboreo (KOENIGS, 1976). Se basa en simular laboreo en condiciones de laboratorio, y su validez fue verificada en el terreno, en 20 granjas holandesas. Este test también fue aplicado en suelos de Kenya (KAUFFMAN, 1975). En ese caso, se estudiaron los siguientes rangos:

1. Diferencias entre CC y LSL. Indica cuánto se debe esperar luego de una lluvia para poder trabajar un suelo.
2. Diferencias entre el LSL y el LIL (límite inferior de laboreo) definiendo como el valor de F en el cual la relación entre la superficie de los agregados, después y antes del laboreo, tiene un valor 2. Este LIL no aparece tan claramente como el LSL, y su validez no ha sido verificada en condiciones de terreno.

En cuanto al rango 1, fueron divididas cuatro clases:

A	0	favorable
B	0 - 5	
C	5 - 10	
D	10	desfavorable

El segundo método, desarrollado por Perdok, se basa en medir la permeabilidad al aire de un suelo, con diferentes contenidos de humedad, y luego de aplicarle diferentes presiones (PERDOK, KLOOSTER y SPRONG, 1973). Fue verificado también en 20 perfiles holandeses, con el objetivo de determinar el LSL. En el momento en que los granjeros seleccionados, determinaban que el suelo podía ser trabajado, se tomaban muestras para determinar el contenido de humedad. Se vio que el LSL estaba altamente correlacionado con el contenido de humedad a pF 2.7, y también con el contenido de humedad al cual se obtenía una permeabilidad al aire de 100. 10-10 cm² luego de aplicar una presión de 4 Kg/cm². También fue determinada una alta correlación con los resultados del test de Koenigs.

El principio en que se basa el test de Perdok, consiste en la influencia de la compactación en la permeabilidad al aire. Se visualiza en la siguiente fórmula presentada por KOOREVAAR y DIRKSEN (1982).

$$K_i = \frac{1}{8 \tau} \cdot \sum (\Delta \phi_i) \cdot r_i^2$$

dónde:

K_i	representa la permeabilidad intrínseca al aire,
τ	es un factor de tortuosidad,
ϕ	es la porosidad y
r	el radio de los poros.

El término $(\Delta \phi_i)$ representa la contribución a ϕ , de todos los poros con radio r_i .

Respecto a la tortuosidad, ella aumenta cuando cierta presión es aplicada a una muestra, pues los macroporos son reducidos de tamaño, resultando así una menor K_i . Por otro lado, cuando aumenta el contenido de humedad, sólo parte de la porosidad queda disponible para el transporte de aire, resultando así en un menor K_i .

Existen muchas referencias en la bibliografía, que ilustran sobre el efecto de compactación que sufre un suelo cuando es trabajado con exceso de humedad. La porosidad disminuye, a valores que son inadecuados para un correcto desarrollo de los cultivos; se presentan problemas para la infiltración de agua y por lo tanto para el riego, y se requiere mayor energía para sucesivas labores.

Dos de los parámetros más afectados por la compactación del suelo, son la emergencia de las semillas, y el desarrollo radicular (CHANCELLOR, 1977). Este autor hace referencia a varias causas de compactación. Así por ejemplo menciona un experimento realizado por Gill en 1959 con suelos arcillosos, en los cuales el efecto de contracción al secarse, producía compactación. Vieron que si al suelo se le aplicaba una fuerza cuando estaba con un alto contenido de humedad, se provocaba una estructura tal que permitía una gran contracción del mismo al secarse. Así, medidas de la densidad aparente, mostraban ascensos de 1.54 g/cc con 25% de humedad, a 1.75 g/cc con 20% de humedad.

Suelos ricos en materia orgánica, tienen mejores propiedades físicas (HAMBLYN y DAVIES, 1977). Determinaron que a mayores niveles de materia orgánica, aumenta la capacidad del suelo de retener agua, y la porosidad; disminuye la sensibilidad a la compactación, y la densidad aparente. En suelos francos, de Inglaterra, se llevó a cabo un experimento en el cual, varias muestras con diferentes contenidos de humedad, fueron compactadas, dentro de un cilindro de 7 cm de diámetro, con un martillo de 20 Kg. La densidad aparente siempre fue menor en los casos en que el contenido de materia orgánica era mayor, en todos los perfiles estudiados.

Con respecto a la influencia de la arcilla en la compactación, fue realizado un estudio en la "Station de Science du Sol, INRA" en Montfavet (FAURE, 1980). Se presentan gráficas de densidad aparente contra contenido de humedad, para diferentes grados de compactación. Usando un mismo grado de compactación en mezclas arena-caolinita, vio que a mayor contenido de arcilla, menores eran las máximas densidades logradas, y mayores los contenidos de humedad con los cuales se las obtenía. Mezclas arena-montmorillonita mostraban la misma tendencia, pero el aumento de la densidad aparente a mayor contenido de humedad no era tan marcado. Cuando se usaba montmorillonita pura, en cambio, a mayor contenido de humedad, menor la densidad aparente. Concluyó de que un material se torna sensible a la compactación, sólo cuando la arcilla que contiene, alcanza cierto grado de hidratación, independientemente del tamaño de partícula, pero dependiente solamente del tipo de arcilla y de la intensidad de la energía de compactación.

Varios estudios ilustran sobre la disminución en rendimientos debida a un aumento en la densidad aparente. Por ejemplo, NEGI et al (1981) determinaron cómo disminuía el rendimiento del maíz al aumentar la densidad aparente. Vieron que en un suelo franco arenoso, el descenso era notorio a partir de un valor de densidad aparente de 1.37 g/cc, y que se alcanzaba la mitad del máximo rendimiento posible, cuando la misma era de 1.55 g/cc. En un suelo arcilloso, el máximo rendimiento se lograba con una densidad aparente de 1.14 g/cc, y se reducía a menos de la mitad, cuando el valor era de 1.20 g/cc.

VII 3.3. METODOLOGIA Y MATERIALES

VII 3.3.1 Límites de Atterberg

Se determinaron los LPS y LPI en los horizontes A y B de los suelos en estudio. Para eso, se trabajó con muestra molida y seca, tamizada a 0.4 - 0.5 mm. El LPS se determinó con el aparato de Casagrande, haciendo hasta 3 repeticiones por muestra. El LPI fue determinado por el procedimiento del rollito, de unos 3 mm de diámetro y 10 - 15 cm de largo; también con 3 repeticiones por muestra.

VII 3.3.2. Curvas de pF

Se graficaron las variaciones en el contenido de humedad (expresado como % en peso) de los horizontes superficiales de los perfiles empleados, al aplicarles diferentes succiones, correspondientes a pF 2, 3 y 4. Esta determinación se hizo con muestra molida a mano, seleccionando los agregados con 2.0 a 4.0 mm de diámetro. Se prefirió esta determinación a la obtenida en la parte II de este trabajo, por haber sido realizada con la muestra preparada de la misma forma en que se la prepara para los tests de Koenigs y de Perdok, mientras que en la parte II, se había utilizado muestra imperturbada (con todos los problemas que esto implica).

VII 3.3.3. Perfiles de humedad

En la parte II del Boletín Técnico N°8, "Agua disponible del suelo" (SGANGA y TERZAGHI, 1982), capítulo VII2.2., está descrito el procedimiento que fue empleado para estos perfiles de humedad, realizados en el período de agosto a marzo de 1980-81. Esto permite contabilizar el número de días en que el suelo está apto para ser trabajado, considerando para esto, el LSL.

VII 3.3.4. Test de microlaboreo

Es un test de laboratorio basado en imitar laboreo, a una microescala. Una serie de muestras es tratada con crecientes contenidos de humedad, y en cada una se realiza una imitación del laboreo. La evaluación de los resultados se hace por observación directa, y midiendo la fuerza necesaria para atravesar las muestras con una espátula.

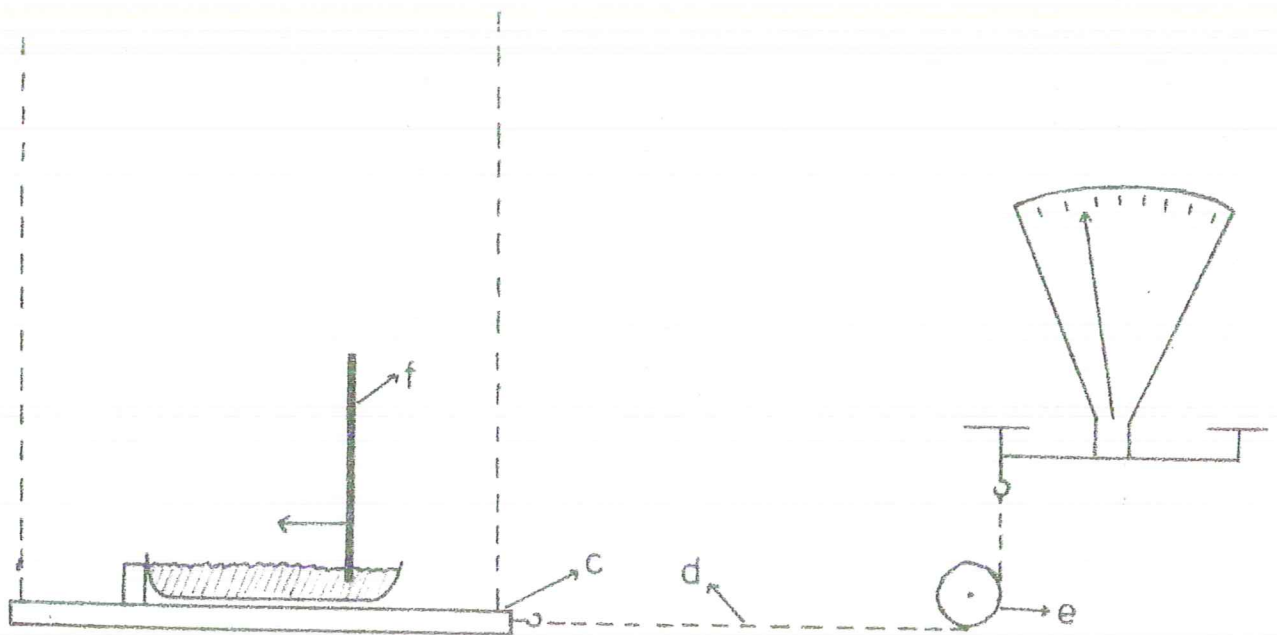
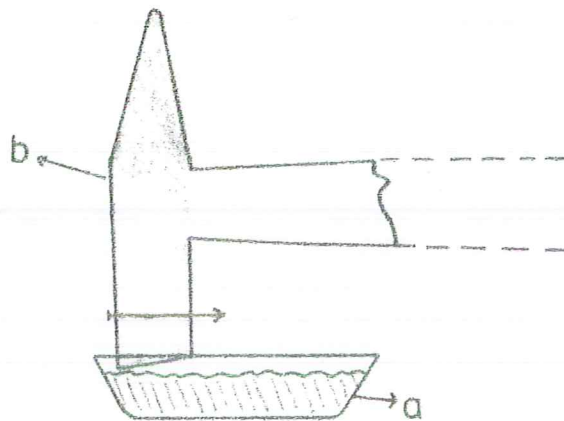


FIGURA 1 - Implementos necesarios para el test de microlaboreo.

Se preparan muestras correspondientes a los horizontes superficiales de los 14 perfiles en estudio. Una vez secadas al aire, son tamizadas a mano, y se seleccionan los agregados entre 2.0 y 4.0 mm de diámetro. Se pesan porciones de 20 g de una muestra, y se las coloca en capsulitas de acero inoxidable de unos 7 cm de diámetro ("a" en la figura 1).

Se selecciona un rango de pF entre 2 y 4, y de acuerdo a eso se agregan a cada cápsula variables cantidades de agua, de manera de lograr ese rango. El agregado de agua se hace gota por gota, usando una pipeta graduada y tratando de distribuirla uniformemente. Las cápsulas se cubren y se dejan una noche en atmósfera saturada, la que se logra agregando agua al recipiente donde están las cápsulas, y cubriéndolo con una tela mojada.

La imitación de laboreo se realiza mediante un martillo (b) con una superficie de base de 1.89 cm x 1.89 cm, y cortada en sesgo. El peso del mismo, considerando hasta 20 cm desde la cabeza, es de 180 g, resultando así en una presión de 50 g/cm². Se atraviesa cada muestra mediante 80 pasadas del martillo, desde el centro hacia los bordes, rotando la cápsula unos 160 grados cada vez. El martillo debe ser tomado cuidando de no ejercer presiones extra. Mientras se efectúan las pasadas, cada 20 de ellas se realizan observaciones visuales, de acuerdo a un código pre-establecido. El suelo se adhiere al martillo, es limpiado contra el borde la cápsula, y devuelto a la misma, también cada 20 pasadas.

Luego de la simulación de laboreo, se mide la resistencia que ofrece el suelo al pasaje de una espátula de 9 mm de ancho (f) en sentido transversal. La misma debe ser colocada verticalmente, y cuidando de no tocar el metal del fondo de la cápsula.

Mediante la Figura 1, es posible visualizar todo el procedimiento. La cápsula es ubicada en una especie de hamaca (c), que está conectada a una balanza por medio de una polea (e). La espátula es movida con la mano, en dirección opuesta a la balanza, hasta el momento en que el suelo comienza a desplazarse. En ese momento se lee en la balanza la fuerza correspondiente. Luego, se determina el contenido exacto de humedad de cada cápsula. El LSL es definido (KOENIGS, 1976) a 1% por debajo de aquel contenido de humedad (expresado como % en peso) en el que, la estructura del suelo es negativamente afectada, y la fuerza necesaria para atravesar la espátula aumenta considerablemente. Esta fuerza puede ser usada para hallar la resistencia del suelo al efecto cortante, mediante la fórmula de Mann:

$\tau = gf / (4.04 d)$ siendo gf la fuerza leída en la balanza, y d el espesor de la muestra del suelo en la cápsula (medido con un calibre, antes de atravesar la espátula).

VII 3.3.5 Test de Perdok

Se usan agregados preparados del mismo modo que en el test de Koenigs. Se colocan en aros de 100 cm³, hasta llenar las 3/4 partes de su volumen, y se humectan, de modo de lograr aproximadamente el mismo rango que en el test anterior.

En el fondo de los cilindros, se coloca un pedazo de tela fina, de forma de poder mantener los agregados en sitio. Se los deja en ambiente saturado durante una noche. Luego, a cada cilindro se le aplica sucesivamente 1, 2, 3 y 4 bars de compresión, midiendo cada vez la permeabilidad al aire.

Para aplicar esa compresión, fue usado un aparato de compresión manual, portable, modelo U-160 de la Soiltest Inc. Se trata de mantener una velocidad constante al aplicar la compresión, y una vez que se logra la deseada, se libera inmediatamente la manivela. Mediante un calibre, se mide la altura de las muestras dentro de los cilindros. La permeabilidad al aire se mide mediante un permeámetro cuyo principio de acción se visualiza en la Figura 2.

El cilindro con la muestra, se coloca en la posición 4, en el extremo de un tubo de toma (6). Hay un contenedor de aire (2) dentro de un recipiente lleno de agua hasta cierto nivel (1). Accionando lentamente la barra (5) hacia arriba y abriendo la llave (3), se permite la entrada de aire dentro del contenedor. Luego la llave se cierra, y el contenedor de aire comienza a bajar por su propio peso, forzando el pasaje de aire a través de la muestra. Se registra el tiempo que tarda el contenedor en bajar 1 cm, o 4 cm en el caso de que baje 1 cm en menos de 5 segundos.

Luego se aplica la siguiente fórmula (KMOCH, 1981):

$$K_i = \frac{V}{P} \times \frac{n}{A} \times \frac{l}{t}$$

dónde:

- V = volumen de aire que atraviesa la muestra (cm³)
- P = presión de aire dentro del contenedor (dinas/cm²)
- n = viscosidad del aire (dinas segundo/cm²)
- A = área transversal de la muestra (cm²)
- l = altura de la muestra (cm)
- t = tiempo en que el aire atraviesa la muestra, para la sección de medida que se considere (1 cm o 4 cm), expresado en segundos. Se mide con un cronómetro.

En las condiciones del experimento:

$$V/P = 6.79 \times 10^{-2} \text{ cm}^5/\text{dina para 4 cm}$$

$$n = 187.96 \times 10^{-6} \text{ dina/seg/cm}^2 \text{ (20 °C en el laboratorio)}$$

$$A = 19.635 \text{ cm}^2$$

Eso significa que $K_i = 64.69 \times 10^{-8} \text{ cm seg} \times 1/t$, siendo K_i la permeabilidad intrínseca al aire expresada en cm².

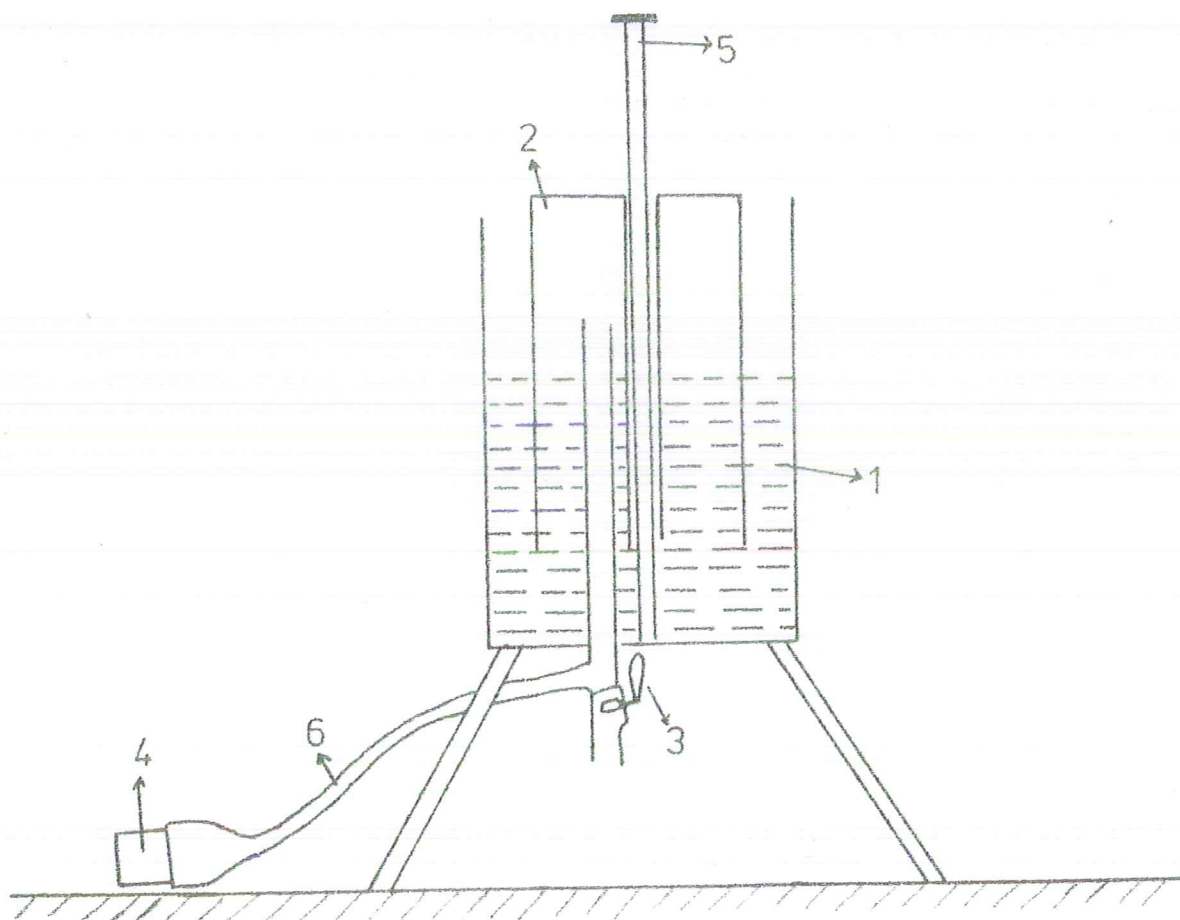


FIGURA 2 - Permeámetro.

Para cada muestra, se determina luego el contenido exacto de humedad. El LSL de acuerdo a Perdok, es aquel contenido de humedad en el cual, luego de aplicar una compresión de 4 bars, la permeabilidad intrínseca al aire tiene un valor de $100 \times 10^{-10} \text{ cm}^2$.

VII 3.3.6 Suelos

La descripción de los 14 perfiles empleados, está dada en el Boletín Técnico N°8, Parte I, Cuadro N°1, y en el Apéndice. Los perfiles son numerados, en este informe, según contenido creciente de arcilla y de materia orgánica en el horizonte superficial, como sigue:

1: 14 H 27

8 : 20 J 27

2: 6 K 29

9 : 69 K 28

3: 21 J 26

10 : 21 J 27

4: 13 H 27

11 : 66 K 28

5: 2 J 29

12 : 22 J 27

6: 3 J 28

13 : 33 K 27

7: 19 J 27

14 : 18 J 27

VII_{3.4.} RESULTADOS

VII_{3.4.1.} Límites de Atterberg

En el Cuadro 14 se presentan los valores de los límites de Atterberg para los diferentes suelos, ordenados según lo ya indicado.

VII_{3.4.2.} Test de microlaboreo

Mediciones y observaciones completas fueron realizadas en los 14 perfiles (TERZAGHI, 1983); se presenta aquí un resumen de las mismas. La Figura 3 muestra cómo varía la fuerza leída en la balanza (F) al aumentar el contenido de humedad de las muestras. Los valores obtenidos para el LSL son los siguientes:

<u>Perfil</u>	<u>LSL (%HP)</u>	<u>Perfil</u>	<u>LSL (%HP)</u>
1	11.0	8	23.2
2	19.0	9	19.9
3	18.5	10	23.0
4	20.0	11	22.0
5	27.3	12	29.5
6	23.5	13	29.0
7	23.5	14	36.3

VII_{3.4.3.} Test de Perdok

Se midió la variación en la K_i con crecientes contenidos de humedad y aplicando 2, 3 y 4 Kg/cm² de presión a cada muestra. También se graficó la variación en la densidad aparente en cada una de las diferentes situaciones (TERZAGHI, 1983)

El valor del LSL según Perdok es el siguiente:

<u>Perfil</u>	<u>LSL (%HP)</u>	<u>Perfil</u>	<u>LSL (%HP)</u>
2	23.8	9	22.2
3	18.6	10	24.8
4	20.0	11	20.9
5	28.2	12	26.7
6	22.4	13	25.5
7	20.7	14	33.2
8	21.6		

VII_{3.4.4.} Curvas de pF

En la Figura 4 se muestran las curvas correspondientes a 13 perfiles .
En el número 1 no pudo ser realizada, por carecerse en el momento de suficiente muestra.

VII_{3.4.5.} Perfiles de humedad

Con los resultados ya vistos en el Boletín Técnico N°8 Parte II (expresados en % de humedad en peso en el Apéndice de esta Parte III), se elabora el Cuadro 15, donde se contabiliza el número de días en ese período en que el suelo permanece por debajo del LSL.

CUADRO N°14

Consistencia del suelo

Perfil	Horizonte	Textura				M.O. %	Indices de Atterberg		N°de plasti- cidad
		Arcilla %	Limo %	Arena %			LPI (% en peso)	LPS	
1	A	9.08	8.28	82.64	1.63		-	18.29	--
	B	34.84	5.34	59.82	1.27	19.62		38.39	18.77
2	A	18.02	68.76	13.22	1.88	22.38		25.35	2.97
	B	47.92	45.36	6.72	1.43	21.56		51.15	29.59
3	A	19.92	18.80	61.16	3.46	-		33.49	-
	B	45.24	14.30	40.46	1.97	20.01		55.72	35.71
4	A	23.28	21.16	55.56	3.01	20.01		26.29	6.28
	B	43.84	16.16	40.00	1.90	20.02		48.94	28.92
5	A	25.12	63.44	11.44	3.05	25.07		29.99	4.92
	B	48.24	43.14	8.62	1.55	21.11		56.85	35.74
6	A	27.82	50.72	21.46	3.66	22.60		35.41	12.81
	B	47.44	39.20	13.36	3.11	28.50		56.87	28.37
7	A	27.10	65.90	7.10	2.36	20.63		28.28	7.65
	B	49.10	46.50	4.50	2.00	26.77		57.52	30.75
8	A	27.80	63.50	8.70	2.78	21.25		29.19	7.94
	B	52.30	42.20	5.50	1.96	26.34		51.24	24.90
9	A	28.62	60.32	11.06	2.59	21.43		28.62	7.19
	B	45.70	43.42	7.88	1.52	24.73		56.53	31.80
10	A	26.50	66.60	6.90	3.61	22.12		32.71	10.59
	B	49.30	46.00	4.70	2.24	27.31		58.49	31.18

Cont.//

Cont.// Cuadro 14

Perfil	Horizonte	Textura			M.O. %	Indices de Atterberg		Nº de plasti- cidad
		Arcilla %	Limo%	Arena %		LPI (% en peso)	LPS	
11	A	33.18	55.26	11.56	2.72	23.53	34.81	11.28
	B	49.22	41.70	9.08	2.15	23.51	54.38	30.87
12	A	39.00	56.20	4.80	4.10	28.06	45.48	17.42
	B	46.10	49.30	4.50	2.37	27.24	52.20	24.96
13	A	39.74	35.28	24.98	3.94	21.04	44.17	23.13
	B	46.73	33.38	19.88	2.24	32.19	57.70	25.51
14	A	40.90	55.30	3.80	7.31	32.97	60.50	27.53

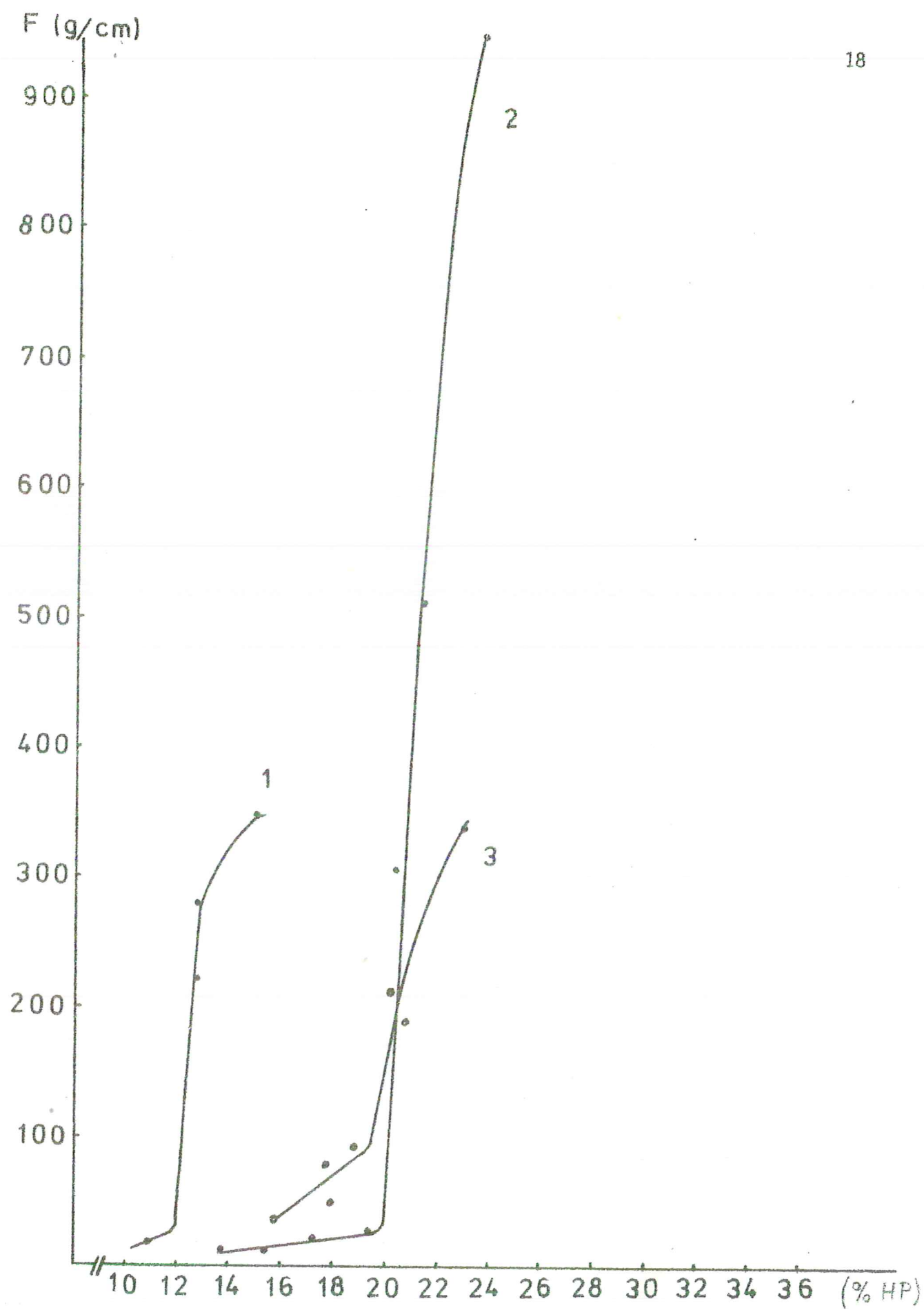
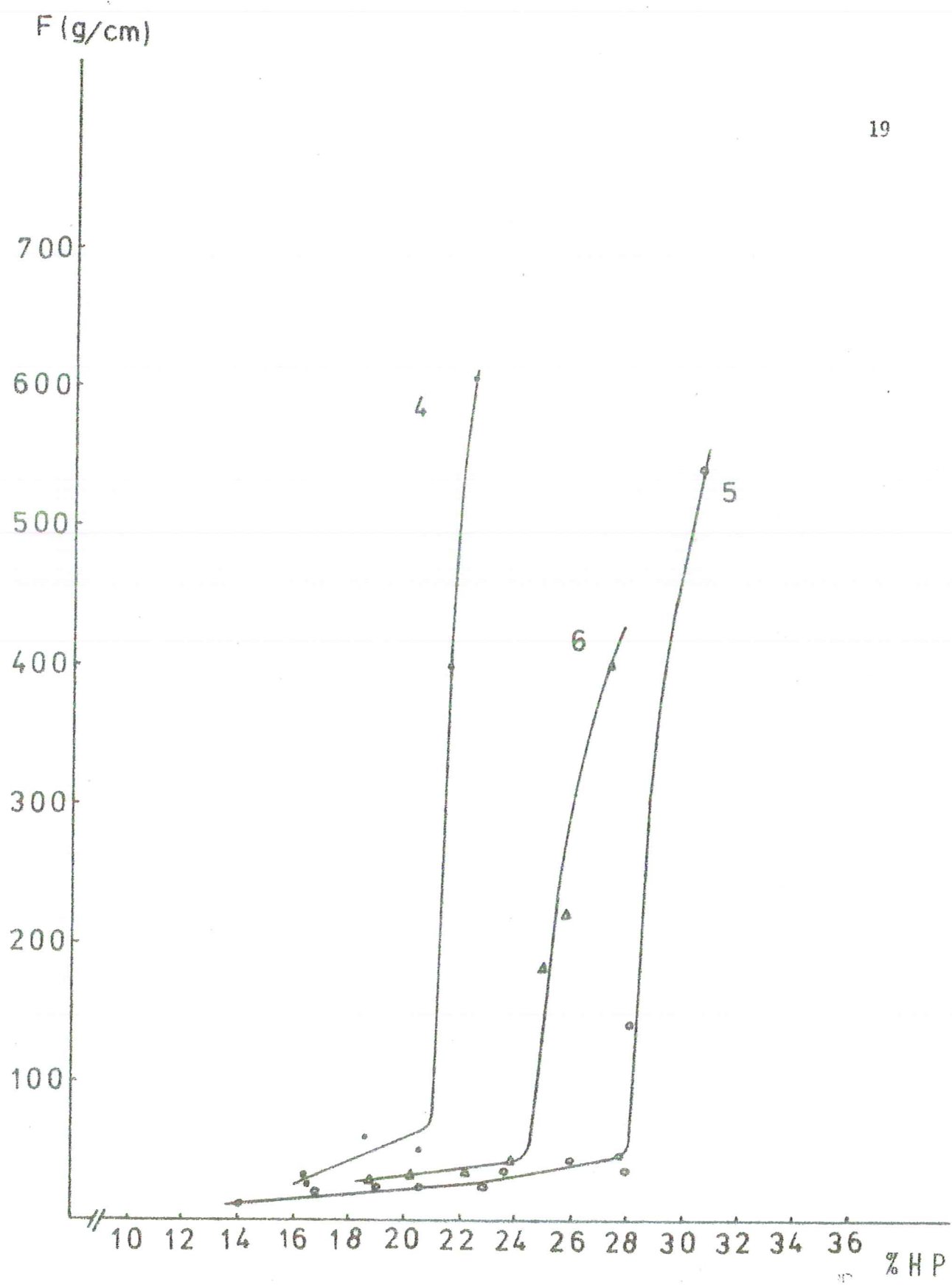
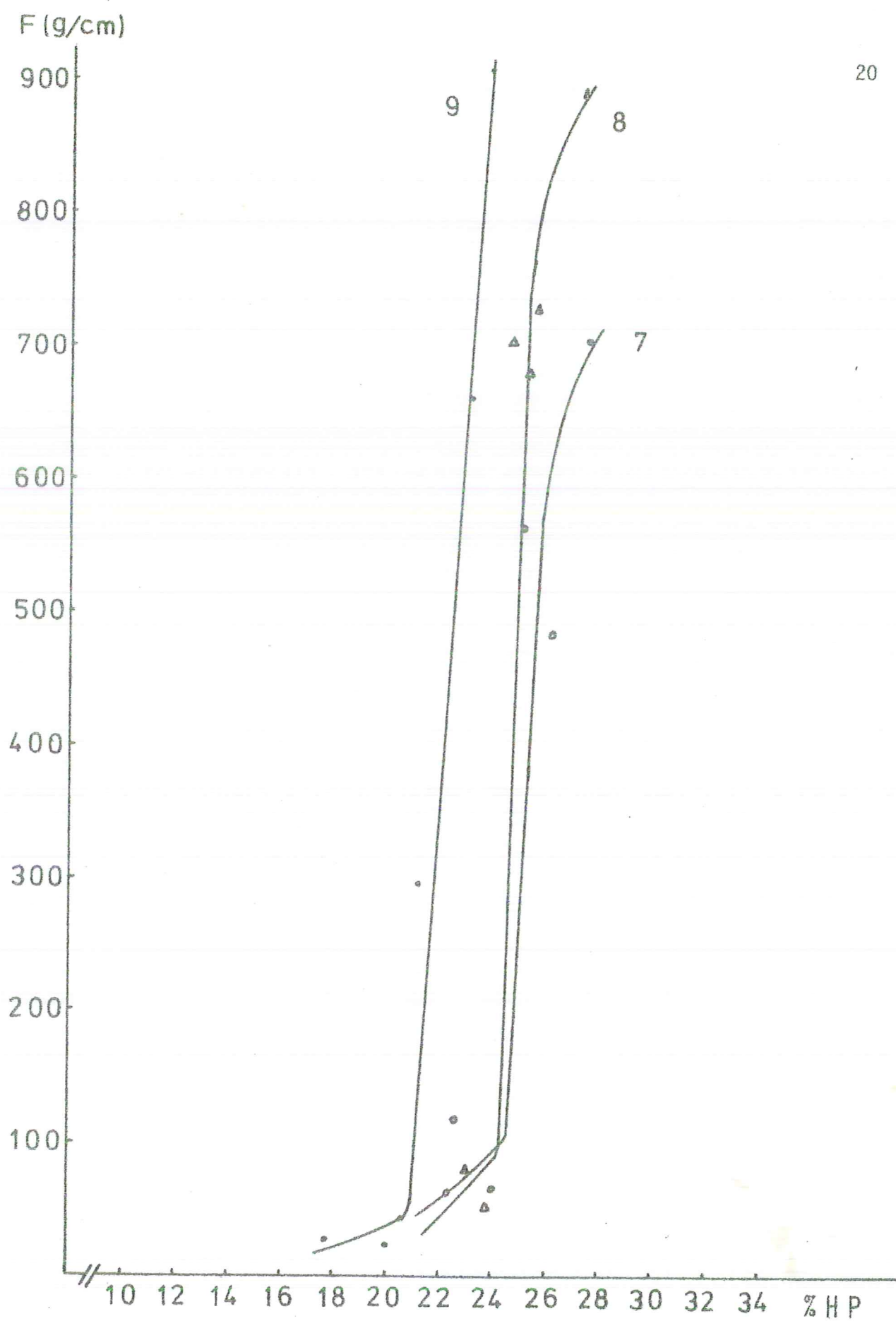
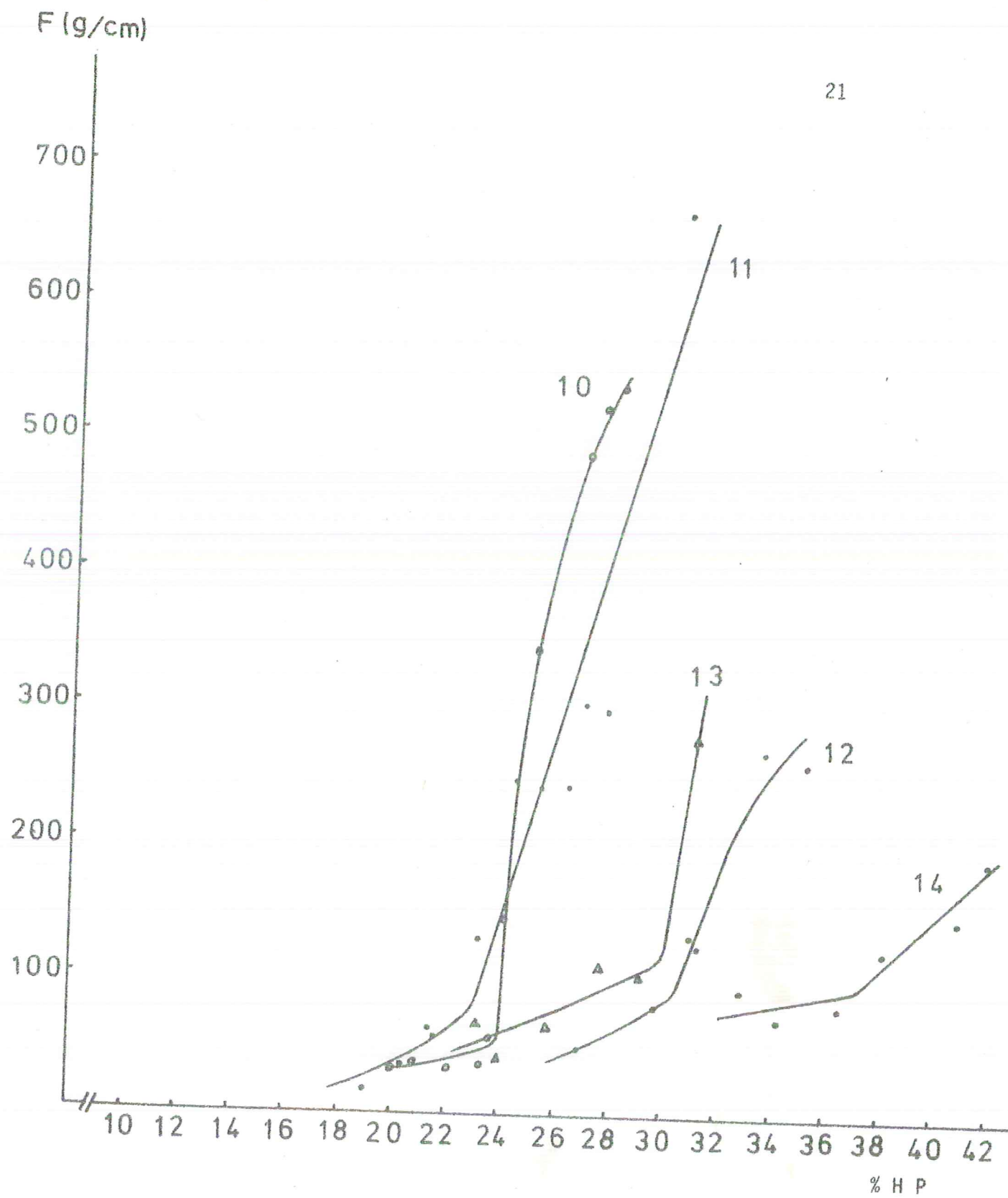
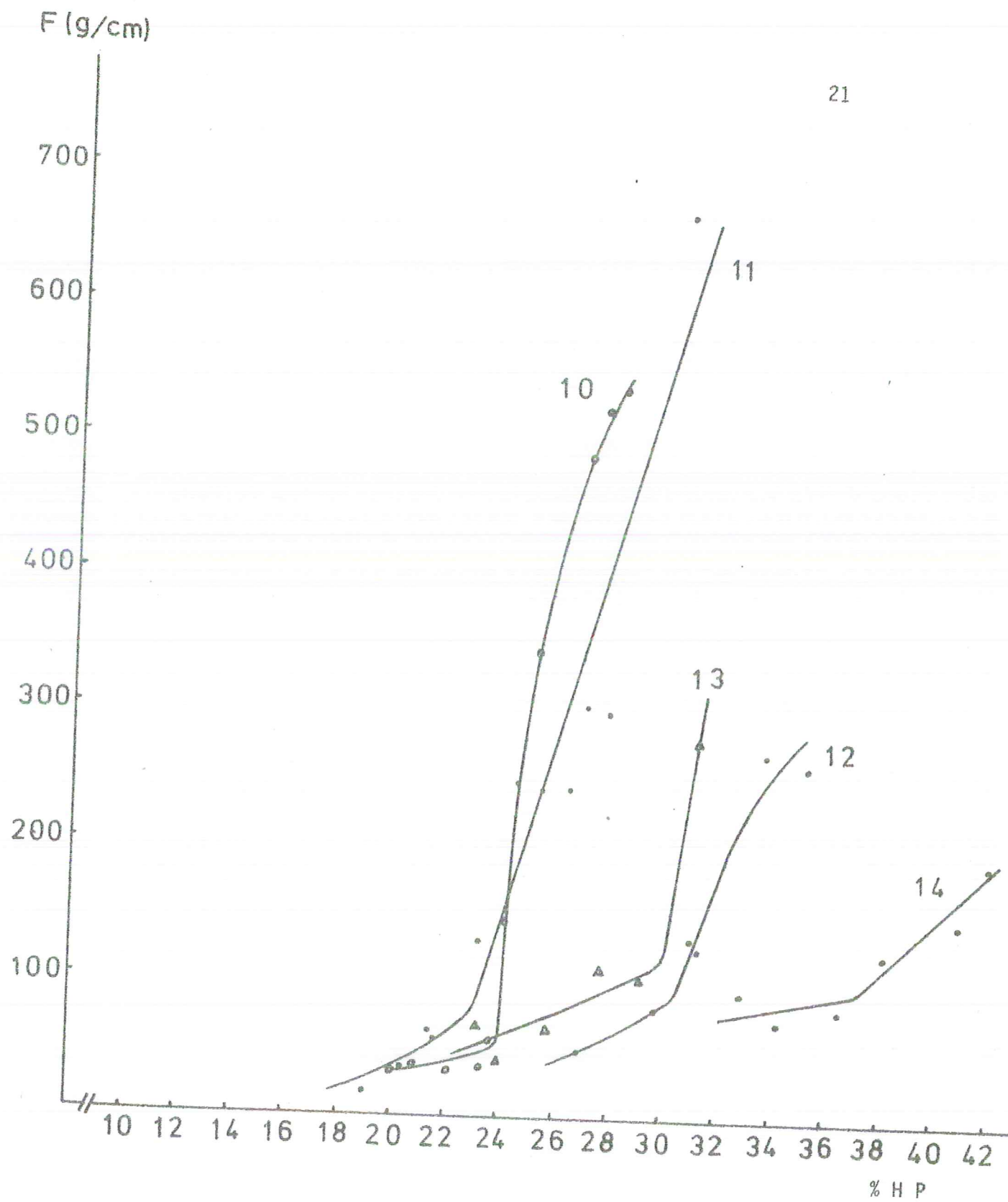


FIGURA 3 - Efecto de contenidos crecientes de humedad en el valor de F .









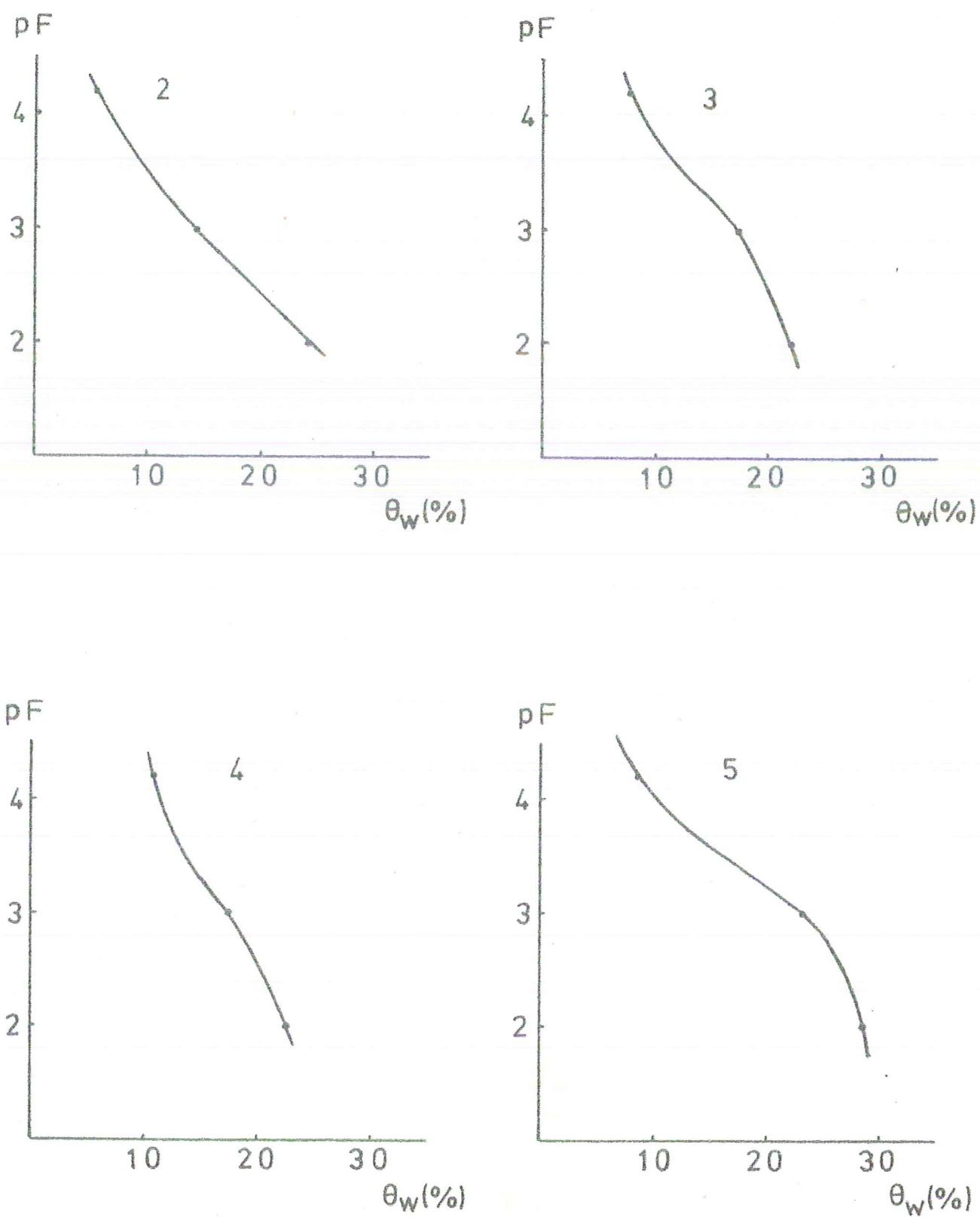
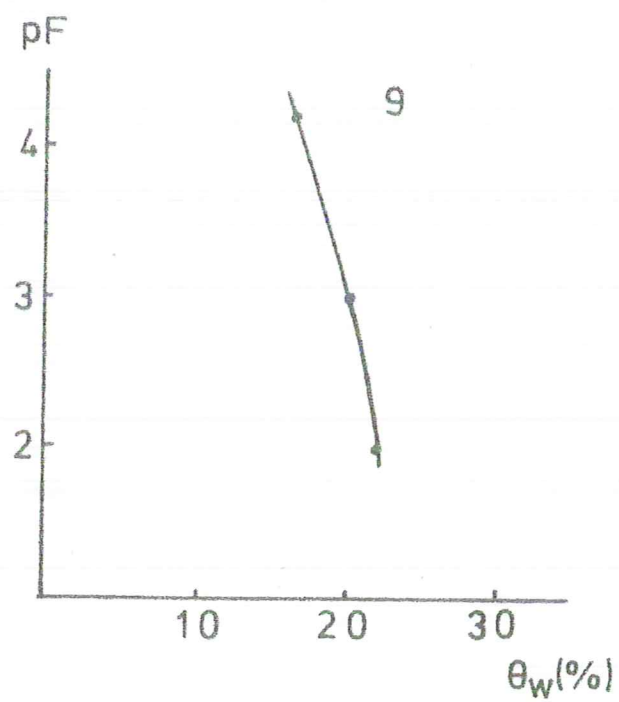
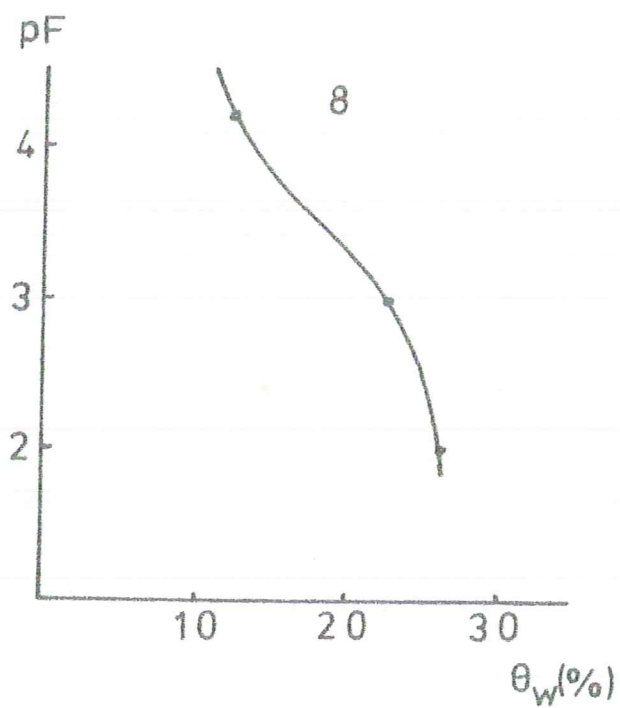
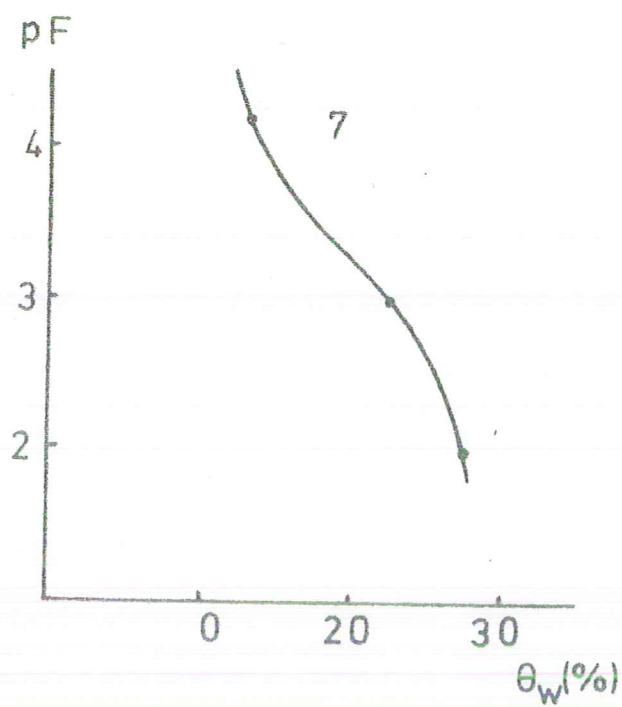
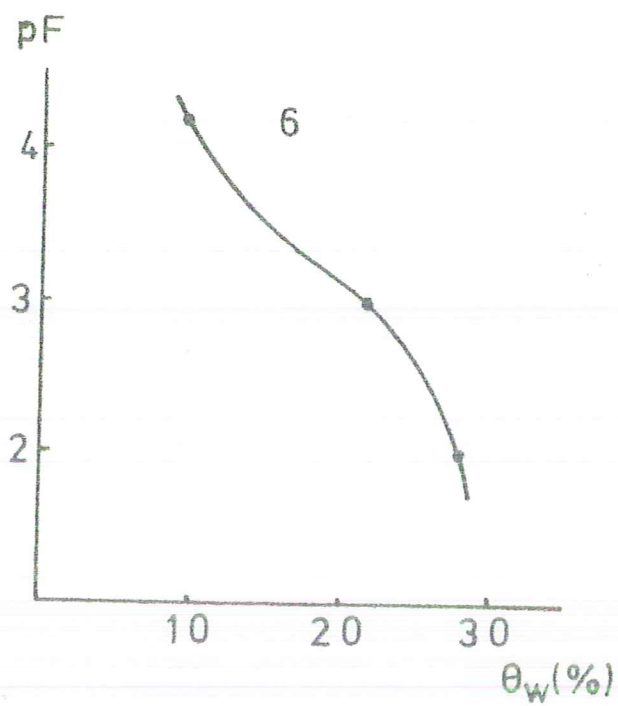
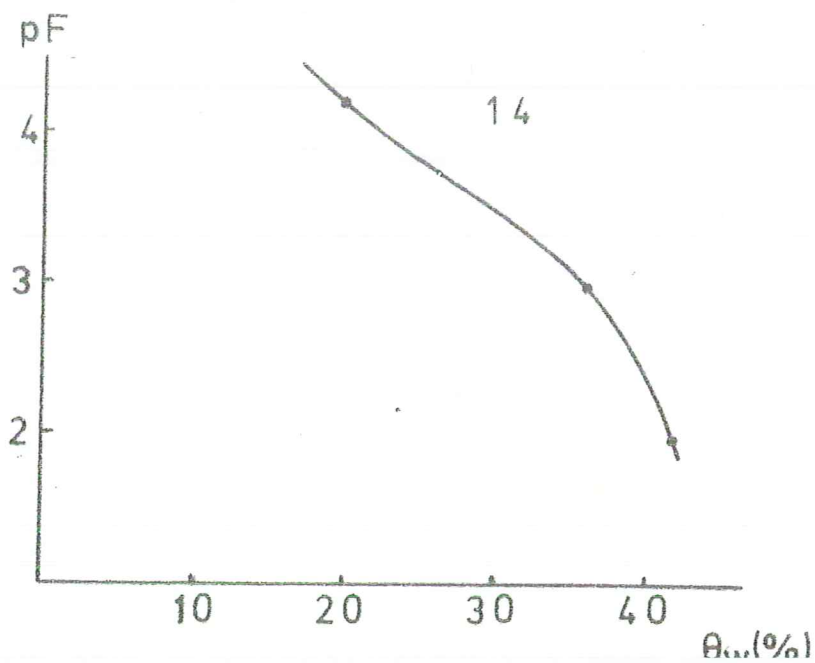
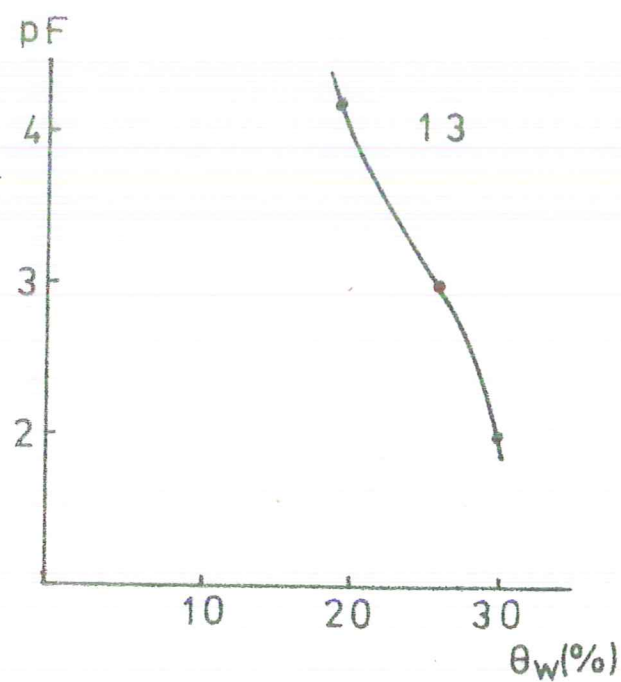
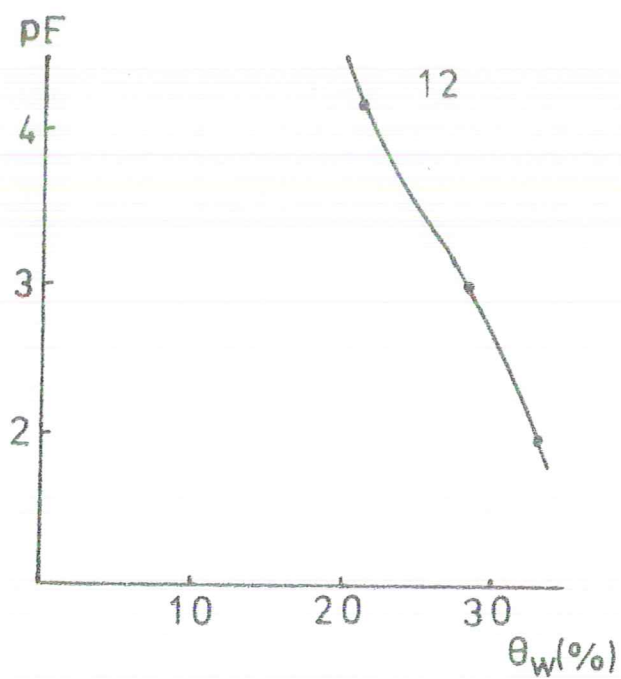
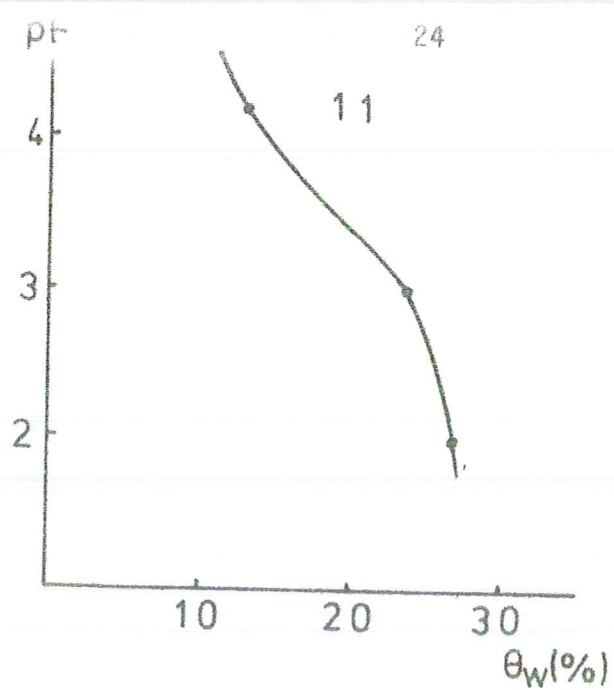
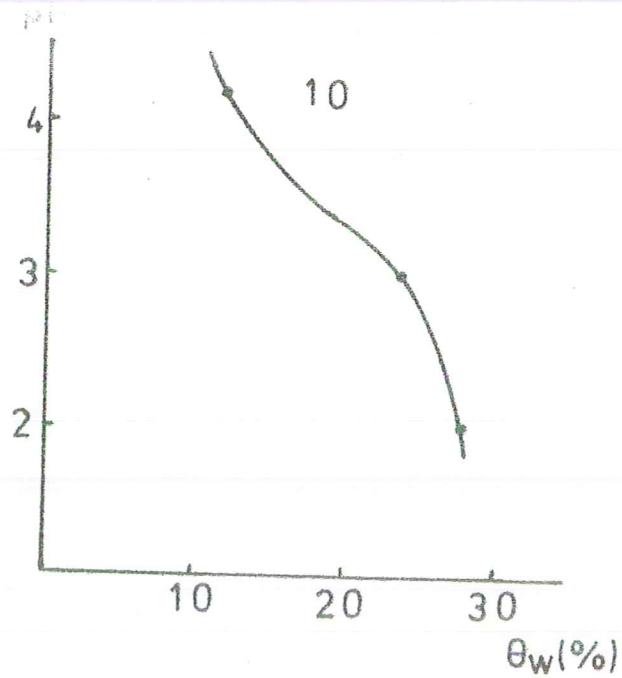


FIGURA 4 - Curvas de pF correspondientes a 13 perfiles en estudio.





CUADRO N°15 - Cantidad de días en que los suelos están aptos para ser trabajados en cierto período del año

Suelo	% HP a CC	% HP en el LSL	Cantidad de días con % HP menor que el LSL	Período considerado
1 14 H 27	16.6	11.0	71	6.8 - 19.3
2 6 K 29	24.1	19.0	140	6.8 - 19.3
3 21 J 26	22.2	18.5	128	6.8 - 19.3
4 13 H 27	22.5	20.0	142	6.8 - 19.3
5 2 J 29	28.4	27.3	195	6.8 - 19.3
6 3 J 28	28.0	23.5	148	6.8 - 19.3
7 19 J 27	27.7	23.5	164	6.8 - 19.3
8 20 J 27	26.2	23.2	163	6.8 - 19.3
9 69 K 28	22.1	19.9	41	25.9 - 19.3
10 21 J 27	27.9	23.0	141	6.8 - 19.3
11 66 K 28	26.9	22.0	121	25.9 - 19.3
12 22 J 27	33.0	29.5	23	6.8 - 19.3
13 33 K 27	29.9	29.0	205	6.8 - 19.3
14 18 J 27	42.0	36.3	188	6.8 - 19.3

VII.3.5. DISCUSION

Respecto al test de microlaboreo, se pudo ver que el LSL aparece bastante claramente, tanto por el valor de F, como por la observación directa de los resultados. En la mayoría de las muestras estudiadas, el valor de F sufre un brusco aumento, con cierto contenido de humedad. Ese aumento no es tan marcado en las muestras 12 a 14, lo que explicaría por el alto contenido en materia orgánica y arcilla de esos 3 suelos, lo que hace que la estructura no sufra una completa destrucción.

Los resultados del test de Perdok muestran que a mayor contenido de humedad, menor la K_f , y también que a un mismo contenido de humedad, a mayor presión aplicada al suelo, menor la K_f .

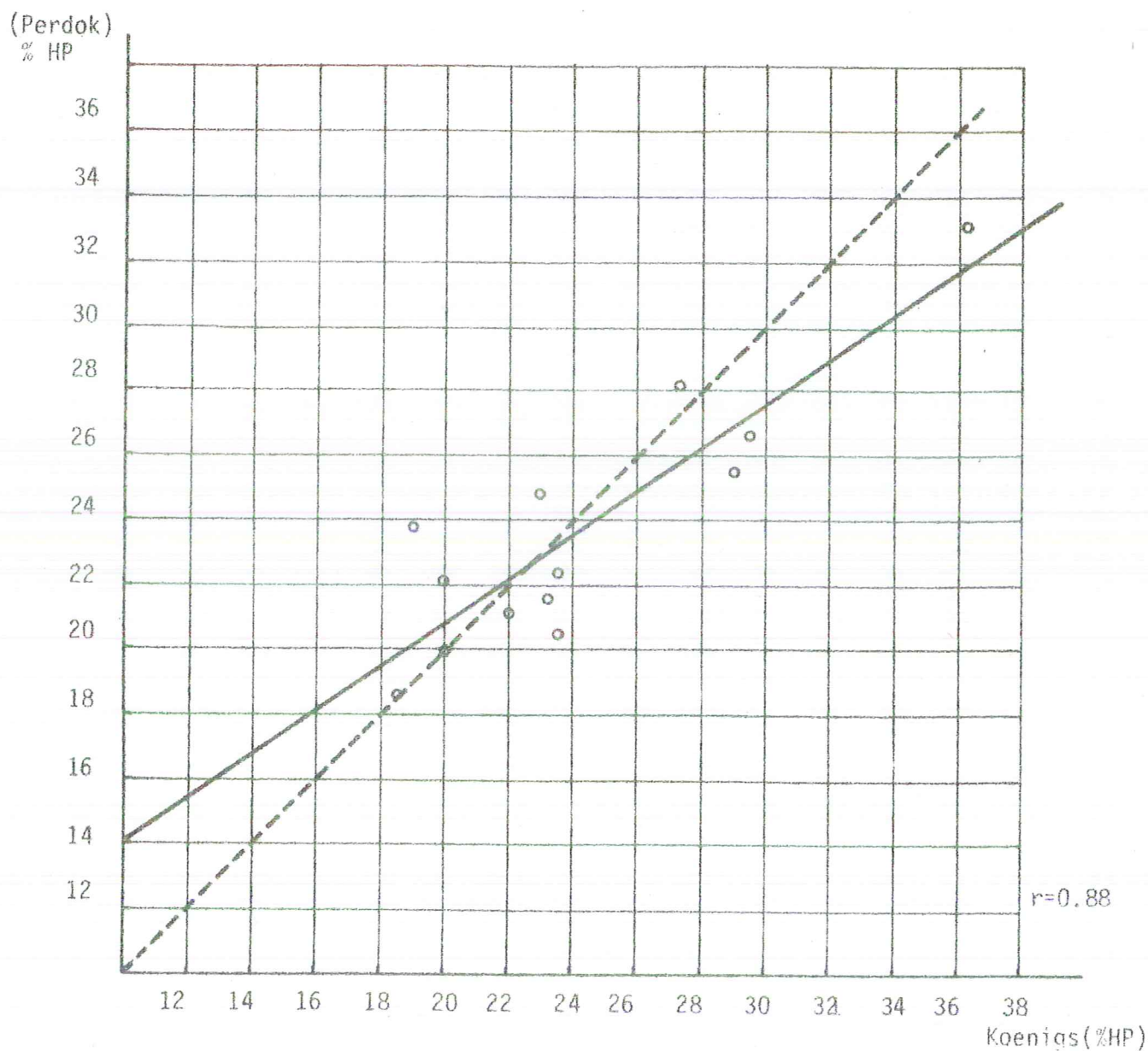
Los resultados de ambos tests son comparados, en 13 de los perfiles analizados. El coeficiente de correlación lineal entre ambos grupos de datos, resultó $r = 0.83$. Comparando este valor de r , con el tabulado para 11 grados de libertad, se ve que es significativo al 0.1%; la hipótesis nula $r = 0$ es pues rechazada, y se acepta que ambos resultados siguen la misma tendencia. Eso se puede ver en la Figura 5.

Se trata de ver si ambos tests son o no coincidentes en sus resultados. Para eso, se plantea la hipótesis nula de que la línea pasa por el origen (línea punteada en la Figura 5). Para esto se sigue el procedimiento descrito por SNEDECOR Y COCHRAN (1971) en la sección 6.18. El valor del cuadrado medio residual es 3.89, y

$$t = \frac{Y - b x}{S_{yx} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}} = 2.56$$

con $(n - 2)$ grados de libertad.

Este valor se compara con el de la tabla t , y resulta que la hipótesis nula debe ser rechazada al 5%. Se sigue el mismo procedimiento sin incluir los suelos 2, 12, 13 y 14, pues son los que muestran mayor diferencia entre ambos resultados. El valor del cuadrado medio residual es ahora 3.19 y $t = 0.43$. La hipótesis nula es aceptada en este caso, o sea que ambos métodos dan igual resultado. Esto significaría que dentro de cierto rango de textura (19.9 a 33.2% de arcilla en este caso), ambos métodos dan igual resultado. Con menor % de arcilla, aún aplicando alta presión a la muestra, la macroporosidad no es destruida completamente, y se requiere mayor contenido de humedad para lograr la misma reducción en la K_f .



(Koenigs) :	19.0	18.5	20.0	27.3	23.5	23.5	23.2	19.9	23.0	22.0
(Perdok) :	23.8	18.6	20.0	28.2	22.4	20.5	21.6	22.2	24.8	20.9
x :	29.5	29.0	36.3							
y :	26.7	25.5	33.2							

FIGURA 5 - Comparación gráfica entre los resultados obtenidos por el test de Koenigs y los obtenidos para el test de Perdok, para 13 perfiles

Por encima de 33.2% de arcilla en cambio, la presión ejercida hace que la macroporosidad se destruya, aumentando así los microporos; al ser los macroporos el principal vehículo del aire, la K_f disminuye con menores contenidos de humedad.

Puesto que el test de Koenigs se acompaña de observación visual, se acepta que tiene mayor validez, cualquiera sea la textura del suelo. Se lo utiliza entonces, para otras comparaciones. Se vió que existe una fuerte correlación lineal entre el LSL, y el contenido de humedad a pF 2.7 (extraído de las gráficas correspondientes a la Figura 3). La Figura 6 muestra dicha correlación ($r = 0.96$). La hipótesis nula de que la línea pasa por el origen, es aceptada estadísticamente (cuadrado medio residual 2.82 y $t = -0.06$).

Habría que graficar ésto para un mayor número de suelos, para poder hacer general dicha afirmación.

Se trató de ver qué influencia tenía sobre el LSL algunas propiedades del suelo. Se planteó una regresión múltiple, empleando el sistema SPSS (set de programas computarizados para uso estadístico); se incluyeron todas las variables en consideración, y se fueron eliminando aquellas que no aportaban explicación suficiente. Las variables incluidas fueron:

- % de arcilla
- % de materia orgánica
- % de arcilla naturalmente dispersa
- valor de inestabilidad estructural de Henin
- relación cationes bivalentes: cationes monovalentes en el complejo de intercambio
- relación Ca/Na en el complejo de intercambio

Sólo dos de esas variables permanecieron en la ecuación: el % de arcilla y el % de materia orgánica. Ambas explican el 87% de la variación ($r^2 = 0.87$). La ecuación obtenida es:

$$\text{LSL (\%HP)} = 6.05 + 1.81 \times \% \text{ MO} + 0.41 \times \% \text{ arcilla}$$

Esto es explicable, por la influencia de la materia orgánica en la cohesión intra-agregados, por un lado, y la influencia del contenido de arcilla en la cohesión entre agregados por el otro. Cuanto mayor el contenido de materia orgánica, la cohesión intra-agregados aumenta, y se requiere mayor cantidad de agua para que ella sea reducida a valores en que el laboreo sea posible.

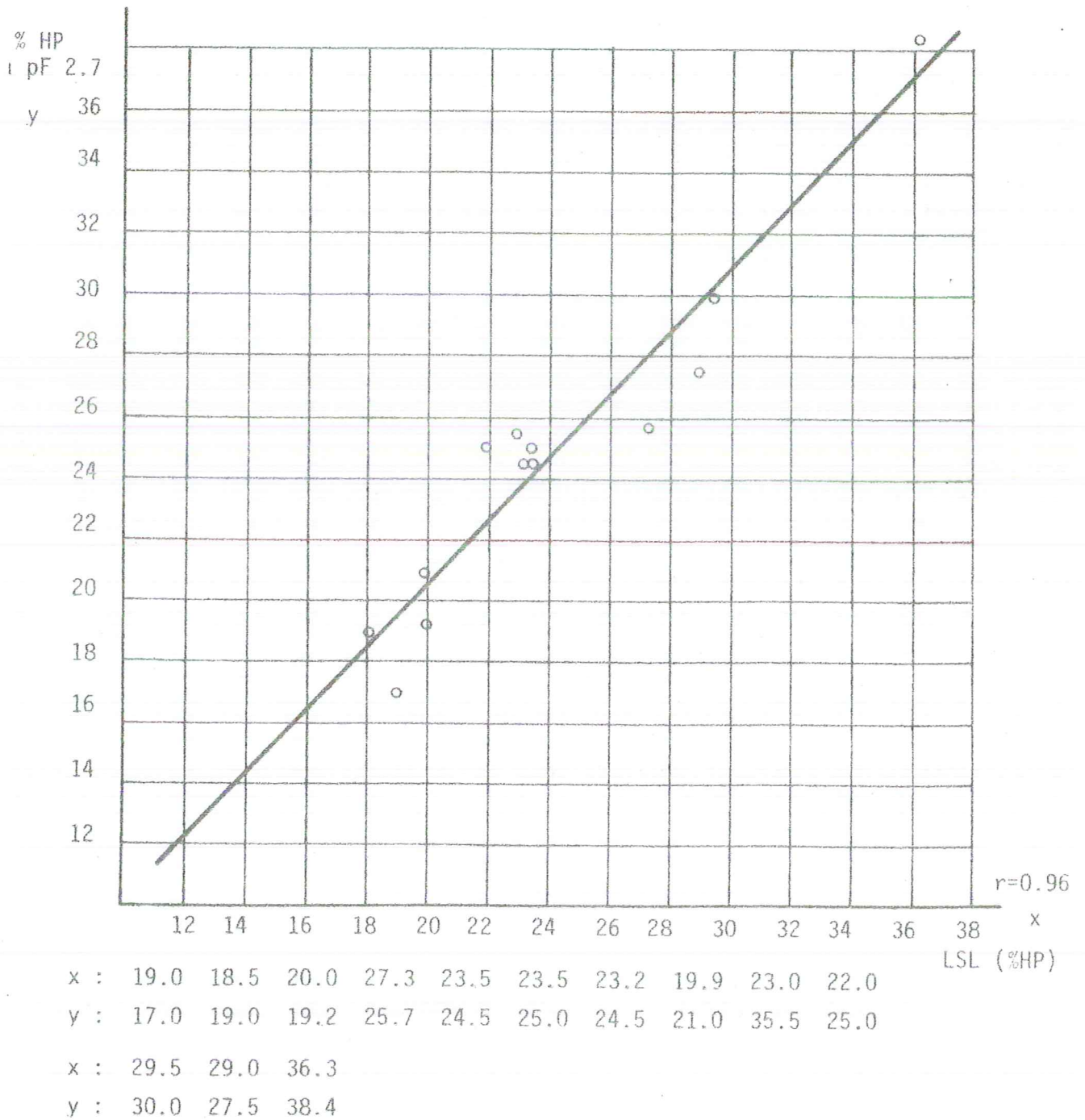


FIGURA 6 - Comparación gráfica entre el LSL (Koenigs), y el contenido de humedad a pF 2.7

A mayor contenido de arcilla, el suelo tiene mayor capacidad de retener agua; por lo tanto, para lograr un valor de la cohesión inter-agregados en que el laboreo sea posible, se requiere mayor contenido de humedad. En el año 1976, Koenigs halló esta relación: $LSL = 0.34 \times \% \text{ arcilla} + 1.55 \times \% MO$. Aunque los coeficientes que afectan ambas variables son algo menores en este caso, las influencia relativa de cada una, es similar en ambas ecuaciones (la relación 1.81/0.41 es prácticamente igual a la relación 1.55/0.34). La diferencia en valores absolutos, podría explicarse por la diferencia en el tipo de materia orgánica y también en la distinta mineralogía de la fracción arcilla. Mientras que en los suelos holandeses predomina la illita, en estos suelos existe esmectita (montmorillonita) en cantidades considerables.

En la Tabla 1, se hace un resumen de los contenidos de humedad correspondientes a diversos puntos, con el fin de hacer comparaciones con datos hallados en la bibliografía, y sacar algunas conclusiones.

TABLA 1 - Contenidos de humedad (%HP) correspondientes a varios puntos indicativos, para los 14 suelos en estudio.

Per fit	CMP	LPI	LSL	CC	LPS	a	b	c	d	e	f
1	4.0	-	11.0	16.7	18.3	-	1.6	--	5.7	7.0	-
2	5.3	22.4	19.0	24.1	25.3	2.9	1.2	1.7	5.1	13.7	- 3.4
3	7.9	-	18.5	22.2	33.5	-	11.3	-	3.7	10.6	--
4	10.8	20.0	20.0	22.5	26.3	6.3	3.8	2.5	2.5	9.2	0.0
5	8.5	25.1	27.3	28.4	30.0	4.9	1.6	3.3	1.1	18.8	2.2
6	9.5	22.6	23.5	28.0	35.4	12.8	7.4	5.4	4.5	14.0	0.9
7	13.4	20.6	23.5	27.7	28.3	7.7	0.6	7.1	4.2	10.1	2.9
8	12.4	21.2	23.2	26.2	29.2	8.0	3.0	5.0	3.0	10.8	2.0
9	16.5	21.4	19.9	22.1	28.6	7.2	6.5	0.7	2.2	3.4	- 1.5
10	11.9	22.1	23.0	27.9	32.7	10.6	4.8	5.8	4.9	11.1	0.9
11	12.8	23.5	22.0	26.9	34.8	11.3	7.9	3.4	4.9	9.2	- 1.5
12	21.0	28.1	29.5	33.0	45.5	17.4	12.5	4.9	3.5	8.5	1.4
13	19.4	21.0	29.0	29.9	44.2	23.2	14.3	8.9	0.9	9.6	8.0
14	19.9	33.0	36.3	42.0	60.5	27.5	18.5	9.0	5.7	16.4	3.3

a: LPS- LPI

b: LPS- CC

c: CC - LPI

d: CC - LSL

e: LSL - CMP

f: LSL - LPI

Para los índices b y c, se tienen en cuenta los valores críticos citados por HOOGLMOED (1980). El índice b es menor a 3% en los suelos 1, 2, 5 y 7; eso se explicaría por las texturas livianas y por el alto contenido de limo, lo que aumenta la sensibilidad al encostramiento expresada por dicho índice. El índice c es mayor a 4% en los suelos 6, 7, 8, 10, 12, 13 y 14, o sea en los más pesados, donde es mayor la sensibilidad a la compactación (menor friabilidad). Los suelos que parecen tener menos problemas son los 3, 4, 9 y 11. En el caso de los suelos 3 y 4, eso sería explicable por la textura, pues el contenido de limo es bajo, y el de arcilla es lo suficiente como para dar buenas condiciones. En el caso de los suelos 9 y 11, no es muy claro, pues a pesar de que han sido encalados repetidas veces por estar bajo viña, lo que podría hacer pensar que su estructura ha mejorado, el dato de Henin dice lo contrario. La variación en la mineralogía de las arcillas (ver Apéndice), no es suficiente como para explicar todas las diferencias. Sólo surge diferencia en los suelos 12, 13 y 14, donde el contenido de arcillas expansivas es significativamente mayor.

Respecto al índice f, se ve que en general, el LSL está cerca del LPI. Se aceptaría pues de que en ausencia de datos precisos (LSL), el LPI puede dar una idea sobre la oportunidad de laboreo de los suelos (REMY, 1971).

Se ve también que en promedio de todos los suelos, el LSL se correspondería con el 85% de la CC; eliminando del promedio el suelo 1 (por ser demasiado arenoso), el valor se eleva al 87%. Eso es explicable por la alta correlación hallada entre el LSL y el contenido de humedad a pF 2.7. Los suelos arenosos deberían ser considerado aparte.

Respecto al LPI, es en promedio equivalente al 84% de la CC. Esto confirma la idea de que el LPI es un indicador válido, cuando no se cuenta con más datos.

Respecto al índice d, al compararlo con los rangos presentados por KAUFFMAN (1975), se ve que todos los suelos están en posición intermedia entre favorable y no favorable.

Se estudió la variación de la densidad aparente al aplicar distintas presiones, con variables contenidos de humedad (TERZAGHI, 1983), y se pudo ver la influencia de la textura y la materia orgánica, expresada por FAURE (1980). Cuanto más liviano el suelo, mayor la densidad aparente lograda, y a menores contenidos de humedad. Cuanto mayor el contenido de materia orgánica (suelos 12, 13 y 14), menor es la máxima densidad aparente obtenida y a mayores contenidos de humedad.

Respecto a la cantidad de días laborables, por ser un solo período el considerado, debe adjudicársele un valor relativo para hacer comparaciones entre suelos. Hay muchas cosas que influyen en estos valores, como por ejemplo:

1. el drenaje superficial, expresado fundamentalmente por la pendiente; eso se pone de manifiesto en el caso de los suelos 13 y 14, donde a pesar de su alto contenido de arcilla y materia orgánica, hay un mayor número de días en que el suelo está laborable. Para poder dejar bien evidenciado este factor, habrían de realizarse mediciones en varios suelos similares, ubicados en distintas posiciones en el paisaje.
2. la profundidad a la que aparece la napa. Eso se evidencia en el suelo 9, ubicado en una posición baja y casi plana.
3. presencia de horizontes muy pesados, cercanos a la superficie. En el caso del suelo 1, donde a pesar de su textura liviana, es corto el período laborable.
4. problemas de mala estructura. Es el caso otra vez, del suelo 1, y surge claramente al comparar el suelo 12 con el 14, estando el 14 en condiciones de campo natural, y el 12 en condiciones de chacra.
5. la conductividad hidráulica también es un factor que explica en parte las diferencias.

Todos estos factores deberían ser incluidos, en caso de realizarse un balance hídrico que llevara a resultados similares.

VII_{3.6.} CONCLUSIONES

1. La cualidad de la tierra "laborabilidad", depende fundamentalmente del contenido de arcilla y de materia orgánica de los suelos. Se encuentra la siguiente relación lineal:

$$\text{LSL (\% HP)} = 6.05 + 1.81 \times \% \text{ MO} + 0.41 \times \% \text{ arcilla}$$

Se elabora el siguiente rango tentativo, para ser usado en trabajos de Evaluación de tierras. De 1 a 3, indica un aumento en las dificultades para laboreo.

	LSL	% arcilla	% MO
1	< 25	< 28	< 4.0
2	25 - 40	28 - 40	4.0 - 7.0
3	> 40	> 40	> 7.0

Este rango es referido a características intrínsecas del suelo; debe ser completado, en cada caso en particular, con otras características del terreno, como: pendiente, presencia de rocosidad o pedregosidad, etc.

2. La curva pF es una característica muy importante del suelo, puesto que el LSL está estrechamente relacionado al pF 2.7. Eso es comprensible, pues la curva pF está altamente influida por los contenidos de arcilla y de materia orgánica.
3. Los resultados obtenidos con el test de Koenigs, se correlacionan estrechamente con los obtenidos con el test de Perdok. Dentro de cierto rango de textura (19.9 a 33.2% de arcilla), dan el mismo resultado. Fuera de este rango, habría que hacer diferentes ajustes entre ambos.
4. En este estudio se prefirió el test de Koenigs, por estar acompañado de observaciones directas, pero una vez ajustados ambos, el test de Perdok presenta la ventaja de ser más objetivo, rápido y preciso.

5. Respecto a los suelos en consideración: los suelos livianos con alto contenido de limo, presentan sensibilidad al encostramiento, mientras que los más pesados, muestran sensibilidad a la compactación y menor friabilidad.
Esto va acompañado en algunos casos, por un alto contenido de arcillas expansivas. La influencia positiva de la materia orgánica también se evidencia pues al aplicar una compresión en los suelos con mayor contenido de materia orgánica, los valores máximos de densidad aparente que se obtienen, son menores
6. Existe la necesidad de verificar en el terreno el LSL.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BOEKEL, P. and P.K. PEERLKAMP.
"Soil consistency as a factor determining the soil structure of clay soils". Netherlands Journal of Agricultural Science 4 (1956) 122-125.
2. CHANCELLOR, W.J. Compaction of soil by agricultural equipment. California (Berlowitz, S.) 1977. Bulletin 1981
3. DIJKERMAN, J.C. Introduction to Land Evaluation. Wageningen (Agricultural University) 1982. Series: M.Sc. course in Soil Science and Water Management. 3.1-3.4
4. FAURE, A. "A new conception of the plastic and liquid limits of clay". Soil and Tillage Research 1 (1980/1981) 97-105
5. GONNET, M.R. "Utilizacion del Balance Hídrico del suelo; estimación de días aptos de laboreo en la Estanzuela". Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos. Montevideo 12 (1978)3-8.
6. HAMBLIN, A.P. and D.B. DAVIES. "Influence of organic matter on the physical properties of some east anglia soils of high silt content". Journal of Soil Science 28 (1977) 11-22.
7. HOOGMOED, W.B. "Lecture on Workability". Wageningen (Agricultural University) 1980. Series: M.Sc. course on Soil Science and Water Management.
8. KAUFFMAN, J.H. "Tillage properties of the Kapenguria soils and some other soils in Kenya, as examined with the microtillage test". Wageningen (Agricultural University) 1975
9. KOENIGNS, F.R. The mechanical stability of clay soils as influenced by the moisture conditions and some other factors. Wageningen (Agricultural University) 1961. Dr. Thesis.
10. _____ "Determination of the Upper Tillage Limit for spring tillage by a lab test". The 7th. Conference of the International Soil Tillage Research Organization, Sweden 1976. Wageningen (Agricultural University) 1976
11. KMOCH. "Determination of the wet workability limit for secondary tillage operations by means of an air permeameter, according to Perdok". Bulletin IMAG (1981)

12. KOOREVAAR, P. and C. DIRKSEN. Elements of Soil Physics. Revised edition. Wageningen (Agricultural University) 1982. 226-230.
13. NEGI, S.C. et al. "Relationships of field traffic and tillage to corn yields and soil properties". Journal of Terramechanics 18 (1981) 81-90.
14. PERDOK, U.D, J.J. KLOOSTER and M.C. SPRONG. "De bewerikbaarheid van de grond tijdens de voorjaarswerkzaamheden. Rapport 249 . Wageningen (ILR) 1973
15. REMY, J.C. "Influence de la constitution physique des sols sur leur comportement mécanique; signification des limites d'Atterberg en matière de travail du sol". Annuaire agronomique 22 (1971) 267-290.
16. SGANGA, J.C. y A. TERZAGHI. "Características físicas de los principales suelos agrícolas de Canelones. Parte I: Susceptibilidad a la erosión. Parte II: Agua disponible del suelo". Boletín Técnico del MAP 9 (1982)
17. SNEDECOR, G.W. and G. COCHRAN. Statistical methods. Fourth print. Iowa (Iowa State University Press) 1971.
18. TERZAGHI, A. "Determination of the upper critical moisture content for tillage of 14 uruguayan soils to quantify the land quality Workability, and its use in computer-assisted simulations to predict workable periods. Wageningen (Agricultural University) 1983. M.Sc. Thesis.

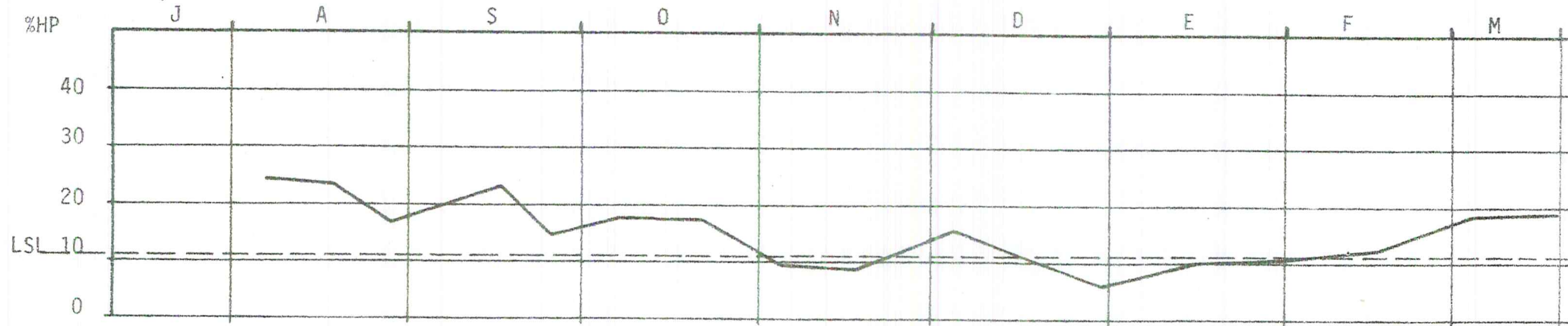
APENDICE

A. Mineralogía de la fracción arcilla, en el horizonte superficial de los perfiles en estudio, realizada mediante el empleo de difracción por rayos X.

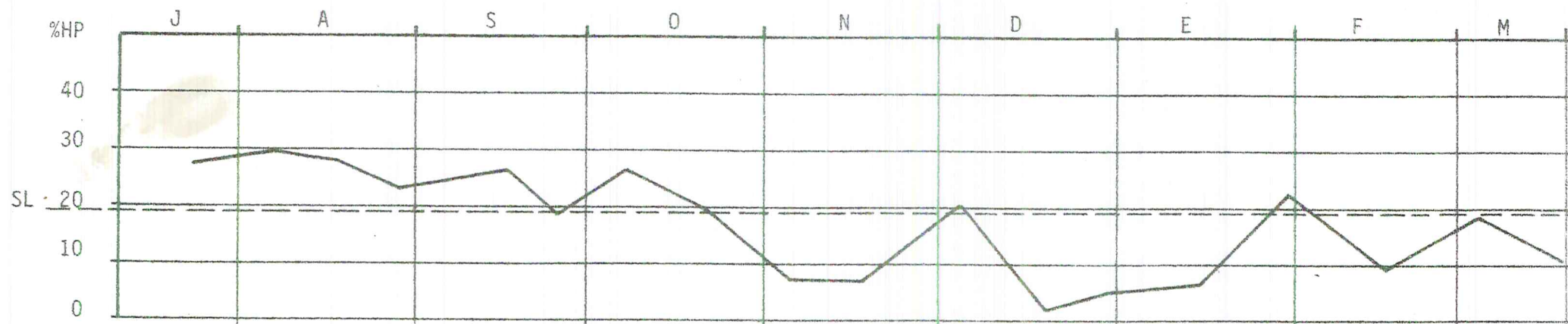
- Suelo 1 - Trazas de caolinita e illita; 25 - 50% esmectita; trazas de cuarzo y alrededor de 10% feldespatos.
- Suelo 2 - Trazas de caolinita y cuarzo; alrededor de 25% illita y menos de 25% esmectita.
- Suelo 3 - Más de 50% cuarzo; más de 25% feldespatos; trazas de capas mezcla montmorillonita-clorita.
- Suelo 4 - Trazas de caolinita y cuarzo. Menos de 25% illita y alrededor de 50% esmectita.
- Suelo 5 - Menos de 25% caolinita; alrededor de 25% illita; trazas de una capa mezcla expansiva, y menos de 25% cuarzo.
- Suelo 6 - Trazas de caolinita, cuarzo, feldespato y capas mezcla montmorillonita-clorita; menos de 25% illita y menos de 25% esmectita.
- Suelo 7 - Trazas de feldespatos; 10 -25% illita, esmectita y capas mezcla montmorillonita-clorita; alrededor de 10% caolinita y cuarzo.
- Suelo 8 - Trazas de caolinita, cuarzo y feldespato; 10-25% illita y esmectita.
- Suelo 9 - Trazas de caolinita, cuarzo y feldespato; 10-25% illita, y menos de 25% esmectita.
- Suelo 10 - Trazas de caolinita, cuarzo y feldespato; 10-25% illita y capas mezcla expansivas.
- Suelo 11 - Trazas de caolinita, cuarzo, feldespato y capas mezcla montmorillonita-clorita; alrededor de 10% illita, y 25% esmectita.
- Suelo 12 - Trazas de caolinita, cuarzo y feldespato; 10-25% illita y 25-50% esmectita.
- Suelo 13 - Trazas de caolinita, cuarzo y feldespato; 10-25% illita, y 25-50% esmectita.
- Suelo 14 - Trazas de caolinita y feldespatos; menos de 10% cuarzo; 10 -25% illita y más de 50% esmectita.

B. Variaciones en el contenido de humedad en el horizonte superficial de los 14 suelos considerados, en cierto período

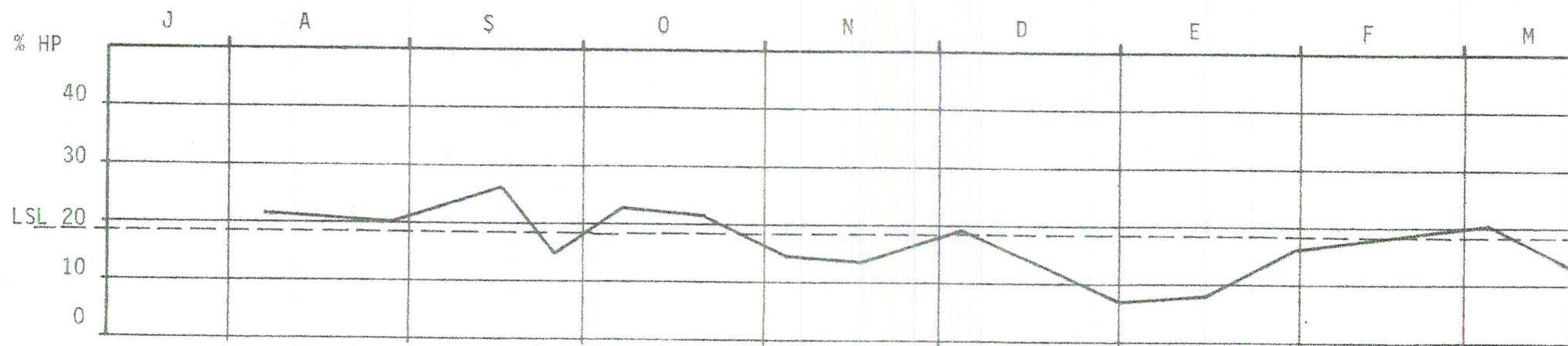
1) 14 H 27



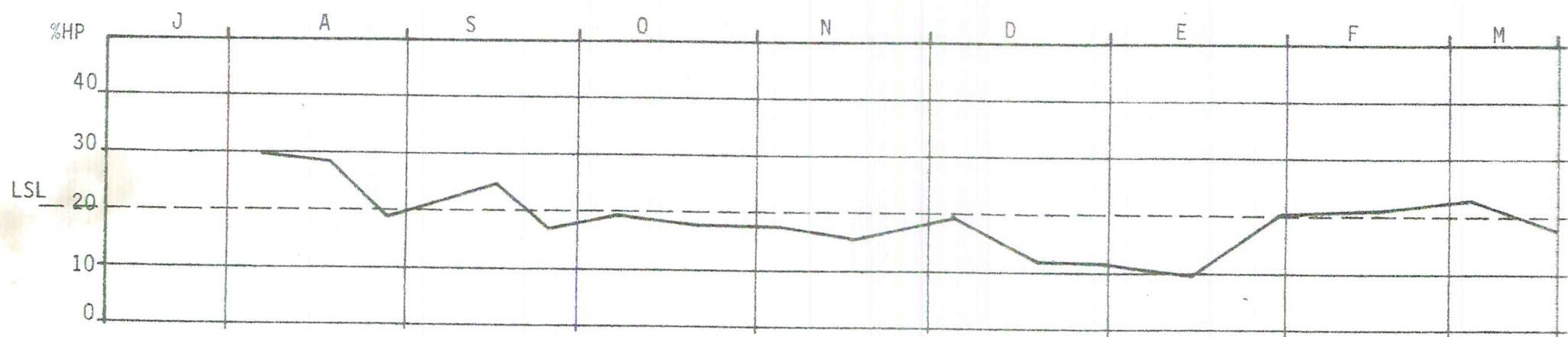
2) 6 K 29



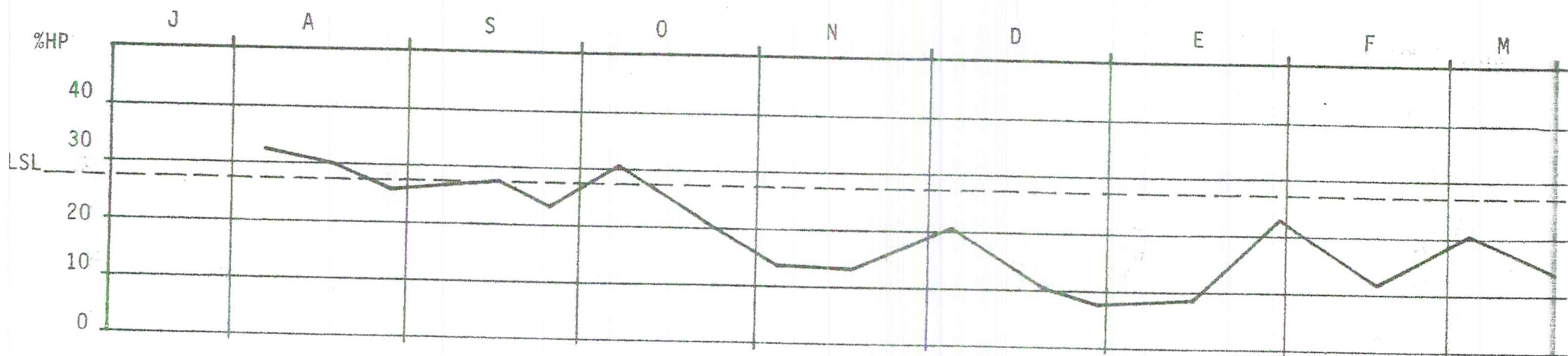
3) 21 J 26



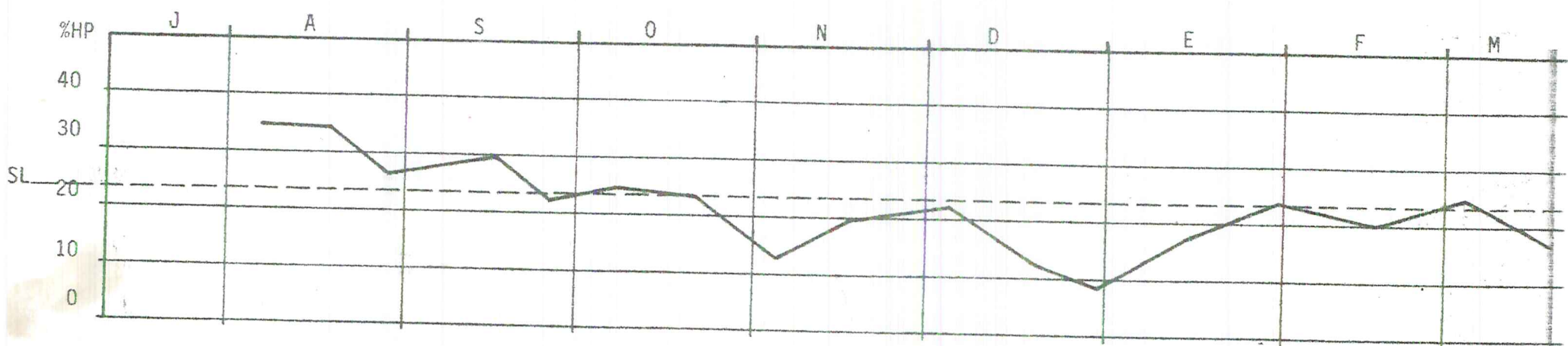
4) 13 H 27

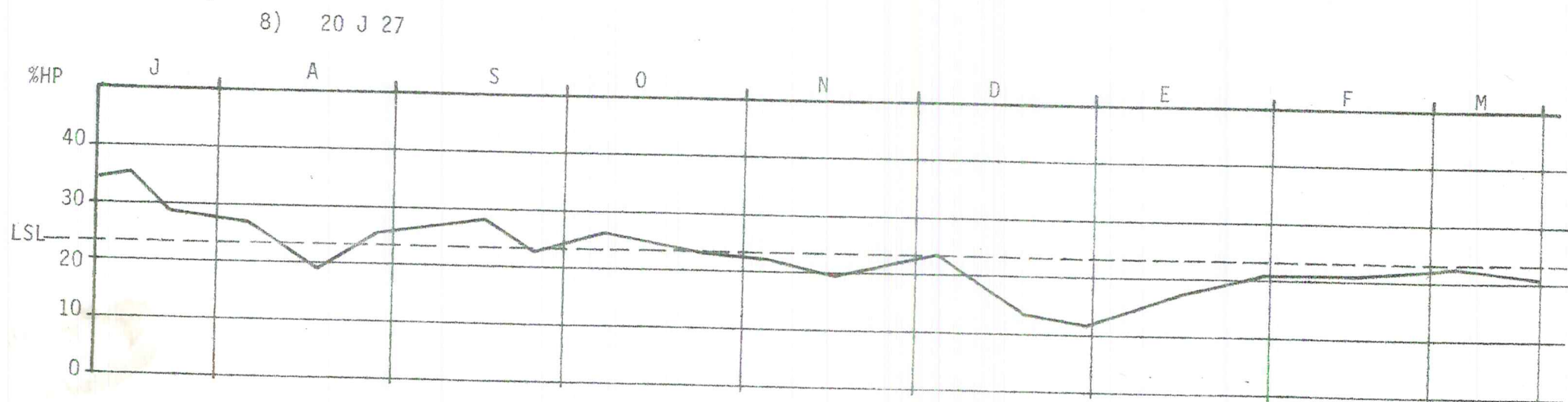
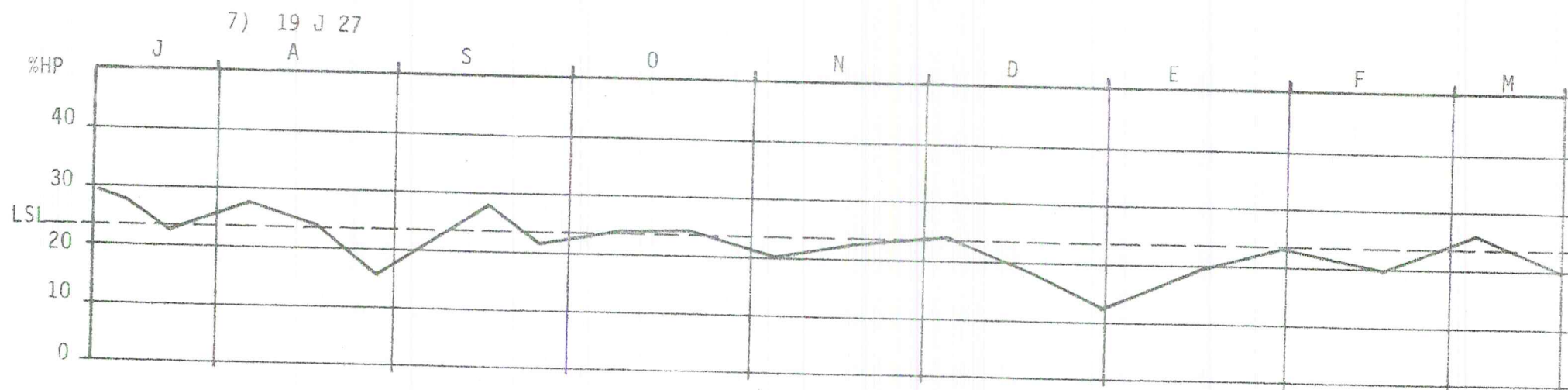


5) 2 J 29

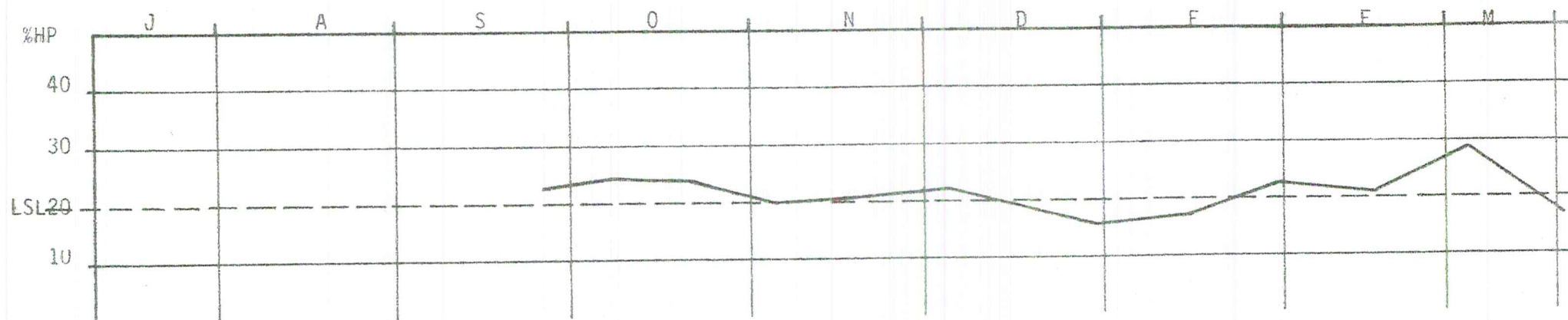


6) 3 J 28

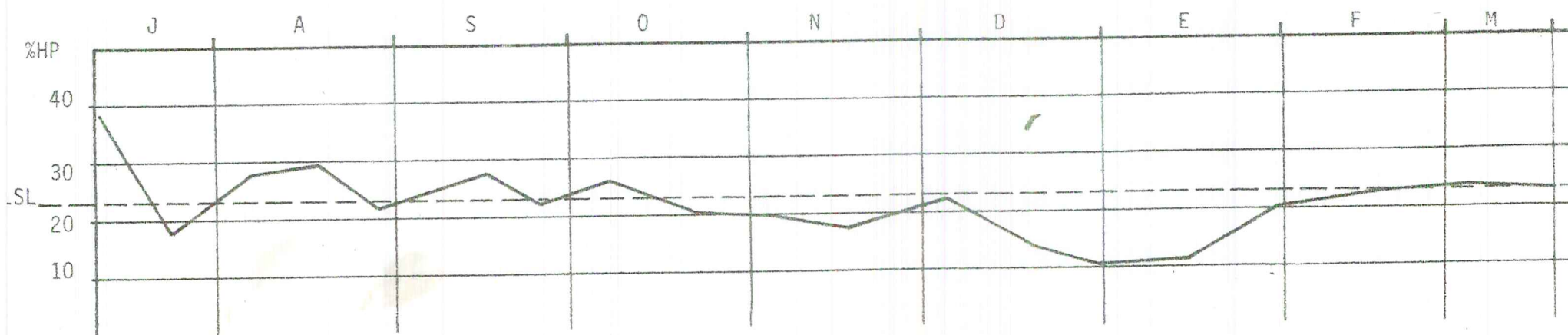




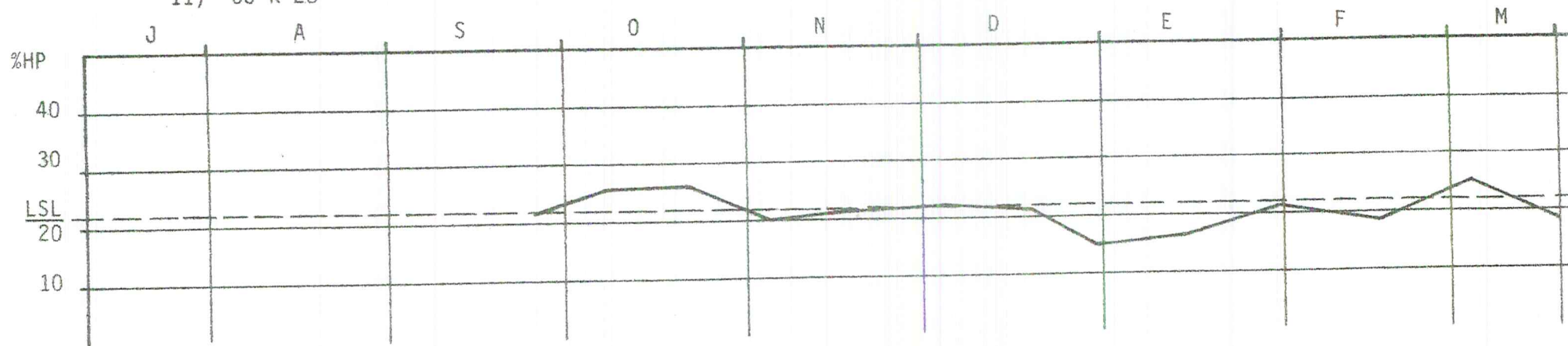
9) 69 K 28



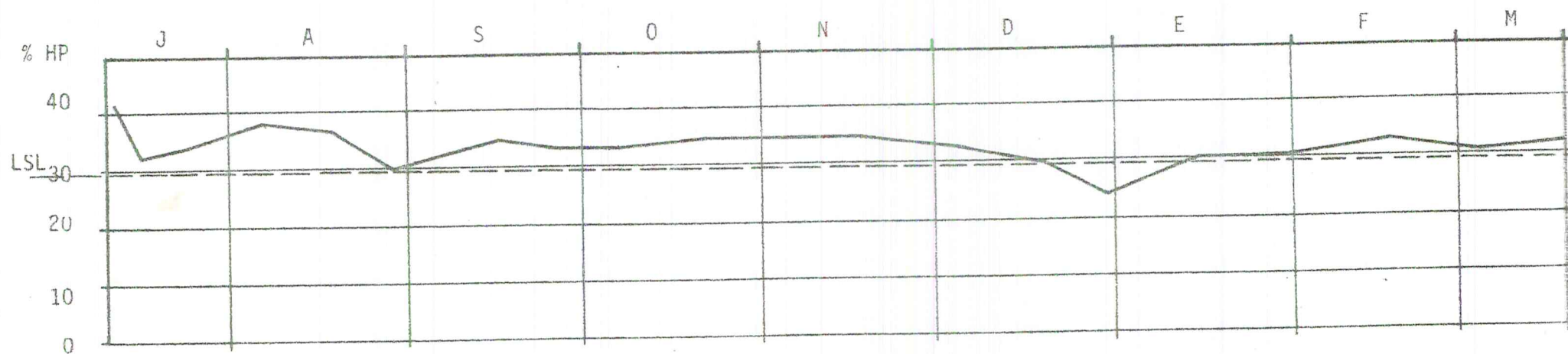
10) 21 J 27



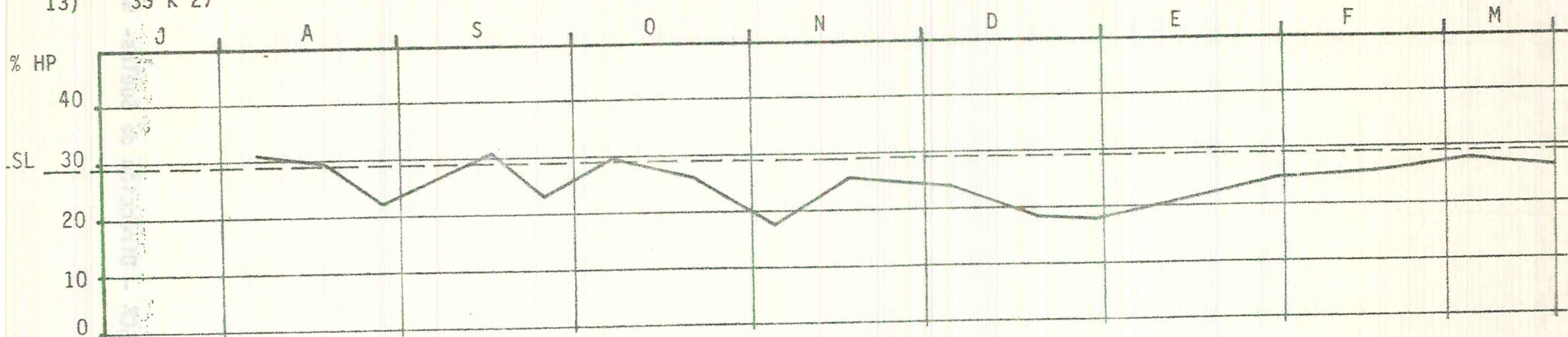
11) 66 K 28



12) 22 J 27



13) 33 K 27



14) 18 J 27

