

# Puntos de equilibrio agua-suelo en los suelos pardos de costra caliza de la depresión del Ebro

por FRANCISCO ALBERTO y LUIS MONTAÑÉS

---

Recibido el 6 - XII - 1970

---

## A B S T R A C T

ALBERTO, F., MONTAÑÉS, L., 1971. — Soil moisture constants in brown soils with limestone crust in the Ebro basin. *An. Aula Dei*, **11** (1/2): 106-124.

For a group of brown soils with a limestone crust in the Ebro Basin, the equations that relate water content at wilting point, field capacity and 1 atmosphere with organic matter, clay, silt and carbonates content were calculated, and the effect of two variables that it is necessary to take into consideration when calculating the need for or the reserve of water was studied, i. e., the water retention of the coarse fraction in function of the moisture of the fine fraction and the variation of apparent density in function of the percentage of the coarse fraction.

## INTRODUCCION

El estudio de las relaciones suelo-agua en los suelos considerados en el presente trabajo tienen importancia práctica debido al área que ocupan, unas 465.000 Has. dentro de la Depresión del Ebro, de las cuales unas 250.000 Has. han sido puestas en riego o lo serán en los próximos años, ya que, dada su poca profundidad hasta la capa de cantos rodados, la cantidad de agua que pueden retener es baja y por tanto precisan un manejo más cuidadoso en lo referente a las dosis de riego y a la frecuencia de sus aplicaciones.

Las ecuaciones calculadas, que relacionan el contenido en agua a la capacidad de campo y punto de marchitamiento con otras variables (materia orgánica, limo, arcilla y carbonatos), permitirán, para estos suelos, calcular las necesidades de agua partiendo de unas variables cuya determinación no requiere un equipo especial.

### MATERIAL

Los suelos estudiados quedan incluidos en la leyenda del Mapa de Suelos de España 1 : 1.000.000 dentro de los "Suelos pardos sobre depósitos aloctonos pedregosos". Se asientan sobre diversas terrazas del Ebro y de sus afluentes —la Fig. 1 da la distribución de

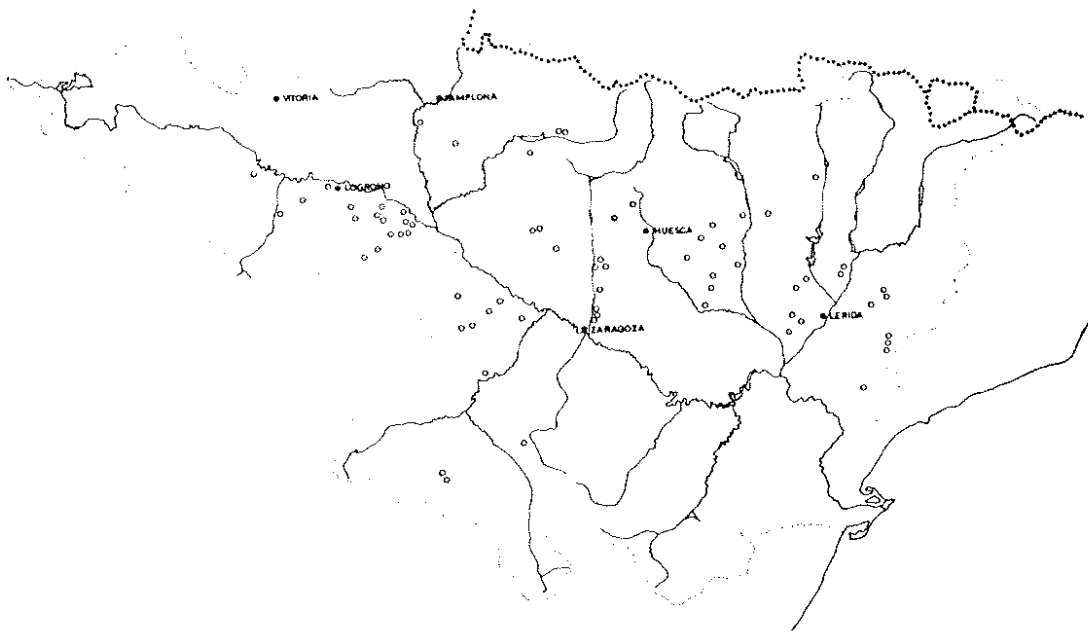


FIG. 1. Distribución de las muestras estudiadas dentro de la Depresión del Ebro.

las muestras—. Son suelos con una sucesión de horizontes Ap, Bv (a veces Bv/Ca) y IICa. Debido a la gran erosionabilidad, en parte condicionada por la costra caliza, esta sucesión de horizontes no es constante y en muchas zonas el Ap incluye hasta un 75 % y más del IICa. Normalmente el horizonte Ca marca la transición con los cantos rodados procedentes de diversos materiales del cauce del río.

Este horizonte de enriquecimiento en caliza llega a formar una verdadera costra en la que alternan las capas duras de poco espesor semejantes a una caliza sublitográfica, con masas de carbonatos más sueltas. En algunas terrazas faltan estas cortezas microcristalinas, apareciendo los cantos cementados por un depósito de carbonatos más o menos poroso; en otras zonas hay varias capas alternantes de corteza dura y material más o menos poroso. La costra caliza recibe en la bibliografía diversos nombres: *caliche*, *desert crust*, *calcrete*, *croûte calcaire*, *croûtes zonaires*, *carapaces calcaires*, *petrocalcic horizon*, etc. Los agricultores de la zona la llaman mallacan, mayacan o tosca. Suelos semejantes han sido estudiados por DURAND (1959), GILE (1961), GILE, PETERSON y GOSSMAN (1965 y 1966),

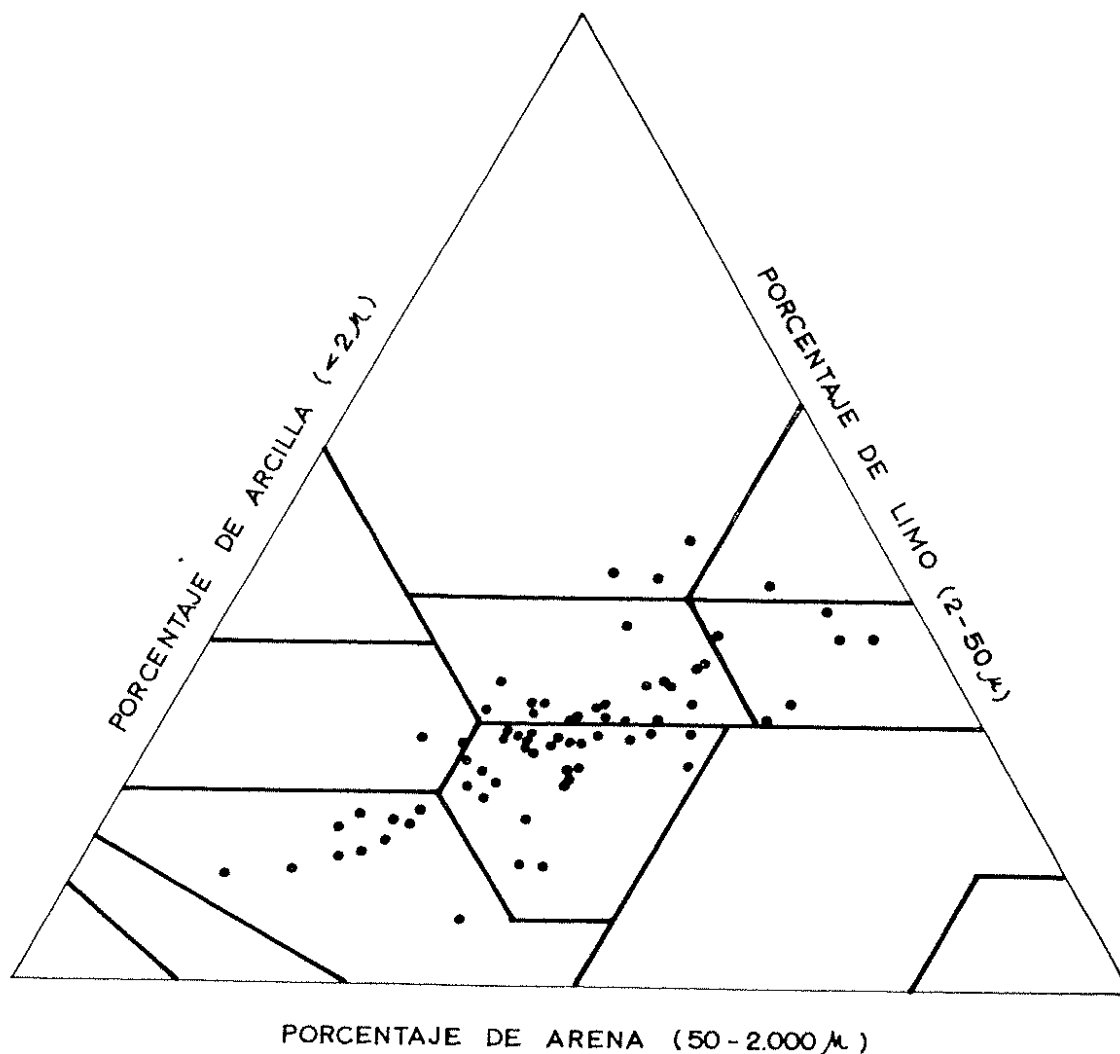


FIG. 2. Composición granulométrica de los suelos pardos de costra caliza seleccionados para este trabajo.

BOULAINÉ (1966), SCHOLZ (1968), FRANZ y FRANZ (1969), los cuales indican que las condiciones de formación corresponden a un clima semiárido, siendo un testigo claro cuando las condiciones climáticas no corresponden actualmente a un clima semiárido de que en otras épocas prevalecieron estas condiciones climáticas. Han sido denominados *Kalkkrusteböden*, *Schwach entwickelten Böden mit Kalkkrusten*. Yerma de costra caliza. Suelos pardos de costra caliza.

Damos a continuación la descriptiva morfológica de alguno de estos suelos.

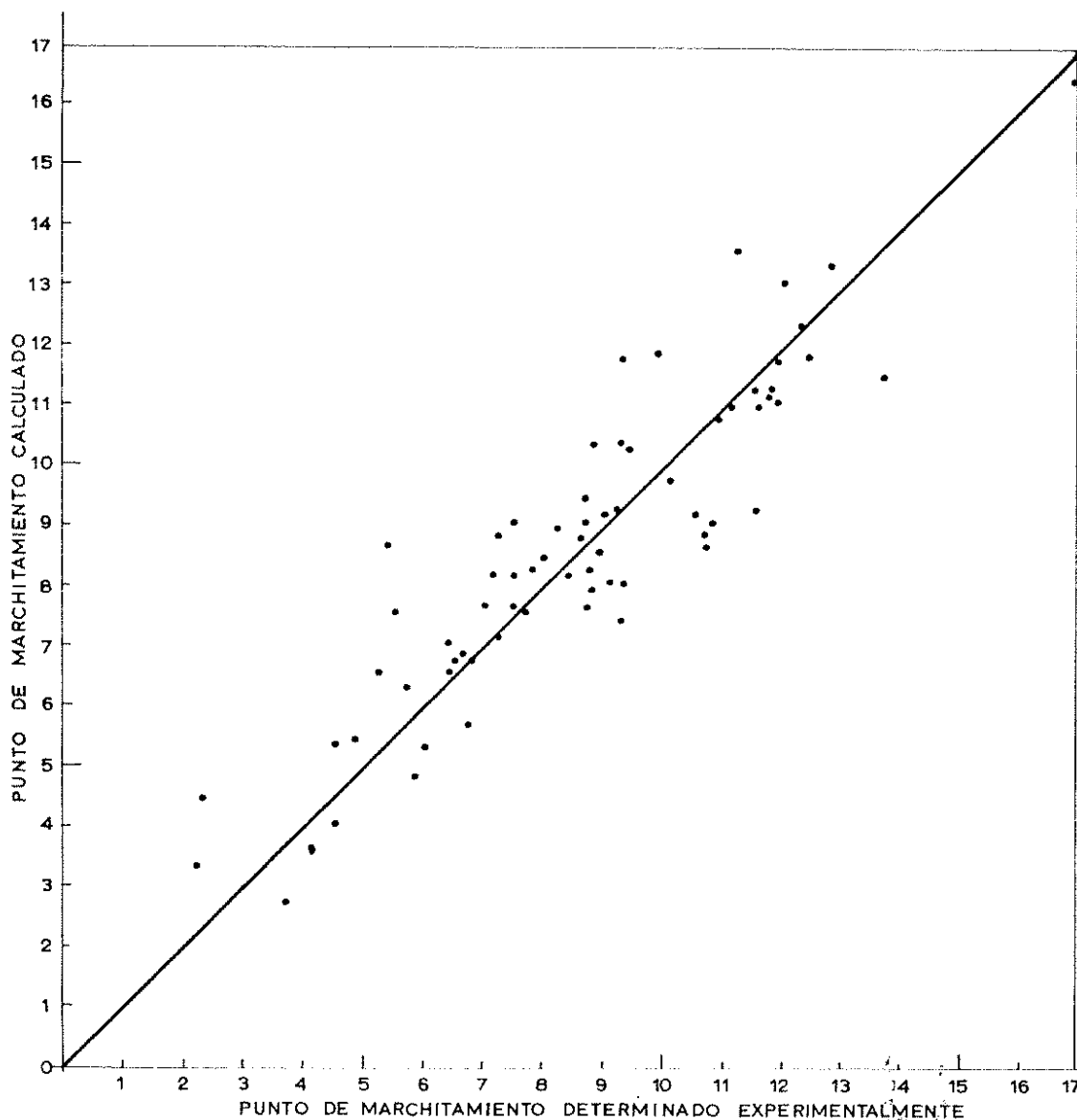


FIG. 3. Relación entre los puntos de marchitamiento calculados por la ecuación (a) y determinados experimentalmente.

*Situación.* — Biota (Zaragoza). Km. 2,7 de la carretera de Biota a la general de Gallur a Francia.

*Topografía.* — Terraza.

*Altitud.* — 460 m.

*Pendiente, orientación.* — 0-1 %.

*Vegetación.* — Cultivos de secano, trigo, viñedo, almendro.

*Clasificado.* — Suelos pardo de costra caliza.

*Ap 0-20.* — Abundantes raíces. Mull de color en seco 10 YR 5/3. Abundantes cantos rodados y pedazos de costra caliza incorporada con el laboreo. Textura franco-arcillosa. Estructura subpoliédrica pequeña, poco estable. Buena aireación y permeabilidad.

*IICa + 20.* — Cantos rodados cementados por caliza. Capas alternantes de costra caliza compuesta de una corteza dura de unos 0,5-7 cm. de espesor y otra capa más porosa de 15-40 cm. que cementan los cantos. Se han observado hasta cuatro capas superpuestas. Los cantos rodados de arenisca presentan una sección transversal asimétrica con aspecto de “medias lunas” y orientados de modo que la cara menos curva queda en la parte superior.

*Situación.* — Bardena del Caudillo (Zaragoza).

*Topografía.* — Terraza.

*Altitud.* — Unos 450 m.

*Pendiente, orientación.* — 0-1 %.

*Vegetación.* — Cultivos de regadío (maíz, alfalfa, remolacha), puesto en regadío hace unos 15 años.

*Clasificado.* — Suelo pardo de costra caliza.

*Ap 0-35.* — Raíces abundantes. Mull de color 5 YR 5/4 en seco y 5YR 4/6 en húmedo. 10 % de cantos rodados con restos de cemento calizo. 10 % de gravilla. Fresco, franco-arcillo-arenoso. Estructura subpoliédrica pequeña, poco estable. Buena permeabilidad. Calizo, sin sales solubles. Transición irregular clara.

*IICa 35-50.* — Pocas raicillas finas. Color no homogéneo 7,5 YR 6/4 y 10 YR 7/3, ambos en húmedo. 50 % de cantos rodados de caliza gris, cuarcita y arenisca; 20 % de gravilla. Los cantos y gravilla cementados por caliza más o menos fuertemente; no se observa zonación en la costra. Debajo de esta capa aparecen otras de colores 7,5 YR 6/6 y 7,5 YR 8/2 que se diferencian de la anterior en la proporción de cantos que engloban y en el tamaño de ellos.

*Situación.* — Puente la Reina (Navarra).

*Topografía.* — Terraza del Arga.

*Altitud.* — 420 m.

*Pendiente, orientación.* — 0-1 %.

*Vegetación.* — Cultivos de secano: trigo, alfalfa de secano.

*Clasificado.* — Suelo pardo de costra caliza.

*Ap 0-40.* — Muchas raíces pequeñas, lombrices, mull, color 7,5 YR 5/4 en seco y 7,5 YR 4/4 en húmedo. 5 % de cantos rodados de caliza y arenisca con porciones de cemento calizo. Húmedo. Textura franco-arcillo-limoso. Muy plástico y ligeramente pegajoso. Estructura subpoliédrica dura. Permeabilidad buena. Abundantes po-

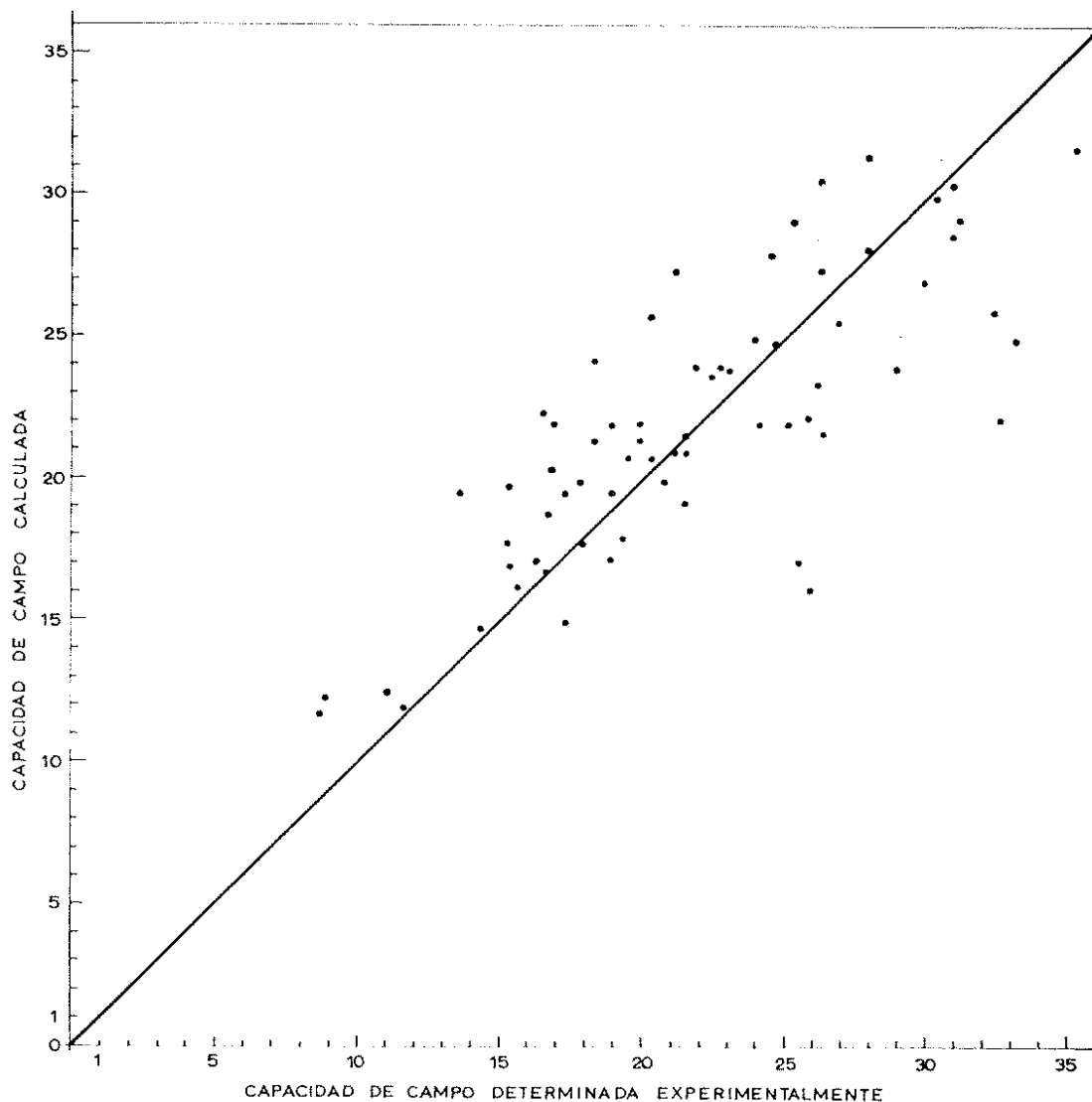


FIG. 4. Relación entre los valores de Capacidad de campo ( $1/3$  at) calculados por la ecuación (b) y determinados experimentalmente.

ros, canalículos y grietas. Elevado contenido en caliza. Transición horizontal difusa.

*Bv 40-65.* — Muchas raíces pequeñas. Color en húmedo 5 YR 4/4. Un 60 % de cantos rodados de caliza y arenisca. Húmedo. Franco arcillo-limoso. Muy plástico y ligeramente pegajoso. Subpoliédrica pequeña, dura. Buena permeabilidad y abundantes poros, grietas y canalículos.

*Bv IICa 65-90.* — Algunas raíces pequeñas. Colores entre 7,5 YR 4/4 y 10 YR 6/6 en húmedo. 70 % de cantos rodados de caliza y arenisca con cemento calizo. Húmedo. Franco arcillo-limoso. Muy plástico y pagajoso. Transición irregular clara.

*IICa 90-+110.* — Escasas raíces, pequeñas. Color homogéneo 10 YR 7/6 en húmedo. Más del 80 % de cantos rodados de hasta 10 cm. de diámetro. El cemento calizo húmedo se reblandece y deja moldear. Ligeramente plástico y no pegajoso. Estructura masiva. Sin corteza microcristalina. Compacto V. Permeabilidad media, por grietas.

Las muestras estudiadas se han elegido de modo que sean representativas de toda la depresión y que en ellas los contenidos en arcilla varíen entre el 5 y 45 % —que prácticamente comprende toda la variabilidad en esta característica dentro de estos suelos— y procurando que el número de muestras quede homogéneamente distribuido en todo este intervalo. La fig. 2 contiene sobre el triángulo de texturas la nube de puntos correspondiente a las muestras estudiadas.

## MÉTODOS

*Materia orgánica.* — Oxidación húmeda con dicromato potásico en medio sulfúrico.

*Carbonatos.* — Calcímetro de Bernard.

*Análisis granulométrico.* — Densímetro de Boyoucos. Baño termostático. Destrucción de materia orgánica, sin destrucción de carbonatos. Fracciones superiores a 50  $\mu$ . determinados por tamizado húmedo.

*Puntos de equilibrio agua-suelo.* — Con aparato de Richards. Debido a la variable pedregosidad las determinaciones se han realizado

sobre muestras con estructura modificada, ya que en muchos casos resulta prácticamente imposible la toma de muestras con cilindros. Los valores obtenidos son media de tres repeticiones. Las muestras se saturaron durante 24 horas con agua y después se les aplicó la presión correspondiente: 1/3 de atmósfera para la capacidad de campo y 15 atmósferas para el punto de marchitamiento. Los resultados se expresan en ml. de agua retenidos por 100 gr. de suelo seco a 105°.

Sobre 17 muestras con contenido en arcilla enter 5 y 45 % se realizó un estudio previo sobre el tiempo que tardaban en alcanzar

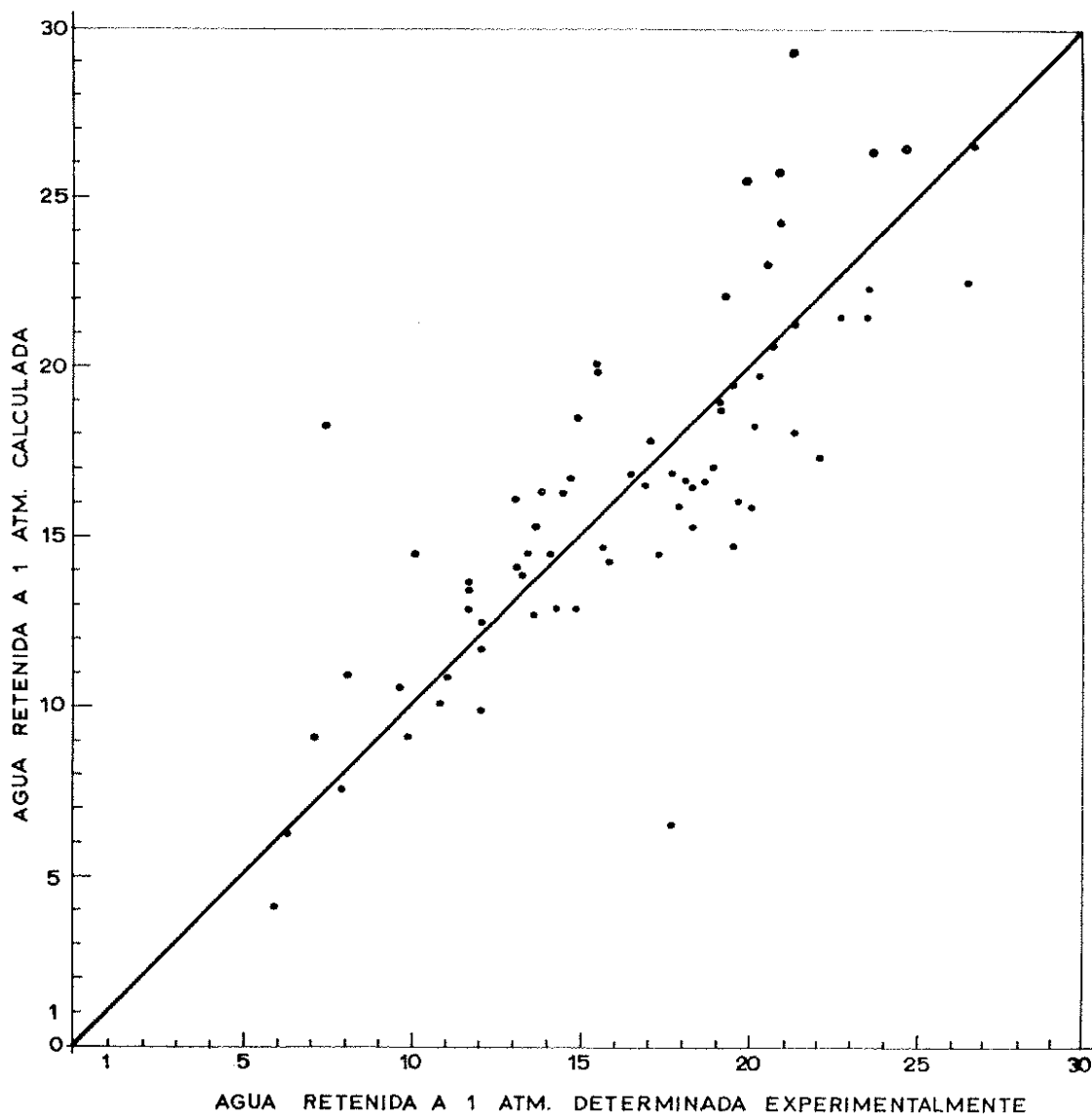


FIG. 5. Relación entre el agua retenida a 1 atmósfera calculados por la ecuación (c) y determinados experimentalmente.



el equilibrio a presiones de 1/3, y 1 y 15 atmósferas para 1, 2, 4 y 6 días. Del estudio de significación estadística de los tratamientos se deduce que mientras que el contenido en agua de las muestras que estuvieron en la cámara de presión 1 y 6 días es diferente, no lo

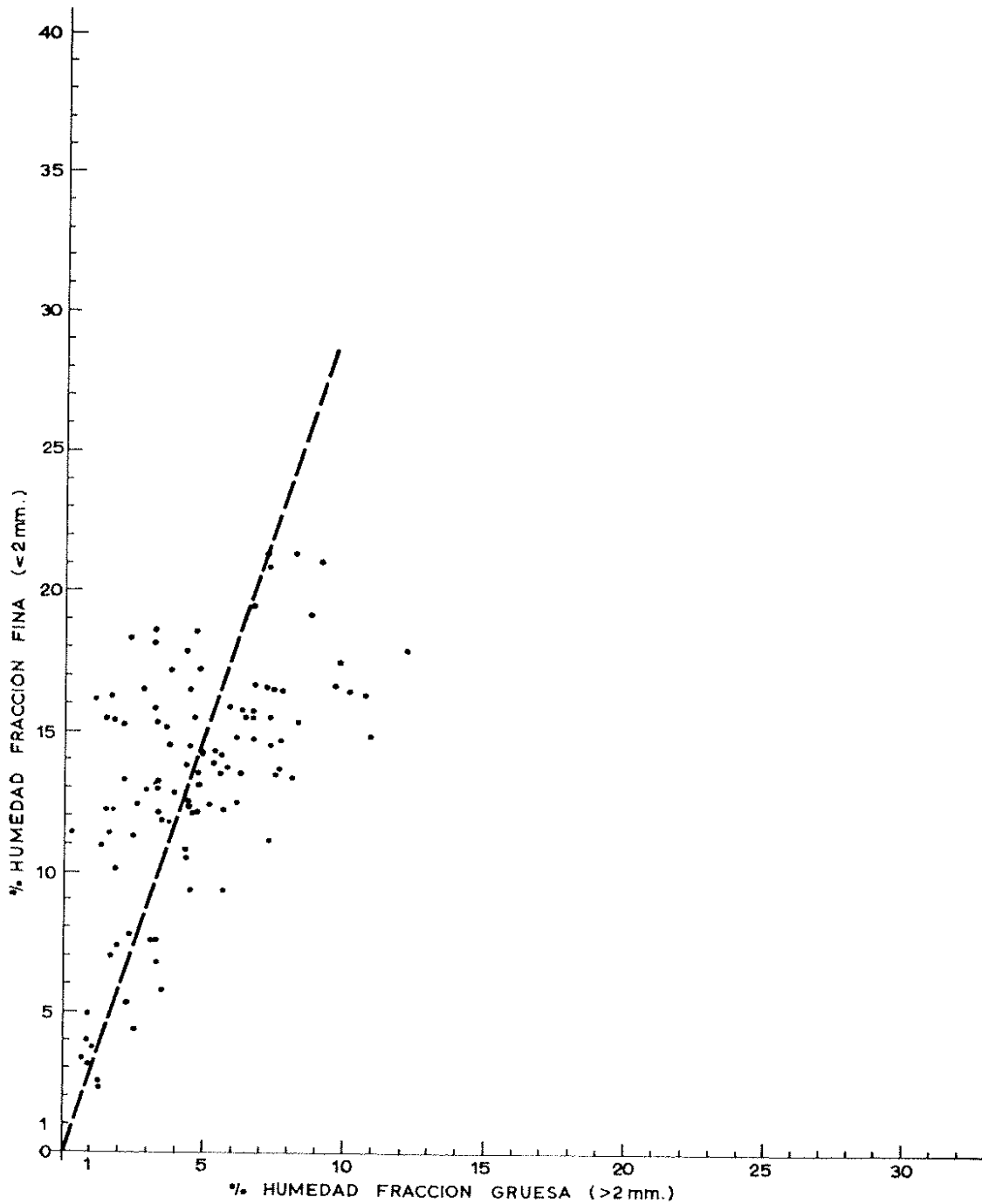


FIG. 6. Porcentaje de humedad de fracción fina (<2 mm.) y gruesa para muestras tomadas en el campo y humedecidas o desecadas en el laboratorio.

es entre las muestras que permanecieron en ella 2 ó 6 días. Por tanto, todas las muestras estudiadas estuvieron sometidas a la presión correspondiente un tiempo mínimo de 48 horas.

El cuadro I recoge los datos analíticos de las muestras estudiadas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Numerosos autores han estudiado las relaciones existentes entre diversas variables del suelo y algunos puntos de equilibrio agua-suelo. De las variables que se han correlacionado con los puntos de equilibrio agua-suelo se han seleccionado las que han dado coeficientes de correlaciones más altos y que son de determinación general en los análisis que para asesoría de Fertilización se realizaron en la E. E. Aula Dei; esto permitirá deducir de las ecuaciones calculadas los valores de agua a la capacidad de campo y punto de marchitamiento y agua útil que son capaces de almacenar estos suelos, recurriendo a la determinación directa, mucho más laboriosa, sólo en casos especiales.

Los coeficientes de correlación parcial y total entre las diversas variables consideradas se dan en el cuadro II, así como las ecuaciones de regresión que permiten calcular a partir de los valores de materia orgánica, limo, arcilla y carbonatos el contenido de agua a la capacidad de campo, al punto de marchitamiento y agua retenida a una atmósfera.

Las figuras 3, 4 y 5 dan la distribución de puntos entre los valores determinados analíticamente de PM. CC. y agua a una atmósfera y los calculados por las ecuaciones dadas en el cuadro II.

Para los suelos objeto del presente trabajo, al querer calcular las necesidades de agua a partir de las ecuaciones dadas anteriormente, o a partir de valores analíticos directos, un factor que hay que tener en cuenta es la pedregosidad.

Cómo han puesto de manifiesto COILE (1952) y REINHART (1961), las piedras y gravillas no se comportan únicamente como meros diluyentes de la fracción fina, sino que son capaces de retener agua. En estos suelos la fracción mayor de 2 mm. está formada por cantos rodados y pedazos de costra caliza rotos por el laboreo; espe-

CUADRO I. — *Datos analíticos de los suelos estudiados.*

Suelo N.º	Punto de marchita- miento ml/100 gr.	Porcen- taje de arcilla	Porcen- taje de limo (2-50)	Porcen- taje de materia orgánica	Porcen- taje de carbo- natos	Capaci- dad de campo ml/100 gr.	Agua a 1 atm. ml/100 gr.
1	7,3	20,2	30,7	1,34	39,4	17,2	13,3
2	6,4	20,4	33,6	0,84	40,1	15,3	11,6
3	6,6	25,0	26,5	0,67	46,8	16,7	12,1
4	10,9	29,7	54,7	1,26	37,0	24,7	20,4
5	6,8	22,5	39,6	0,72	6,2	18,8	13,4
6	9,1	24,8	33,4	1,19	35,7	21,0	18,3
7	9,9	29,7	45,1	2,45	26,5	25,3	23,5
8	7,7	21,4	38,6	1,19	30,4	18,9	20,0
9	8,8	13,2	40,1	2,60	19,3	19,9	18,8
10	8,7	20,1	39,2	1,34	34,8	17,8	13,9
11	5,2	17,7	36,9	1,14	31,5	17,8	14,1
12	9,3	27,5	53,5	2,28	35,0	27,8	20,8
13	5,8	16,3	25,0	0,64	47,4	14,2	10,8
14	10,1	33,1	44,8	0,53	47,7	26,2	20,3
15	6,5	25,2	31,5	0,69	13,6	19,2	13,6
16	10,8	25,8	29,7	1,78	33,6	21,9	19,6
17	8,4	23,0	43,0	1,76	28,5	16,4	19,4
18	8,8	27,6	27,6	1,97	20,3	20,2	15,5
19	9,3	28,2	58,7	0,67	30,6	17,6	14,8
20	12,8	36,2	42,0	1,88	29,1	30,8	26,7
21	11,8	31,5	34,8	1,98	18,7	26,2	20,4
22	9,1	24,7	37,7	1,97	20,8	22,7	18,6
23	16,9	46,7	36,5	3,05	60,1	33,9	23,7
24	11,5	26,0	30,7	1,76	25,6	22,2	22,0
25	7,1	24,2	49,3	0,69	27,4	21,4	19,1
26	11,9	37,3	44,4	1,60	6,6	24,5	21,3
27	8,9	28,2	38,9	1,00	15,4	18,3	18,3
28	11,9	37,5	35,3	1,55	6,7	21,0	20,1
29	7,5	25,7	35,4	1,03	5,2	16,6	17,2
30	8,6	30,6	27,0	1,03	2,7	19,8	14,2
31	4,5	16,0	26,5	1,16	21,8	15,6	9,7
32	9,2	25,4	36,1	2,03	5,9	18,2	17,6
33	8,0	22,7	38,5	1,66	21,6	19,4	14,6
34	12,0	40,7	46,5	1,62	29,9	26,3	20,9
35	12,4	40,9	36,8	1,47	8,5	30,9	19,4
36	13,7	42,1	31,9	1,29	12,0	36,6	21,2
37	4,5	7,1	35,4	1,31	1,4	11,1	8,0
38	2,2	11,1	19,6	1,09	0,0	8,8	6,2
39	6,4	25,2	24,7	1,16	12,8	15,2	12,1
40	9,3	22,4	30,5	1,78	24,8	18,9	15,7
41	7,8	26,0	30,3	1,60	2,4	16,9	13,1
42	7,5	26,1	39,7	1,03	8,9	16,8	13,1
43	5,5	25,1	35,3	1,05	4,8	13,6	10,0
44	8,6	26,4	47,8	1,09	0,0	20,2	14,8
45	7,0	26,8	31,9	1,05	0,0	20,6	11,6
46	8,7	27,8	40,1	1,71	4,6	23,1	17,0
47	5,7	19,9	33,5	0,90	17,7	15,3	11,6
48	4,1	13,9	24,1	0,64	2,0	11,6	7,8
49	8,6	29,3	32,0	1,00	5,5	21,4	15,8
50	12,3	37,2	41,0	2,02	17,7	30,2	23,5
51	5,4	29,0	37,2	0,95	22,7	21,4	14,4

Suelo N.º	Punto de marchita- miento ml/100 gr.	Porcen- taje de arcilla	Porcen- taje de limo (2-50)	Porcen- taje de materia orgánica	Porcen- taje de carbo- natos	Capaci- dad de campo ml/100 gr.	Agua a 1 atm. ml/100 gr.
52	3,7	10,8	12,3	1,03	4,6	8,6	5,9
53	9,3	32,8	44,1	1,19	26,1	23,9	15,4
54	9,4	30,2	40,5	1,66	25,1	26,9	19,3
55	11,1	31,1	41,9	1,88	22,6	29,9	21,2
56	8,2	26,9	41,8	1,21	21,9	25,0	19,9
57	7,5	27,0	43,2	1,19	22,7	25,7	7,5
58	4,8	15,6	20,4	1,31	46,6	16,3	12,1
59	9,0	28,2	31,9	1,66	20,5	28,8	17,8
60	11,6	38,2	53,5	0,67	13,8	33,1	26,4
61	7,2	29,3	37,9	1,05	17,3	24,0	18,0
62	11,2	35,5	55,3	2,28	29,1	35,3	24,7
63	11,8	13,1	39,7	4,58	29,6	36,0	22,7
64	11,6	25,1	32,8	3,02	32,0	31,1	19,1
65	2,9	11,4	20,7	1,16	56,2	17,3	7,1
66	8,7	17,3	27,8	3,36	6,0	32,2	13,6
67	6,7	14,7	27,2	1,66	5,6	25,5	11,0
68	6,0	17,6	22,4	1,21	4,5	25,9	9,8
69	10,6	27,1	36,1	1,45	26,3	26,0	16,5
70	10,7	27,9	35,5	1,31	26,3	27,9	16,8
71	10,7	29,2	32,4	1,05	31,9	32,4	17,6

CUADRO II. — *Coefficientes de correlación simples, múltiples y ecuaciones que ligan las diversa variables consideradas.*

<i>r</i>	1	2	3	4	5	6	7
1		0,794	0,557	0,496	0,194	0,791	0,855
2			0,552	0,049	0,071	0,621	0,702
3				0,195	0,113	0,514	0,702
4					0,110	0,530	0,438
5						0,182	0,235
6							0,721
7							

$X_1$  = Punto de marchitamiento (gr. o ml. de agua por 100 gr. suelo seco a 105°).  
 $X_2$  = % de arcilla (< 2  $\mu$ ) en la fracción mineral referida a suelo seco a 105°).  
 $X_3$  = % de limo (2 — 50  $\mu$ ) en la fracción mineral referida a suelo seco a 105°).  
 $X_4$  = % de materia orgánica referida a suelo seco al aire.  
 $X_5$  = % de carbonatos referido a suelo seco al aire.  
 $X_6$  = Capacidad de campo (gr. o ml. de agua por 100 gr. de suelo seco a 105°).  
 $X_7$  = Agua retenida a 1 atmósfera (gr. o ml. de agua por 100 gr. de suelo seco a 105°).

$$\begin{aligned}
 r_{12} & \dots \dots \dots = 0,794 \\
 R_1 & \\
 & \quad (2 \ 3) \quad \quad \quad = 0,806 \\
 & \quad (2 \ 34) \quad \quad \quad = 0,918 \\
 & \quad (2 \ 345) \quad \quad \quad = 0,922 \\
 r_{62} & \dots \dots \dots = 0,621 \\
 R_6 & \\
 & \quad (2 \ 3) \quad \quad \quad = 0,654 \\
 & \quad (2 \ 34) \quad \quad \quad = 0,804 \\
 & \quad (2 \ 345) \quad \quad \quad = 0,808 \\
 r_{72} & \dots \dots \dots = 0,702 \\
 R_7 & \\
 & \quad (2 \ 3) \quad \quad \quad = 0,797 \\
 & \quad (2 \ 34) \quad \quad \quad = 0,864 \\
 & \quad (2 \ 345) \quad \quad \quad = 0,873
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= 1,618 + 0,271 X_2 \\
 X_1 &= 1,052 + 0,254 X_2 + 0,028 X_3 \\
 X_1 &= -1,971 + 0,223 X_2 + 0,067 X_3 + 1,650 X_4 \\
 (a) \quad X_1 &= -2,289 + 0,217 X_2 + 0,073 X_3 + 1,606 X_4 + 0,015 X_5 \\
 X_6 &= 9,209 + 0,505 X_2 \\
 X_6 &= 10,478 + 0,544 X_2 + 0,063 X_3 \\
 X_6 &= 2,099 + 0,458 X_2 + 0,045 X_3 + 4,575 X_4 \\
 (b) \quad X_6 &= 1,300 + 0,445 X_2 + 0,059 X_3 + 4,463 X_4 + 0,037 X_5 \\
 X_7 &= 5,169 + 0,431 X_2 \\
 X_7 &= 0,254 + 0,281 X_2 + 0,243 X_3 \\
 X_7 &= -3,802 + 0,240 X_2 + 0,295 X_3 + 2,215 X_4 \\
 (c) \quad X_7 &= -4,643 + 0,226 X_2 + 0,311 X_3 + 2,097 X_4 + 0,038 X_5
 \end{aligned}$$

cialmente esta última, por su elevada porosidad, es capaz de retener cantidades importantes de agua.

Para estos suelos, la fig. 6 indica la relación entre el contenido en humedad de la tierra fina y el de la fracción gruesa (> 2 mm.). De ella puede deducirse que a igualdad de peso, la fracción gruesa retiene aproximadamente 1/3 del agua que retiene la fracción fina.

Los valores representados en la fig. 6 se han obtenido por muestreo directo en el campo y de muestras que se humedecieron o de-

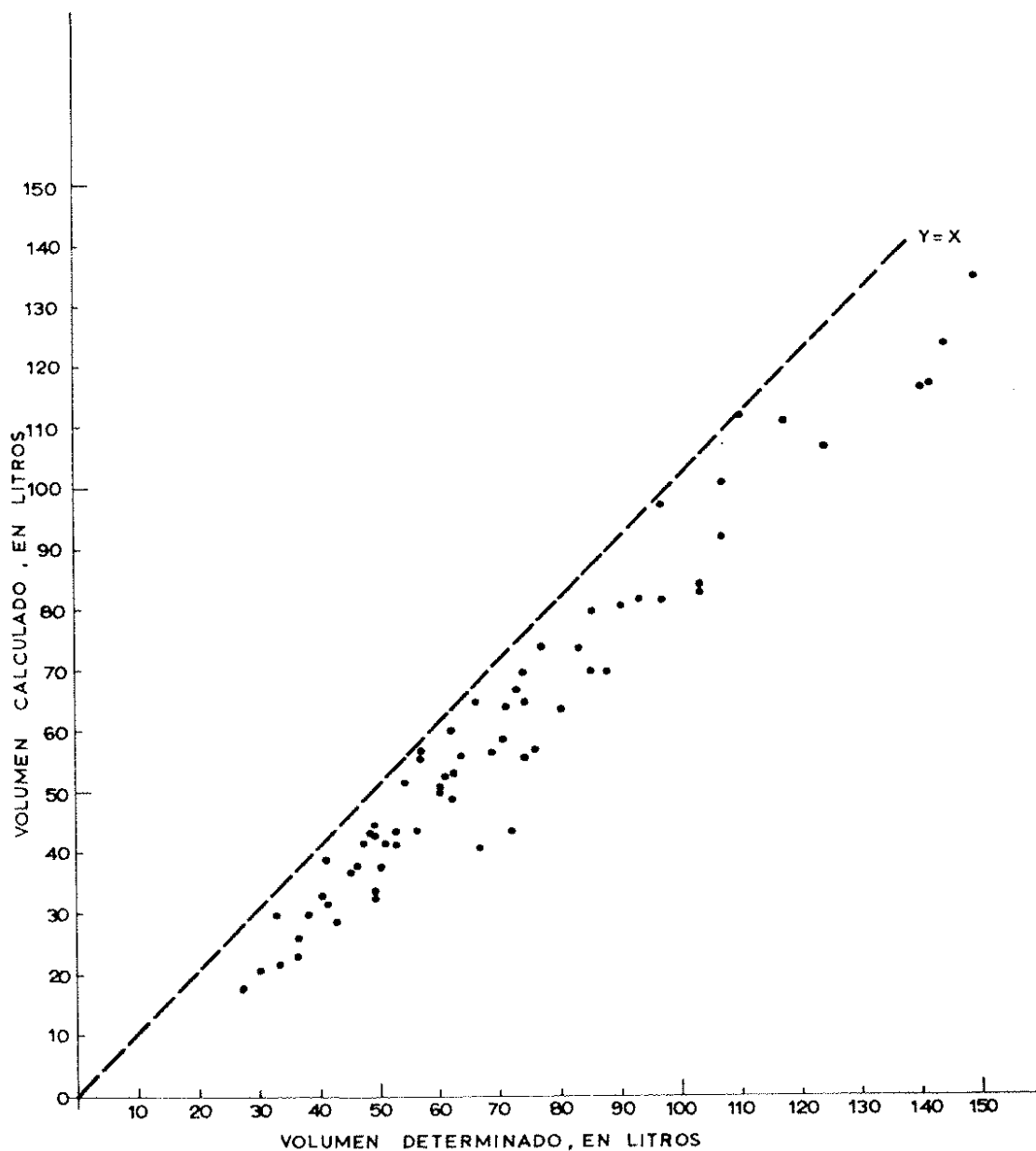


FIG. 7. Volumen de los hoyos determinado en el campo y calculado a partir de peso de fracción fina y gruesa y de las densidades aparentes respectivas 1,66 y 2,08 gr/ml.

jaron secar al aire, tras lo cual se cerraban herméticamente en bolsas de plástico para que se estableciera el equilibrio de humedad entre piedras y tierra. Transcurridos unos 10 días se tamizaban y determinaba la humedad de cada fracción.

Por otra parte, el porcentaje de piedras afecta a la densidad aparente de los suelos considerados y por consiguiente a los cálculos necesarios para llevar las cantidades de agua deducidas de las ecuaciones dadas o de los valores determinados directamente, a volumen de agua por volumen de suelo (o lo que es lo mismo, por espesor del horizonte y Ha.).

Cuando en estos suelos el porcentaje de piedras es bajo, y por tanto no impide la toma de muestras con cilindro, se ha obtenido un valor de densidad aparente de 1,66 gr/ml. (representa la media de 17 suelos con dos repeticiones en cada uno). Para la costra caliza una densidad aparente de 2,08 gr/ml. (media de ocho determi-

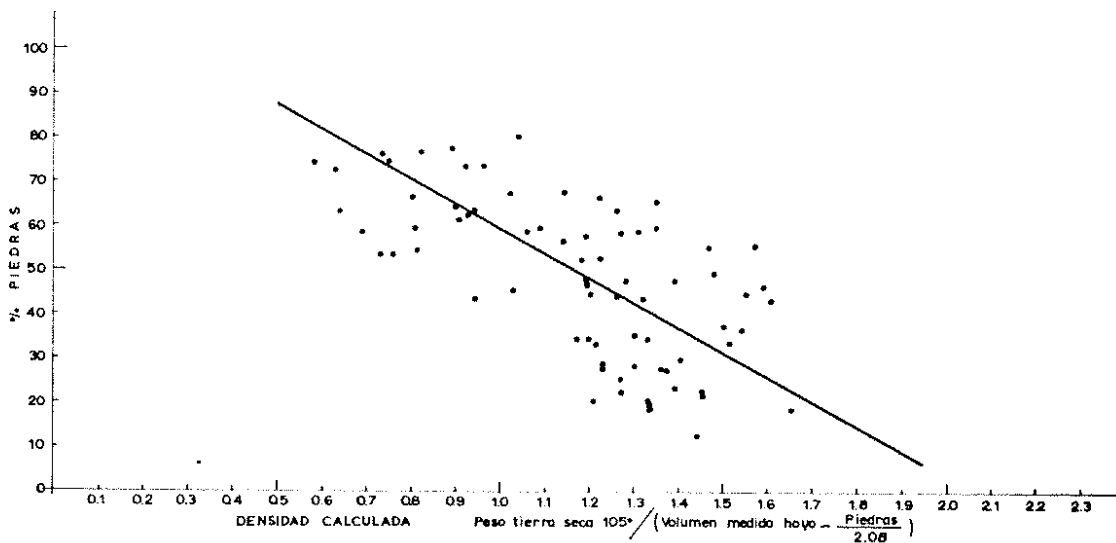


FIG. 8. Relación entre porcentaje de fracción gruesa  $> 2$  mm. y densidad aparente de la tierra fina calculada según:

$$\frac{\text{Peso de fracción menor de 2 mm.}}{\text{Volumen medido del hoyo} - \frac{\text{Piedras}}{2,08}}$$

naciones con tres repeticiones). Ahora bien, estos valores de densidad media de la costra y de la tierra fina no se pueden aplicar a los horizontes mezcla de ambos. En efecto, en el campo se hicieron hoyos en los que se midió el volumen y determinó la cantidad de tierra fina y fracción gruesa que contenían referida a muestra

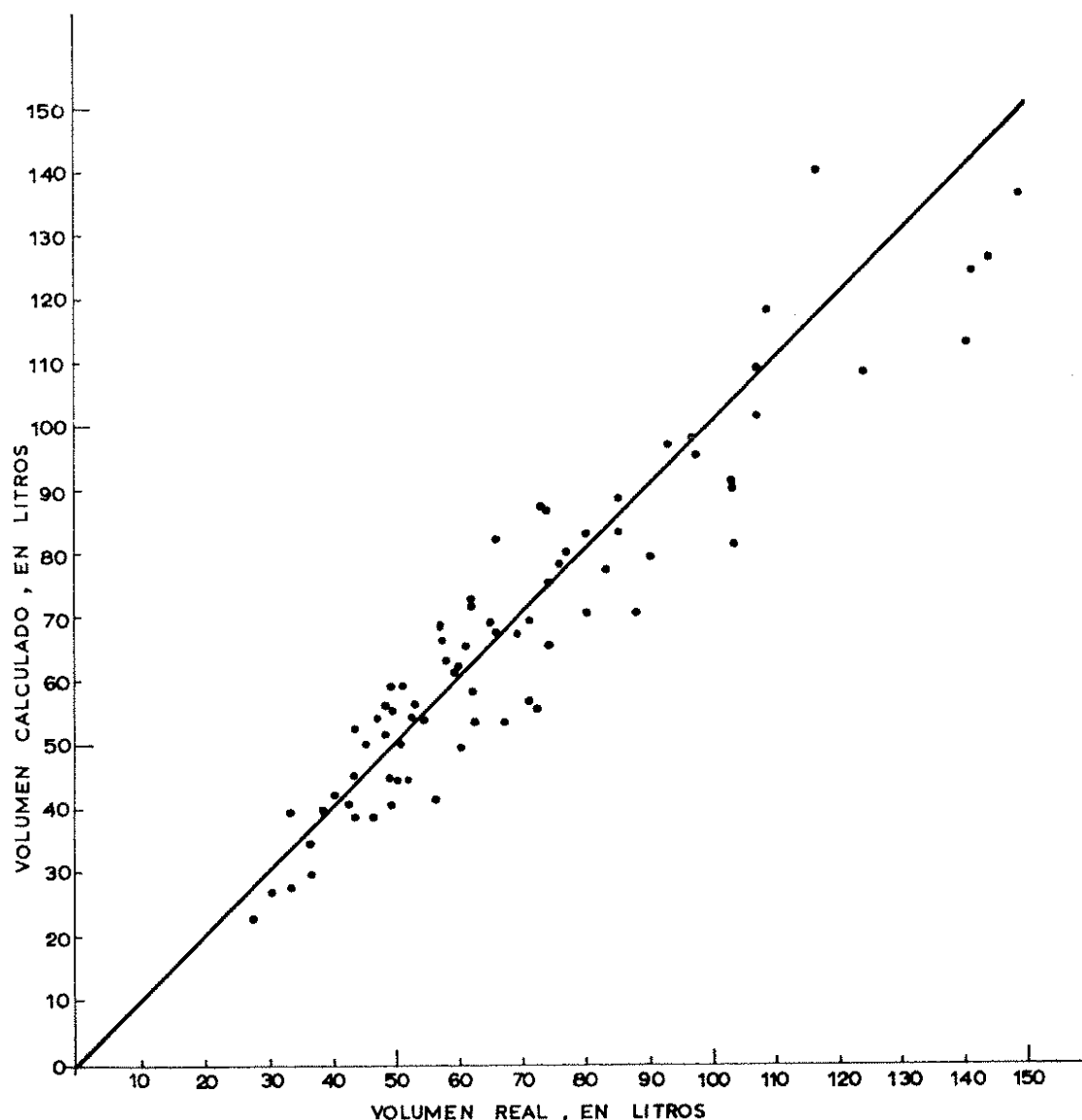


FIG. 9. Relación entre volumen de los hoyos medidos en el campo y volumen calculado teniendo en cuenta las densidades aparentes de la tierra fina dadas en el cuadro.

seca a  $105^{\circ}$ . La suma de los cocientes de estos pesos por las densidades aparentes dadas más arriba tendrían que dar el volumen ocupado. Si estos volúmenes así calculados se representan frente a los volúmenes medidos se obtiene la fig. 7, en la que es notoria la separación entre la nube de puntos y la recta  $Y = X$ . Esta diferencia entre los volúmenes calculados y medidos puede ser debida a que al aumentar el % de fracción gruesa aumenta la probabilidad de que queden espacios vacíos entre ella. Si estos espacios vacíos se asignan a la fracción fina se obtendrá que al aumentar el por-



centaje de fracción gruesa disminuirá la densidad aparente de la fracción fina.

La relación entre porcentaje de piedras y densidad aparente de la fracción fina calculada según:

$$\begin{aligned} & \text{Densidad aparente de la fracción fina} = \\ & = \frac{\text{Peso seco a } 105^\circ \text{ de la fracción fina}}{\text{Volumen medido del hoyo} - \frac{\text{Peso seco a } 105^\circ \text{ fracción gruesa}}{2,08}} \end{aligned}$$

para los hoyos considerados anteriormente viene dada en la fig. 8. De ella se han calculado las densidades aparentes dadas en el cuadro III en función del porcentaje de fracción mayor de 2 mm.

Si estos valores así estimados se aplican al cálculo de los volúmenes, como se hizo en la fig. 7, obtenemos la gráfica de la fig. 9, en la que la nube de puntos que representan la relación entre volumen calculado y medido se distribuye bastante homogéneamente alrededor de la recta  $Y = X$ .

A partir de estos valores de la densidad aparente de la tierra fina en función de la pedregosidad deducidos de la fig. 8 se ha calculado el volumen que ocupan 100 gr. de suelo seco con porcentaje de fracción fina variable. Los valores correspondientes se dan en el cuadro III, columna D.

El cálculo necesario para conocer la reserva de agua en el punto de equilibrio deseado teniendo en cuenta el efecto de la fracción mayor de 2 mm. en sus dos aspectos: como capaz de retener agua y como modificadora de la densidad aparente, se puede resumir así:

$$m^3 \text{ de agua} = \frac{A.B. (100 + 2 C)}{300 D.}$$

en la que:

A = Agua retenida por la fracción fina en el punto de equilibrio considerado, expresada en ml/100 gr. (calculada por las ecuaciones o determinada directamente).

B = Volumen del suelo en  $m^3$ .

C = Porcentaje en peso de fracción fina seca a  $105^\circ$ .

D = Volumen que ocupan 100 gr. de suelo en función del porcentaje de fracción mayor de 2 mm.

CUADRO III.— *Volumen que ocupan 100 gr. de suelo y densidad aparente de la tierra fina en función del porcentaje de fracción gruesa (> 2 mm.).*

Porcentaje en peso seco a 105°		D	Densidad aparente fracción fina gr/ml.
Fracción > 2 mm.	C Fracción fina	Volumen en ml. de 100 gr. suelo seco a 105°	
10	90	52.68	1,88
15	85	54.70	1,79
20	80	56.40	1,71
25	75	58.32	1,62
30	70	60.17	1,53
35	65	61.97	1,44
40	60	63.97	1,35
45	55	65.63	1,25
50	50	67.14	1,16
55	45	68.11	1,08
60	40	69.24	0,99
65	35	69.71	0,91
70	30	70.69	0,81
75	25	70.78	0,72
80	20	70.21	0,63

### RESUMEN

Para un grupo de suelos pardos con costra caliza de la Depresión del Ebro se han calculado las ecuaciones que relacionan el contenido en agua al punto de marchitamiento, a la capacidad de campo y a una atmósfera con el contenido en materia orgánica, arcilla, limo y carbonatos y estudiado el efecto de dos variables que es necesario considerar al calcular la necesidad o reserva de agua: la capacidad de retención de agua de la fracción gruesa en función de la humedad de la fracción fina y la variación de la densidad aparente en función del porcentaje de fracción gruesa.

#### *Agradecimientos.*

Se agradece la ayuda prestada a M. A. Monesma en las determinaciones analíticas de puntos de equilibrio agua-suelo y en los cálculos numéricos, a M. I. Poc en las determinaciones granulométricas, a J. Aparicio en el trabajo de campo y a Valerio Gómez, del C.I.D.A.D.E., el cálculo de ecuaciones y coeficientes de correlación con ordenador.

## REFERENCIAS

- BOULAINÉ, J.  
1966 Sur les relations entre les carapaces calcaires et les sols isohumique de climat xerothérique. *Sci. Sol.*, 1: 3-15.
- COILE, T. S.  
1952 Moisture content of small stone in soil. *Soil Sci.*, 75: 203-208.
- DURAND, J. H.  
1959 Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural. Service des Etudes Scientifiques.
- FRANZ, H., FRANZ, G.  
1969 Beitrag zur Kenntnis der Bildung von Kalkkrusten in Böden der warmen trockengebiete. *Z. Pflanzenernähr.*, 121: 34-42.
- GILE, L. H.  
1961 A classification of Ca horizons in soils of a Desert region, Doña Ana Country, New Mexico. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25: 52-61.
- GILE, L. H., PETERSON, F. F., GROSSMANN, R. B.  
1965 The K horizon: A master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Sci.*, 99: 74-82.  
1966 Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Sci.*, 101: 347-360.
- REINHART  
1961 The problem of stones in soil-moisture measurements. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25: 268-270.
- SCHOLZ, H.  
1968a Die Böden der Halbwüste Südwestafrikas. *Z. Pflanzenernähr. Düng Bod.*, 120: 105-118.  
1968b Die Böden der trockenen Savanne SW Afrikas. *Z. Pflanzenernähr. Düng Bod.*, 120: 118-130.