

EVALUACION DEL FACTOR CAPACIDAD Y SU RELACION CON EL FOSFORO ESTIMADO POR TRES SOLUCIONES EXTRACTORAS

M.^a Benigna Eleizalde

Estación Experimental de Aula Dei
ZARAGOZA

RESUMEN

En el presente trabajo se trata de evaluar el factor capacidad para el fósforo de un conjunto de suelos aluviales que varían en su contenido de arcilla, así como en su origen (cuencas de los ríos Gállego, Jalón y Ebro). Para este propósito se usa un método de laboratorio consistente en extracciones consecutivas con solución 0'01 M de cloruro cálcico. Se encuentra que estos suelos no sólo manifiestan valores distintos de este factor, en relación a la cuantía de P adsorbido, sino que la constante de unión entre P y el suelo, tiene también su influencia.

Se completa esta información sobre la evaluación del factor capacidad, estudiando además su posible relación con el fósforo extraído por los métodos Olsen, Burriel-Hernando y Van del Paaw-Sissingh, creyéndose que en base a la relación hallada entre el porcentaje de saturación y el P extraído por el método Van der Paaw-Sissingh, es posible que este método pueda representar al factor capacidad. Los otros dos procedimientos extraen cantidades de fósforo más altas que el factor cantidad, por lo que se aconseja un estudio más profundo para formar un criterio al respecto más adecuado.

Introducción

Ultimamente se trata de resolver los problemas concernientes a la fertilidad de un suelo, a través del conocimiento de los factores que regulan la situación de los nutrientes en el mismo: intensidad, cantidad e interrelación entre ambos, o sea, capacidad.

Se sabe que la condición óptima para que un suelo sea fértil, depende directamente del factor capacidad, por ser el que contribuye a la renovación de la concentración de un nutriente dado en la solución del suelo.

Sin embargo, hasta el momento actual, no existe un criterio uniforme sobre la expresión de este factor. Así, para OZANNE-

SHAW (1969) y RAJAN (1973), corresponde a la cantidad de fósforo adsorbido a una concentración dada de este nutriente en la solución. Mientras, RENNIE-Mc KERCHER (1957) y FOX-KAMPRATH (1970) señalan que los suelos difieren en las cantidades que pueden adsorber, por lo que a una misma concentración de fósforo en la solución final se obtienen distintas relaciones (Q/I). Partiendo de este hecho, estos autores consideran que es más lógico expresar este factor capacidad, como el % de saturación del fósforo adsorbido por un suelo en relación a su adsorción máxima total.

Para la determinación de este factor en el laboratorio, se usan métodos que incluyen soluciones de fósforo en contacto con el

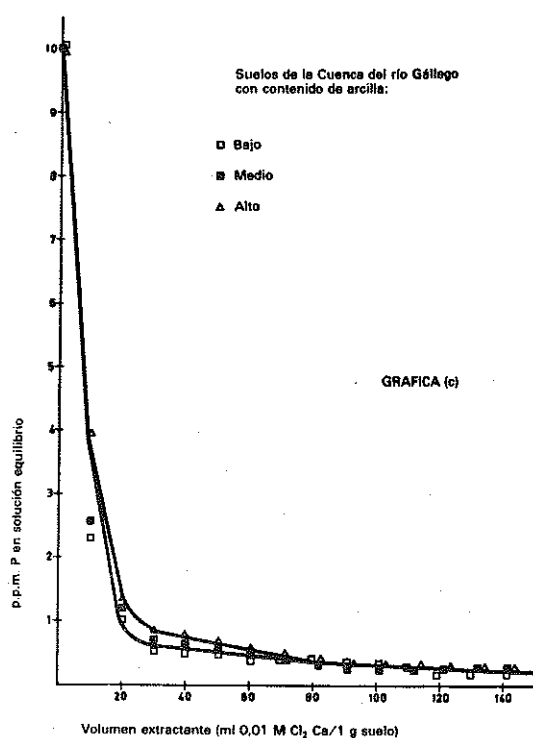
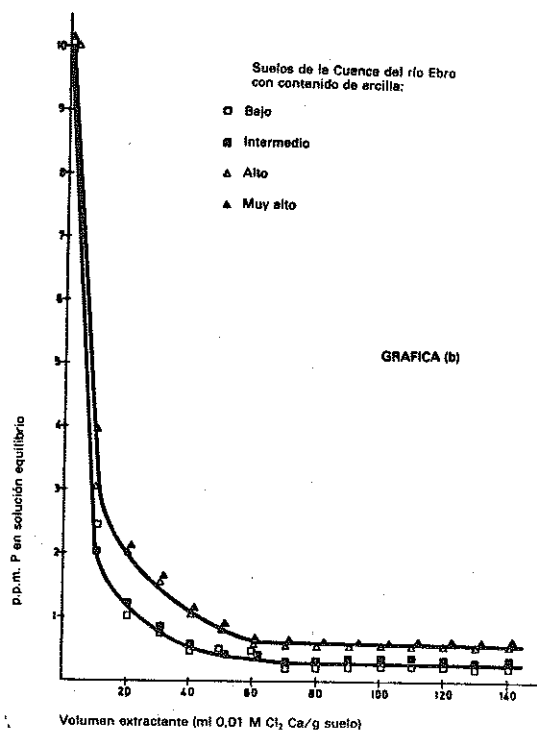
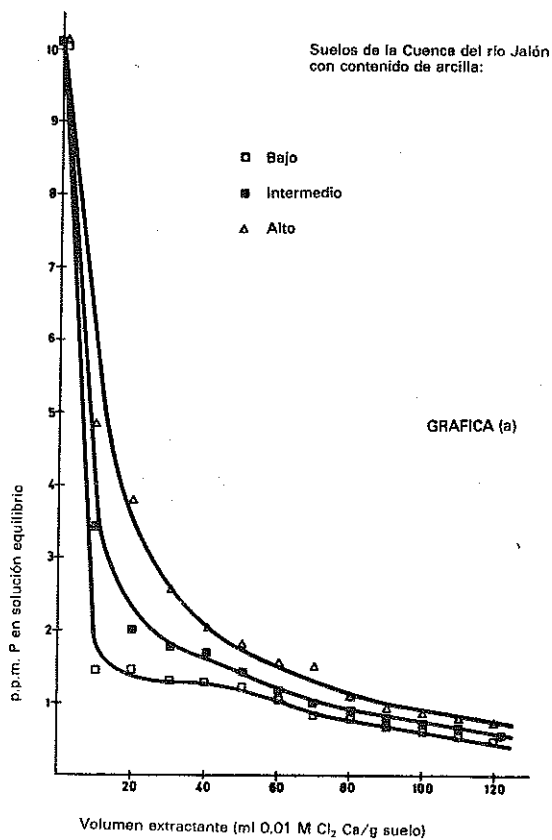


FIG. NÚM. 1. — Capacidades de los suelos aluviales de la provincia de Zaragoza para mantener la concentración de fósforo en la solución.

suelo, tal como indican RENNIE - Mc KERCHER (1957), o bien a través del comportamiento que presentan los suelos frente a extracciones consecutivas con solución 0'01 M de cloruro cálcico (RAJAN, 1973).

En ambos casos, no hay duda que la caracterización de este factor requiere de un tiempo de laboratorio muy largo. Por ello, se debe pensar en simplificar este trabajo, bien sea a través de un método más sencillo (BACHE - WILLIAMS, 1971; JONES - FOX, 1977) o del estudio sobre cómo reflejarían este factor, procedimientos rápidos de laboratorio.

Se sabe que las soluciones extractoras, de acción intermedia, difieren entre sí en relación a cómo reflejan los factores de intensidad y cantidad (WILLIAMS, 1967), pero se tiene poca información o casi ninguna sobre cómo indicarían el factor capacidad.

En este trabajo se pretende estudiar el factor capacidad a través del criterio de RAJAN (1973), en suelos aluviales de la provincia de Zaragoza diferentes en origen y en contenido de arcilla. Además, se quiere establecer un criterio sobre la posible evaluación de este factor por los métodos de OLSEN, BURRIEL - HERNANDO y VAN DER PAAW-SISSINGH, procedimientos de interés en los estudios de fertilidad del suelo.

Material y métodos

a) *Material*

Se utilizaron muestras de la capa arable de varios suelos aluviales, procedentes de tres cuencas diferentes, las de los ríos Jalón, Ebro y Gállego. Las características fisicoquímicas de estos suelos se han descrito ya en un trabajo anterior (ELEIZALDE, 1978).

b) *Metodología*

1. *Determinación del factor capacidad*

Se sigue el criterio de RAJAN (1973) procediendo de la siguiente manera:

En un tubo de centrifuga de polietileno, con capacidad de 100 ml se colocan 5 gramos

de suelo cernido por tamiz de 1 mm y 50 ml de solución 0'01 M de cloruro cálcico que lleva una concentración de P, en forma de fosfato cálcico, suficiente para obtener en la solución final 10 p. p. m.

Se agita esta suspensión de suelo durante veinticuatro horas, centrifugándola posteriormente a 3.000 r. p. m. durante treinta minutos. El líquido que sobrenada se recoge y se analiza el fósforo según el método de BURRIEL - HERNANDO (1947). De esta manera se tiene seguridad de haber logrado la concentración de 10 p. p. m. P requerida en la solución final.

Al residuo de suelo en el tubo de centrifuga, se le somete a un proceso de catorce extracciones consecutivas con solución 0'01 M de cloruro cálcico, usándose en cada extracción 50 ml de esta solución, tiempo de agitación de una hora y posterior centrifugación a 3.000 r. p. m. durante treinta minutos.

Una vez claro el líquido que sobrenada se le recoge y se analiza su contenido de fósforo por el método de BURRIEL - HERNANDO (1947), siguiendo esta misma secuencia trece veces más. Cada suelo lleva cuatro repeticiones.

2. *Estimación del factor capacidad por medio de los métodos de Burriel-Hernando, Olsen y Van der Paaw-Sissingh*

Para poder establecer la comparación entre ellos se debe considerar un intervalo de concentración de fósforo en la solución final en el que quede incluida la concentración a la cual tenga lugar la máxima respuesta de nuestros cultivos. En nuestro caso, siguiendo lo que señalan los distintos investigadores (FOX - KAMPRATH, 1970; RAJAN, 1973; OZANNE - SHAW, 1969), se puede suponer que sea del orden de 0 a 10 p. p. m. de P aplicado.

Con esta finalidad se equilibran las muestras de suelo con solución 0'01 M de cloruro cálcico, que lleve una concentración de fósforo de 0 a 10 p. p. m., en forma de fosfato cálcico. Transcurrido el tiempo de equilibrio, se guardan separadamente estos residuos de suelo, después de que se les ha dejado secar

a temperatura del laboratorio. Posteriormente, se toman cantidades apropiadas de los mismos, y en ellas se extrae el fósforo según los métodos de BURRIEL-HERNANDO (1951), OLSEN (1954) y VAN DER PAAW (1971), tal como señalan estos autores para la extracción del nutriente y para su posterior evaluación clorimétrica.

Resultados y discusión

1. Evaluación del factor capacidad

En la figura núm. 1 (a, b y c) queda reflejado el comportamiento de estos suelos aluviales en relación a este factor. Se puede decir que, en los suelos de dos cuencas (Jalón y Ebro), se observa que en los arcillosos la concentración en la solución pasa de 10 p. p. m. a 0'6 p. p. m.; en los de contenido medio de arcilla llega a un valor de 0'32 y en los de textura gruesa es de 0'20.

En la cuenca del río Gállego, no se encuentran estas diferencias tan señaladas, ya que para contenidos de 21 y 40 % de arcilla, tienden a presentar la misma capacidad (0'30 p. p. m.), que disminuye a 0'20 p. p. m. en el suelo de textura gruesa.

El hecho de que el suelo arcilloso de la vega del Gállego, difiera de los de la misma característica en las cuencas Ebro y Jalón, en relación a factor capacidad, se debe a que aquél presenta un valor inferior de adsorción máxima de fósforo que los de las vegas del Ebro y Jalón (ELEIZALDE, 1978).

Esto obliga a considerar otro tipo de unidad de comparación que pueda resultar más efectiva como puede ser la cantidad de P extraída como % del P adsorbido por el suelo.

Así, si aplicamos este criterio a los valores utilizados para elaborar las gráficas de la figura núm. 1, en tres de estos suelos aluviales se ve que los arcillosos quedan representados en un rango de 45 a 50 % del P adsorbido, que en el caso del suelo más arcilloso desciende ligeramente (43 %).

En las tres cuencas, los suelos de textura media y gruesa, quedan reflejados por los

rangos de 61 a 73 % y de 75 a 90 %, respectivamente.

Ambas expresiones en valores absolutos y relativos del factor capacidad reflejado por este método, coinciden con lo que señalan RAJAN (1973), SYERS *et al.* (1970) y Fox y KAMPRATH (1971) que sucede con la liberación del fósforo en suelos de textura distinta y en los que existen variaciones en la adsorción máxima total. Además se observan ligeras diferencias para suelos con valores similares en arcilla y adsorción de fósforo, lo que se atribuye a las diferencias que exhibe la constante de unión en estos suelos (ELEIZALDE, 1978).

2. Relación entre el factor capacidad y el valor obtenido por los procedimientos de Olsen, Burriel-Hernando y Van der Paaw-Sissingh.

a) Expresión del factor capacidad

Anteriormente se señala que existen diferencias notables en los suelos estudiados en relación al factor capacidad que se deben a la cantidad de fósforo adsorbido en cada suelo, así como también a la constante de unión entre nutriente y suelo.

El factor capacidad es un parámetro compuesto, puesto que relaciona a los factores intensidad y cantidad de un nutriente dado. Por ello si se quiere reflejar de una forma adecuada, se tiene que delimitar hasta qué rango de concentración de este nutriente es lógico considerar. En la metodología se señala que el intervalo de 0 a 10 p. p. m. P aplicado, es de interés, en nuestro caso, por dos razones:

1.^a Incluye la concentración de este nutriente a la que generalmente se obtiene el rendimiento máximo de los cultivos, en suelos tan distintos como los estudiados por RAJAN (1973); JONES-FOX (1977); HOLFORD-MATTINGLY (1976); OZANNE-SHAW (1969).

2.^a Corresponde al rango de tendencia rectilínea en las curvas de sorción y generalmente es el usado cuando se aplican fertilizantes (SYERS *et al.*, 1973).

Para cuantificar este factor existen dos

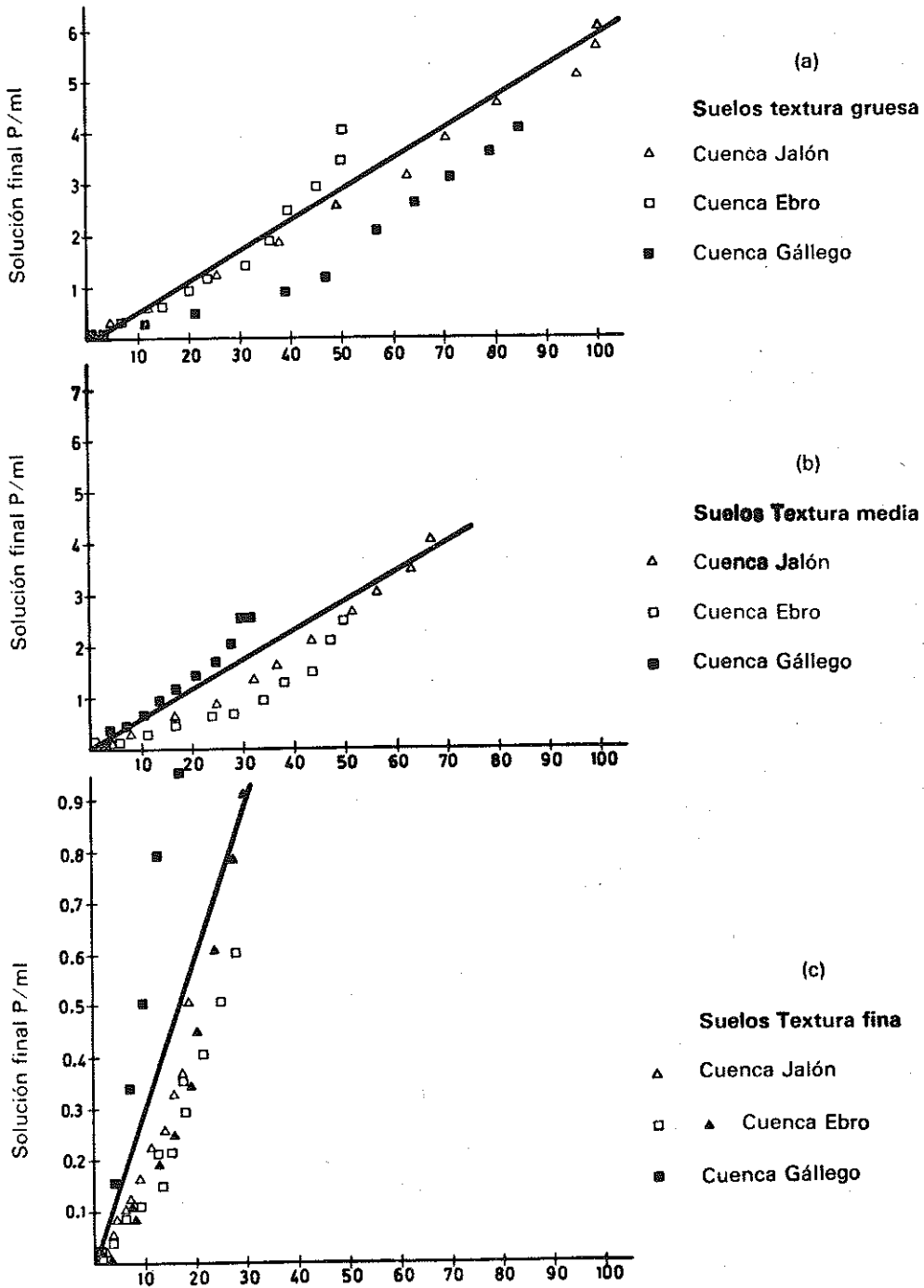


FIG. NÚM. 2.— Relación entre el factor de intensidad y el % de saturación en los suelos aluviales de las tres cuencas.

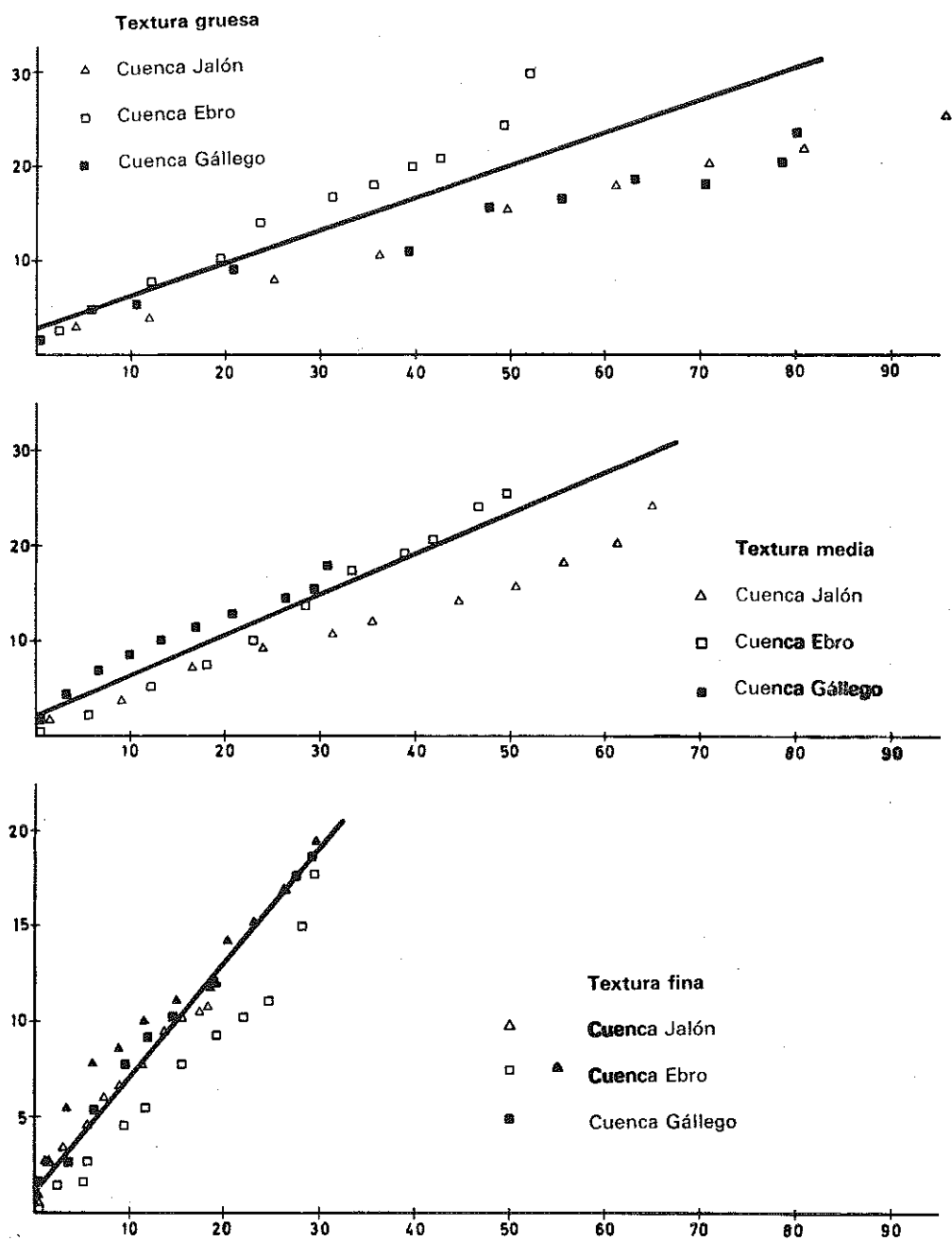


FIG. NÚM. 3. — Relación entre el P extraído por el método de Van der Paaw-Sissingh y el % de saturación.

criterios, uno es el de RENNIE - Mc KERCHER, que lo expresa como el % de saturación en relación a la adsorción máxima total.

No comparten la misma opinión HOLFORD-MATTINGLY (1976), quienes expresan claramente que en este factor de capacidad influye, en forma destacada, la constante de unión entre el nutriente y suelo, por lo que se debe aplicar una ecuación que incluya este valor. En este sentido esto se puede expresar como:

$$dx/dc = \frac{K' X_m'}{(1 + K'C)^2} + \frac{K'' X_m''}{(1 + K''C)^2}$$

donde,

K = valor constante de unión.

X/m = adsorción máxima.

C = una concentración cualquiera de P en la solución.

(*y*'), reflejan los lugares de adsorción.

Para hallar los valores de este factor según el criterio de HOLFORD - MATTINGLY, de igual forma que si se estima como el % de saturación, se han utilizado los valores K_1 y K_2 de estos suelos que se citan en un trabajo anterior (ELEIZALDE, 1978).

Ambas formas de expresión del factor capacidad, así como los parámetros intensidad, cantidad y valores de P extraído por los métodos de OLSEN, BURRIEL - HERNANDO y VAN DER PAAW - SISSINGH están incluidos en los cuadros núms. 1, 2 y 3.

En los suelos de la cuenca del río Jalón, los factores de intensidad y capacidad (expresado como % de saturación) aumentan notablemente en función del nivel de fósforo aplicado y en razón inversa al contenido de arcilla. Es decir que existe la saturación plena en el suelo arenoso, una situación media en el de 27 % de arcilla y un 20 % de saturación en el arcilloso.

En los otros suelos aluviales, vegas de los ríos Gállego y Ebro, esta diferencia de comportamiento no es tan acentuada.

RENNIE y Mc KERCHER (1959) establecen como condición para que el % de saturación

represente al factor capacidad, que debe existir una relación estrecha entre esta variable y el factor de intensidad. En nuestro caso se da esta relación lineal entre ambas variables, cuando se las estudia en grupos separados de suelos de acuerdo con su contenido de arcilla.

Como puede verse en la figura núm. 2, estas relaciones quedan representadas por las ecuaciones:

$y = 9'46 + 15'92 x$;
 $y = 6'86 + 14'99 x$; $y = 2'82 + 12'10 x$, siendo altamente significativos los coeficientes de correlación ($r = 0'90$; $0'90$; $0'89$ respectivamente) al nivel del 99 % de probabilidad. Esto supone que si se usa la expresión de % de saturación como factor de capacidad sólo lo indica bien en suelos que no difieren mucho en el contenido de arcilla. Es decir, que la posible comparación que se pueda establecer entre esta variable (% de saturación) y el fósforo que extraen los métodos OLSEN, BURRIEL - HERNANDO y VAN DER PAAW - SISSINGH se tendrá que limitar a los grupos de suelos con contenidos de arcilla idénticos, no pudiéndose manejar conjuntamente, en un análisis estadístico, los suelos aluviales de una misma cuenca que difieren en contenido de arcilla.

Si en esta evaluación se usase como variable correspondiente al factor de capacidad, la expresión dada por HOLFORD y MATTINGLY, puede verse que, en nuestro caso, hay una clara tendencia a disminuir este valor conforme aumenta el valor de intensidad. Esto indica que en los suelos de textura gruesa, la relación $\frac{dx}{dc}$ es menos va-

riable que en aquellos donde el contenido de arcilla influye en la obtención de curvas de sorción de fósforo de gran pendiente.

Cuando se comparan los suelos de textura gruesa de estas tres cuencas entre sí, puede detectarse que existen diferencias en tre ellos. Así, tal vez se pueda clasificar a los suelos de las vegas del Jalón, Gállego y Ebro como de bajo, medio y alto factor, lo que coincidiría con lo encontrado en el apartado anterior.

En los suelos de contenido de arcilla intermedio, se observa el mismo comporta-

CUADRO NÚM. 1

FACTORES DE INTENSIDAD, CANTIDAD Y CAPACIDAD, ASI COMO LOS VALORES OBTENIDOS POR LOS METODOS DE OLSEN, BURRIEL-HERNANDO Y VAN DER PAAW — SISSINGH, PARA LOS SUELOS ALUVIALES DE LA CUENCA DEL JALON

| N.º suelo | Arcilla % | Nivel P aplicado (p.p.m.) | Intensidad γ g P/ml | Cantidad γ g/1 g suelo | Capacidad | | P extraído (γ g P/1 g suelo) | | |
|-----------|-----------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------|----------|--------------------------------------|-------------|--------------|
| | | | | | % | Criterio | Olsen | B. Hernando | Van der PaaW |
| 1 | 11'94 | 0 | 0'25 | 1'47 | 4'74 | 5'62 | 3'00 | 4'64 | 2'20 |
| | | 1 | 0'60 | 4'00 | 12'90 | 4'96 | 3'60 | 6'00 | 4'00 |
| | | 2 | 1'20 | 8'00 | 25'80 | 4'03 | 12'00 | 15'80 | 8'00 |
| | | 3 | 1'88 | 11'20 | 36'12 | 3'29 | 14'00 | 16'10 | 11'01 |
| | | 4 | 2'50 | 15'00 | 48'39 | 2'76 | 18'00 | 21'00 | 16'00 |
| | | 5 | 3'10 | 19'00 | 61'29 | 2'37 | 20'00 | 24'00 | 18'65 |
| | | 6 | 3'80 | 22'00 | 70'97 | 2'00 | 25'00 | 30'00 | 21'83 |
| | | 7 | 4'50 | 25'00 | 80'64 | 1'72 | 28'00 | 35'00 | 23'50 |
| | | 8 | 5'00 | 30'00 | 96'77 | 1'55 | 36'00 | 41'00 | 26'14 |
| | | 9 | 5'60 | 34'00 | 100'00 | 1'38 | 30'00 | 45'00 | 31'24 |
| 10 | 6'50 | 35'00 | 100,00 | 1'17 | 42'00 | 46'00 | 34'00 | | |
| 2 | 27'05 | 0 | 0'10 | 2'00 | 2'22 | 38'80 | 6'00 | 8'00 | 2'00 |
| | | 1 | 0'20 | 8'30 | 8'89 | 35'33 | 14'00 | 29'00 | 4'30 |
| | | 2 | 0'50 | 15'00 | 16'68 | 33'84 | 22'00 | 32'00 | 7'30 |
| | | 3 | 0'80 | 22'00 | 24'44 | 22'38 | 28'00 | 36'00 | 9'20 |
| | | 4 | 1'20 | 28'00 | 31.11 | 17'29 | 34'00 | 42'00 | 11'30 |
| | | 5 | 1'60 | 34'00 | 35'56 | 13'78 | 40'00 | 46'00 | 12'30 |
| | | 6 | 2'00 | 40'00 | 44'44 | 11'25 | 44'00 | 48'00 | 14'60 |
| | | 7 | 2'50 | 45'00 | 50'00 | 8'94 | 49'00 | 52'00 | 16'90 |
| | | 8 | 3'00 | 50'00 | 55'56 | 7'28 | 56'00 | 67'00 | 18'50 |
| | | 9 | 3'50 | 55'00 | 61'11 | 6'05 | 61'00 | 70'00 | 21'60 |
| 10 | 4'20 | 58'00 | 64'44 | 4'77 | 70'00 | 78'00 | 25'00 | | |
| 3 | 39'81 | 0 | 0'01 | 2'98 | 0'59 | 297'00 | 16'00 | 60'00 | 1'54 |
| | | 1 | 0'03 | 9'70 | 1'94 | 291'30 | 22'00 | 68'00 | 3'01 |
| | | 2 | 0'06 | 19'40 | 3'88 | 279'00 | 30'00 | 72'00 | 3'90 |
| | | 3 | 0'09 | 29'05 | 5'81 | 270'00 | 36'00 | 84'00 | 4'60 |
| | | 4 | 0'13 | 38'70 | 7'74 | 258'60 | 42'50 | 92'00 | 5'40 |
| | | 5 | 0'17 | 48'30 | 9'66 | 247'90 | 45'00 | 100'00 | 6'16 |
| | | 6 | 0'20 | 58'00 | 11'60 | 240'00 | 52'00 | 110'00 | 7'78 |
| | | 7 | 0'25 | 67'50 | 13'50 | 227'00 | 56'00 | 115'00 | 9'28 |
| | | 8 | 0'32 | 76'80 | 15'36 | 211'00 | 60'00 | 125'00 | 10'06 |
| | | 9 | 0'37 | 86'30 | 17'26 | 201'00 | 64'00 | 130'00 | 10'80 |
| 10 | 0'58 | 89'00 | 17'80 | 164'00 | 68'00 | 140'00 | 11'61 | | |

miento para dos de ellos, el cual difiere del de la vega del Ebro.

En los arcillosos, sólo en las vegas de los ríos Ebro y Jalón se asemejan, mientras que el correspondiente al Gállego tiende a ser igual a los de textura media del Ebro y del mismo Gállego.

b) *Relación entre factor capacidad y P extraído por varios procedimientos de laboratorio*

b.1. *Evaluación del método Van der Paaw-Sissingh*

En la figura núm. 3 está representada la relación entre % de saturación y el fósforo extraído por este método de laboratorio conforme a los datos incluidos en los cuadros núms. 1, 2 y 3. Puede verse que existen ligeras diferencias entre suelos que difieren en un 10 % de arcilla, como son los denominados de textura gruesa y media. No hay duda que en los arcillosos estas diferencias se acentúan más.

Puede suponerse que si el criterio que establece el % de saturación como factor de capacidad es correcto, en nuestro caso, el procedimiento de VAN DER PAAW-SISSINGH lo refleja bastante bien, como puede verse en la figura núm. 3, ya que se obtienen distintas relaciones con los grupos de suelos establecidos de acuerdo al contenido de arcilla ($y = 2'49 + 0'28 x$; $y = 4'91 + 0'34 x$; $y = 2'51 + 0'532 x$). La correlación entre ambas variables es significativa

$$(r = 0'93; r = 0'99; r = 0'96).$$

Téngase presente que este método de laboratorio, no supone una simple extracción del fósforo del suelo con agua, sino que ha habido un período previo de 22 horas de incubación de la muestra con un nivel de humedad adecuado. Bajo estas condiciones, es posible que en este intervalo de tiempo la fracción más lábil pueda pasar a la solución y su cuantía puede diferir de unos suelos a otros, no sólo en función de las existencias en el pool, sino también del valor de la constante de unión entre fósforo y suelo.

Si se comparan los valores de este método frente al criterio de HOLFORD-MARTINGLY (1974) se verá la influencia de ambos factores (pool y constante de unión). En los cuadros núms. 1, 2 y 3, se observa que existe una tendencia a disminuir el factor capacidad conforme aumenta el nivel de fósforo extraído. Por ello se puede suponer que el fósforo extraído por este método de laboratorio, señala una relación inversa con respecto a este criterio. Para establecer en forma correcta la validez de una posible evalua-

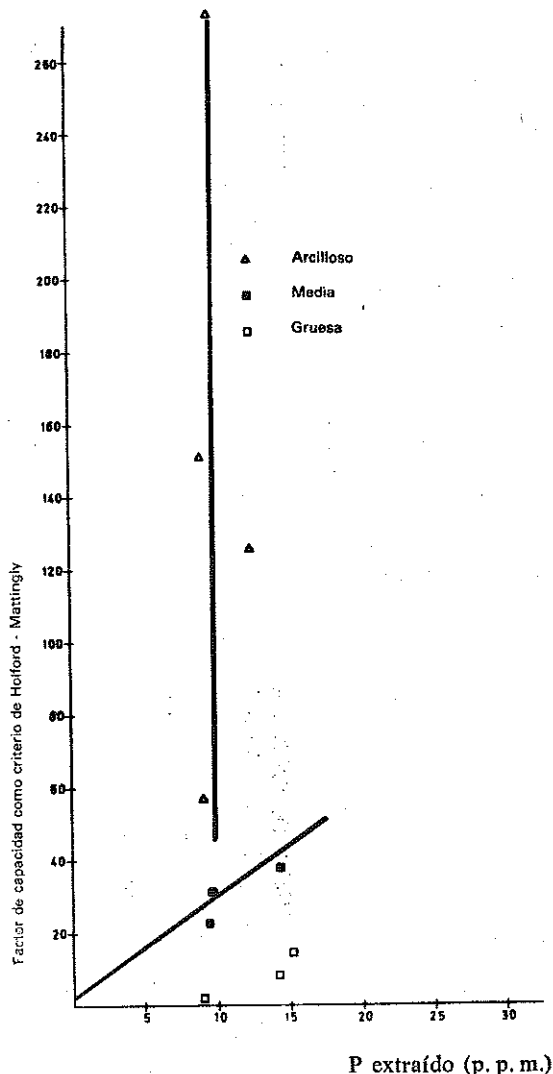


FIG. NÚM. 4.— Relación entre el factor de capacidad y el valor de P extraído por el método de Van der Paaw—Sissingh

CUADRO NÚM. 2

FACTORES DE INTENSIDAD, CANTIDAD Y CAPACIDAD, ASI COMO LOS VALORES OBTENIDOS POR LOS METODOS DE OLSEN, BURRIEL-HERNANDO Y VAN DER PAAW — SISSINGH, PARA LOS SUELOS ALUVIALES DE LA CUENCA DEL EBRO

| N.º suelo | Arcilla % | Nivel P aplicado (p.p.m.) | Intensidad γ g P/ml | Cantidad γ g/1 g suelo | Capacidad | | P extraído (γ g P/1 g suelo) | | Van der PaaW |
|-----------|-----------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------|----------|--------------------------------------|-------------|--------------|
| | | | | | % | Criterio | Olsen | B. Hernando | |
| 4 | 8'65 | 0 | 0'10 | 3'01 | 2'50 | 29'46 | 3'00 | 40 | 2'80 |
| | | 1 | 0'23 | 7'70 | 6'80 | 27'62 | 5'80 | 40 | 5'84 |
| | | 2 | 0'60 | 14'00 | 12'30 | 23'15 | 15'60 | 50 | 8'84 |
| | | 3 | 0'80 | 22'00 | 19'30 | 21'19 | 18'00 | 55 | 12'03 |
| | | 4 | 1'20 | 28'00 | 24'60 | 17'19 | 25'20 | 60 | 15'35 |
| | | 5 | 1'40 | 36'00 | 31'60 | 16'63 | 30'00 | 63 | 17'00 |
| | | 6 | 2'00 | 40'00 | 35'10 | 13'40 | 35'00 | 66 | 18'22 |
| | | 7 | 2'50 | 45'00 | 39'50 | 11'58 | 40'00 | 70 | 20'00 |
| | | 8 | 3'00 | 50'00 | 43'80 | 9'76 | 45'00 | 72 | 22'72 |
| | | 9 | 3'50 | 55'00 | 48'30 | 8'48 | 50'00 | 76 | 24'00 |
| 10 | 4'20 | 58'00 | 50'90 | 6'58 | 55'00 | 80 | 30'96 | | |
| 5 | 16'77 | 0 | 0'01 | 0'69 | 0'45 | 68'77 | 1600 | 44 | 1'50 |
| | | 1 | 0'08 | 9'20 | 6'00 | 64'31 | 24'80 | 46 | 3'10 |
| | | 2 | 0'20 | 18'00 | 11'92 | 58'36 | 32'00 | 50 | 5'48 |
| | | 3 | 0'36 | 26'40 | 17'49 | 50'71 | 36'00 | 55 | 7'70 |
| | | 4 | 0'52 | 34'80 | 23'05 | 45'17 | 39'20 | 60 | 10'84 |
| | | 5 | 0'70 | 43'00 | 28'48 | 39'91 | 42'40 | 68 | 14'93 |
| | | 6 | 0'92 | 50'80 | 33'64 | 34'38 | 44'00 | 72 | 17'03 |
| | | 7 | 1'30 | 57'00 | 37'74 | 27'20 | 46'00 | 80 | 19'35 |
| | | 8 | 1'55 | 64'50 | 42'71 | 23'70 | 48'00 | 85 | 21'67 |
| | | 9 | 2'00 | 70'00 | 46'36 | 18'71 | 59'00 | 90 | 24'00 |
| 10 | 2'50 | 75'00 | 49'67 | 15'75 | 50'00 | 100 | 26'00 | | |

| | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|--------|-------|-----|-------|
| 0 | 0'010 | 3'60 | 1'18 | 556'00 | 52'00 | 45 | 1'50 |
| 1 | 0'025 | 9'75 | 3'20 | 330'00 | 18'00 | 50 | 2'50 |
| 2 | 0'060 | 19'40 | 6'37 | 329'00 | 23'00 | 60 | 3'87 |
| 3 | 0'090 | 29'10 | 9'56 | 258'00 | 30'00 | 68 | 4'64 |
| 4 | 0'140 | 29'10 | 12'67 | 219'10 | 35'00 | 74 | 6'19 |
| 5 | 0'200 | 48'00 | 15'76 | 184'00 | 38'00 | 80 | 7'70 |
| 6 | 0'280 | 57'20 | 18'78 | 151'19 | 42'00 | 90 | 9'29 |
| 7 | 0'400 | 66'00 | 21'68 | 122'46 | 44'00 | 95 | 10'84 |
| 8 | 0'520 | 74'80 | 24'56 | 97'98 | 48'00 | 100 | 12'38 |
| 9 | 0'600 | 84'00 | 27'57 | 88'28 | 56'00 | 105 | 15'48 |
| 10 | 1'000 | 90'00 | 29'54 | 57'52 | 60'00 | 110 | 18'57 |
| 0 | 0'010 | 3'42 | 1'10 | 529'48 | 18'00 | 62 | 1'27 |
| 1 | 0'020 | 9'80 | 3'16 | 435'79 | 22'00 | 68 | 6'53 |
| 2 | 0'060 | 19'40 | 6'25 | 364'36 | 28'00 | 74 | 7'70 |
| 3 | 0'100 | 29'00 | 9'34 | 293'20 | 35'00 | 78 | 8'18 |
| 4 | 0'180 | 38'20 | 12'30 | 208'30 | 39'00 | 80 | 10'30 |
| 5 | 0'240 | 47'60 | 15'33 | 172'50 | 42'00 | 82 | 11'60 |
| 6 | 0'340 | 56'60 | 18'22 | 128'50 | 46'00 | 86 | 12'90 |
| 7 | 0'460 | 65'20 | 20'99 | 107'29 | 52'00 | 90 | 14'20 |
| 8 | 0'600 | 74'00 | 23'83 | 87'69 | 58'00 | 95 | 15'60 |
| 9 | 0'780 | 82'20 | 26'46 | 70'95 | 62'00 | 100 | 17'10 |
| 10 | 0'920 | 90'80 | 29'23 | 62'05 | 68'00 | 105 | 19'30 |

6 39'75

7 52'43

CUADRO NÚM. 3

FACTORES DE INTENSIDAD, CANTIDAD Y CAPACIDAD, ASI COMO LOS VALORES OBTENIDOS POR LOS METODOS DE OLSEN, BURRIEL-HERNANDO Y VAN DER PAAW — SISSINGH, PARA LOS SUELOS ALUVIALES DE LA CUENCA DEL GALLEGO

| N.º suelo | Arcilla % | Nivel P aplicado (p.p.m.) | Intensidad γ g P/ml | Cantidad γ g/1 g suelo | Capacidad | | P extraído (γ g P/1 g suelo) | | |
|-----------|-----------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------|----------|--------------------------------------|-------------|--------------|
| | | | | | % | Criterio | Olsen | B. Hernando | Van der PaaW |
| 8 | 8'28 | 0 | 0'10 | 0'84 | 1'18 | 1475 | 280 | 40 | 2'21 |
| | | 1 | 0'20 | 8'00 | 11'26 | 14'22 | 10'00 | 45 | 6'63 |
| | | 2 | 0'45 | 15'50 | 21'83 | 12'91 | 15'00 | 48 | 9'93 |
| | | 3 | 0'80 | 22'00 | 39'43 | 11'37 | 22'00 | 52 | 12'16 |
| | | 4 | 1'20 | 28'00 | 47'88 | 9'97 | 30'00 | 58 | 14'50 |
| | | 5 | 1'60 | 34'00 | 56'34 | 8'83 | 36'00 | 63 | 15'60 |
| | | 6 | 2'00 | 40'00 | 63'38 | 7'84 | 40'00 | 68 | 16'50 |
| | | 7 | 2'50 | 45'00 | 70'42 | 6'83 | 45'00 | 72 | 17'60 |
| | | 8 | 3'00 | 50'00 | 77'48 | 6'00 | 55'00 | 78 | 18'80 |
| | | 9 | 3'50 | 55'00 | 84'50 | 5'32 | 60'00 | 82 | 20'21 |
| 9 | 21'09 | 10 | 4'00 | 60'00 | 4'74 | 474 | 32'00 | 86 | 24'32 |
| | | 0 | 0'10 | 3'80 | 1'66 | 38'21 | 35'00 | 40 | 2'80 |
| | | 1 | 0'20 | 8'00 | 3'50 | 36'53 | 36'00 | 43 | 5'10 |
| | | 2 | 0'42 | 15'80 | 6'93 | 33'75 | 38'00 | 46 | 7'10 |
| | | 3 | 0'65 | 23'50 | 10'30 | 30'63 | 42'00 | 50 | 9'40 |
| | | 4 | 0'90 | 31'00 | 13'59 | 28'24 | 46'00 | 54 | 10'70 |
| | | 5 | 1'15 | 38'50 | 16'89 | 25'85 | 56'00 | 58 | 12'10 |
| | | 6 | 1'40 | 46'00 | 20'18 | 23'84 | 60'00 | 60 | 13'80 |
| | | 7 | 1'70 | 53'00 | 23'25 | 21'52 | 68'00 | 66 | 14'80 |
| | | 8 | 2'00 | 60'00 | 26'31 | 19'71 | 70'00 | 70 | 15'90 |
| 10 | 30'97 | 9 | 2'40 | 66'00 | 28'94 | 17'69 | 68'00 | 74 | 17'50 |
| | | 10 | 2'50 | 70'00 | 30'71 | 12'74 | 76'00 | 78 | 21'40 |
| | | 0 | 0'08 | 4'00 | 1'52 | 66'02 | 36'00 | 50 | 2'80 |
| | | 1 | 0'16 | 8'40 | 3'20 | 63'50 | 43'20 | 58 | 3'80 |
| | | 2 | 0'34 | 16'60 | 6'31 | 56'64 | 46'00 | 64 | 5'80 |
| | | 3 | 0'50 | 25'00 | 9'51 | 52'89 | 50'00 | 70 | 8'20 |
| | | 4 | 0'78 | 32'20 | 12'24 | 46'08 | 54'00 | 76 | 9'50 |
| | | 5 | 0'98 | 40'20 | 15'28 | 42'20 | 56'00 | 80 | 10'50 |
| | | 6 | 1'20 | 48'00 | 18'26 | 38'58 | 58'00 | 84 | 13'20 |
| | | 7 | 1'50 | 55'00 | 20'92 | 34'18 | 64'00 | 88 | 15'70 |
| 9 | 1'85 | 8 | 1'85 | 61'50 | 23'39 | 29'97 | 68'00 | 95 | 18'10 |
| | | 9 | 2'15 | 68'50 | 26'05 | 26'98 | 72'00 | 100 | 19'10 |
| | | 10 | 2'50 | 75'00 | 28'52 | 24'10 | 76'00 | 105 | 20'80 |

ción, se tendrá que considerar el valor de criterio HOLFORD y MATTINGLY a diferentes niveles de concentración de P en la solución de equilibrio, debido a que es frecuente que, en suelos que difieren notablemente en su contenido de arcilla, no se logre el rendimiento máximo a una misma concentración, tal como señalan COLE-OLSEN (1959), FOX-KAMPRATH (1970) y KHASAWNETH-COPELAND (1973).

Pueden, por tanto, sugerirse unas concentraciones de fósforo en la solución, tales que supongan igualdad de condiciones en todos los suelos en estudio, de acuerdo con la experiencia de WOODRUFF-KAMPRATH (1965); FOX-KAMPRATH (1970), KHASAWNETH-COPELAND (1973) y COLE-OLSEN (1959) quienes deducen que los suelos arenosos requieren una concentración de P más alta que los arcillosos. En nuestro caso la comparación se establece sobre la base de 1'20; 0'60 y 0'30 p. p. m. de P en la solución final, en relación inversa con el contenido de arcilla de los suelos.

En la figura núm. 4, se ven las relaciones entre el P extraído por el método VAN DER PAAW-SISSINGH y el valor criterio de HOLFORD-MATTINGLY a las concentraciones de P antes mencionadas y de nuevo aparece la tendencia de los suelos a agruparse de acuerdo con su contenido de arcilla.

b.2. *Relación del factor capacidad con el P extraído por el método Olsen*

KAFKAKI *et al.* (1967), así como NAGARAJAH *et al.* (1968) señalan que el ión bicarbonato tiene una acción muy favorable sobre la sustitución y desplazamiento del fósforo sorbido en la arcilla; por tanto, ambos grupos de investigadores indican que puede ser un excelente extractor del fósforo del suelo, sin detallar si su acción puede servir para evaluar uno de los factores de fertilidad o por el contrario, esta evaluación será un exceso al incluir formas de P no lábiles. En este aspecto RENNIE-Mc KERCHER (1959) y OZANNE-SHAW (1969) indican que la acción del bicarbonato no puede representar el factor capacidad, ya que, estos investigadores, no encuentran relación entre el P extraído de

los suelos con agua bicarbonatada y el porcentaje de saturación. Es más, en el caso de OZANNE-SHAW observan una tendencia hacia una relación negativa, por lo que estos investigadores incluyen el valor del P extraído por el método OLSEN como un factor de corrección cuando tratan de predecir las exigencias de fósforo en los suelos de Australia.

En nuestro caso, con los suelos aluviales de la provincia de Zaragoza, se encuentra una relación entre el P extraído por método OLSEN y el % de saturación, tal como indica la figura núm. 5 para los grupos de suelos establecidos de acuerdo con su contenido de arcilla.

A pesar de la alta correlación entre ambas variables ($r = 0'70; 0'75; 0'89$) en todos estos suelos, se cree que la solución extractora Olsen no sólo actúa sobre la reserva de fósforo lábil, que representa el factor cantidad (P adsorbido), sino también sobre otros compuestos de fósforo, de los cuales no se puede decir exactamente si influyen sobre la renovación de la concentración de este nutriente en la solución del suelo (ver cuadros núms. 1, 2 y 3).

b.3. *Relación entre el P extraído por el método de Burriel-Hernando y el factor capacidad*

De los tres procedimientos considerados, éste es el que suministra valores más altos de fósforo en todos los suelos estudiados (véase cuadros núms. 1, 2 y 3); por ello, en este caso es también válido lo indicado para el Olsen y el factor cantidad, lo que significa que la solución Burriel-Hernando solubiliza formas de fósforo que no están incluidas en la reserva lábil.

Además, este método presenta otra peculiaridad respecto a su relación con el porcentaje de saturación, ya que no sólo establece diferencias según el contenido de arcilla, sino también, según la naturaleza y origen del suelo. Este es el motivo por el que se han trazado los valores de los suelos de cada cuenca por separado, ya que exhiben relaciones distintas para contenidos iguales de arcilla, según puede verse en las gráficas correspondientes (figuras núms. 6, 7 y 8).

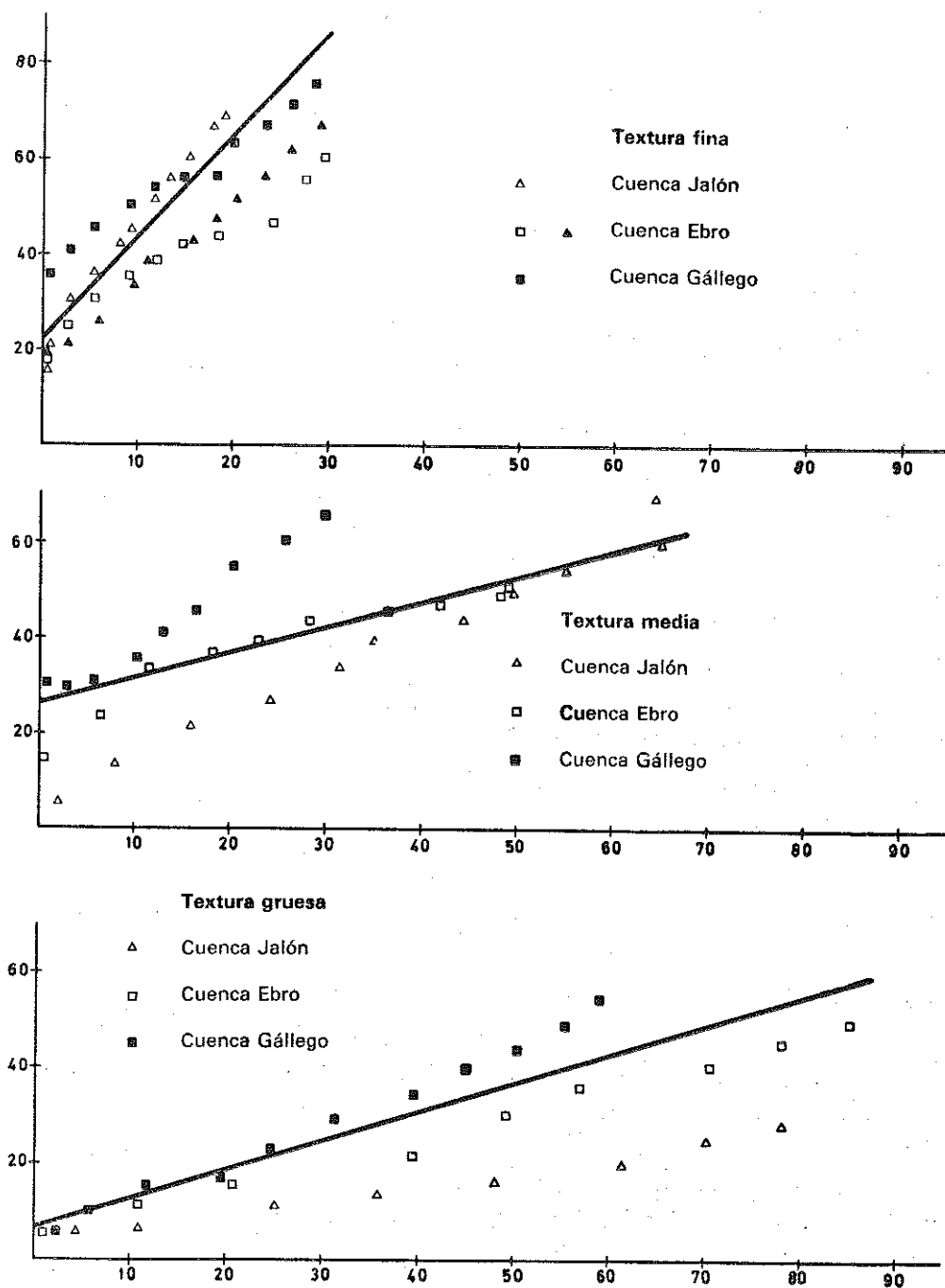


FIG. NÚM. 5.—Relación entre % de saturación y P extraído por el método Olsen, en suelos de las Cuencas de los ríos Gállego, Jalón y Ebro.

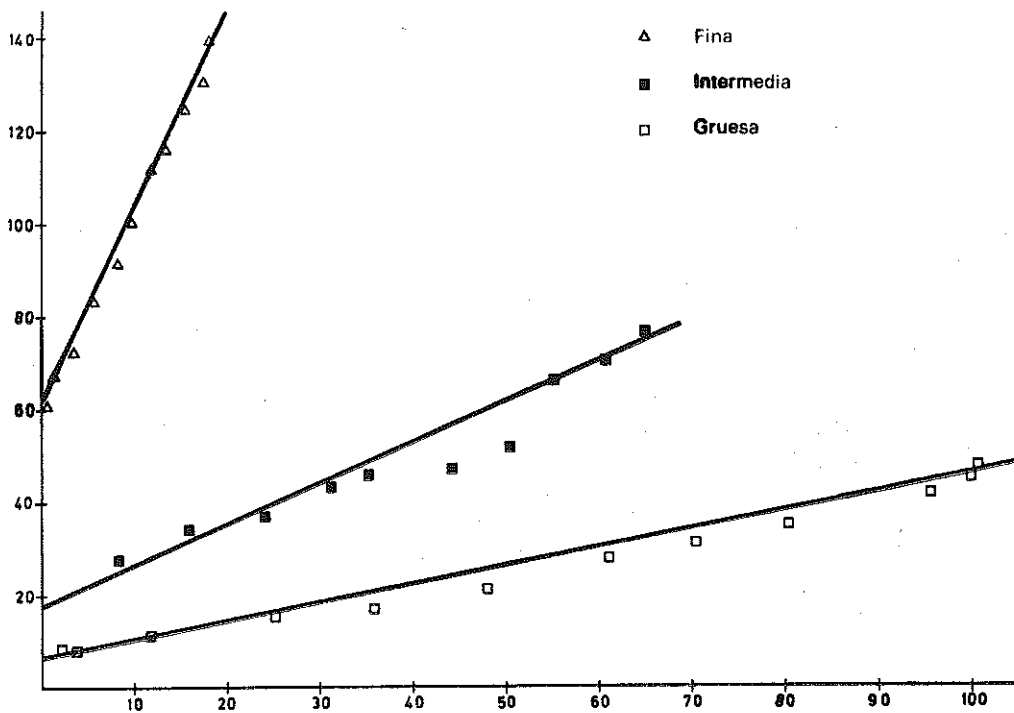


FIG. NÚM. 6.—Relación entre % de saturación y P extraído de los suelos aluviales de la Cuenca del río Jalón por el método Burriel-Hernando.

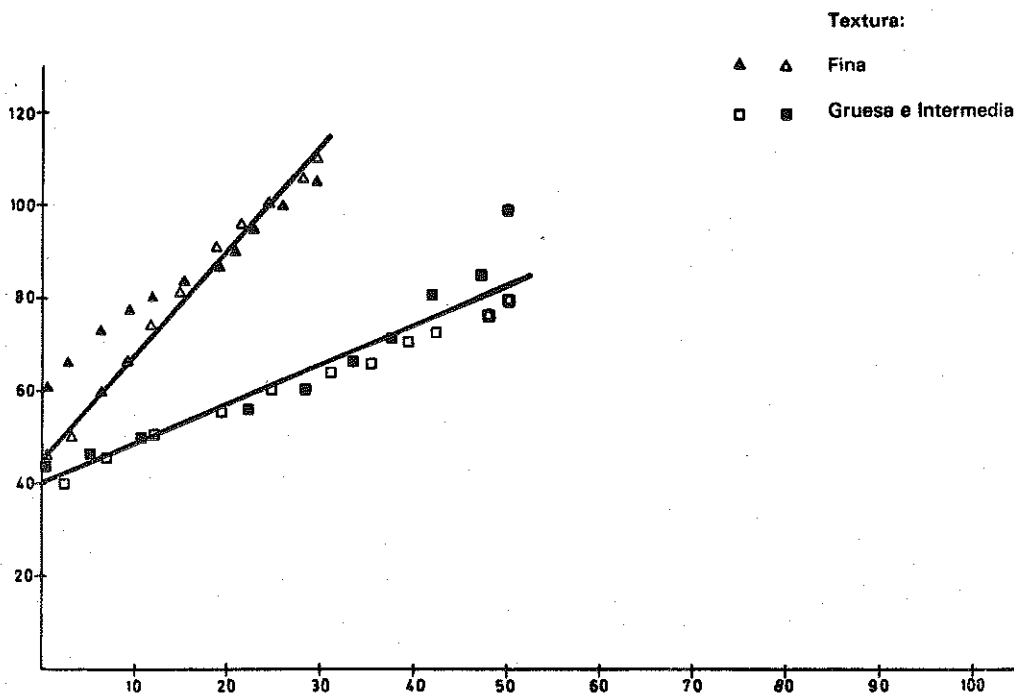


FIG. NÚM. 7.—Relación entre % de saturación y P extraído de los suelos aluviales de la Cuenca del río Ebro por el método Burriel-Hernando.

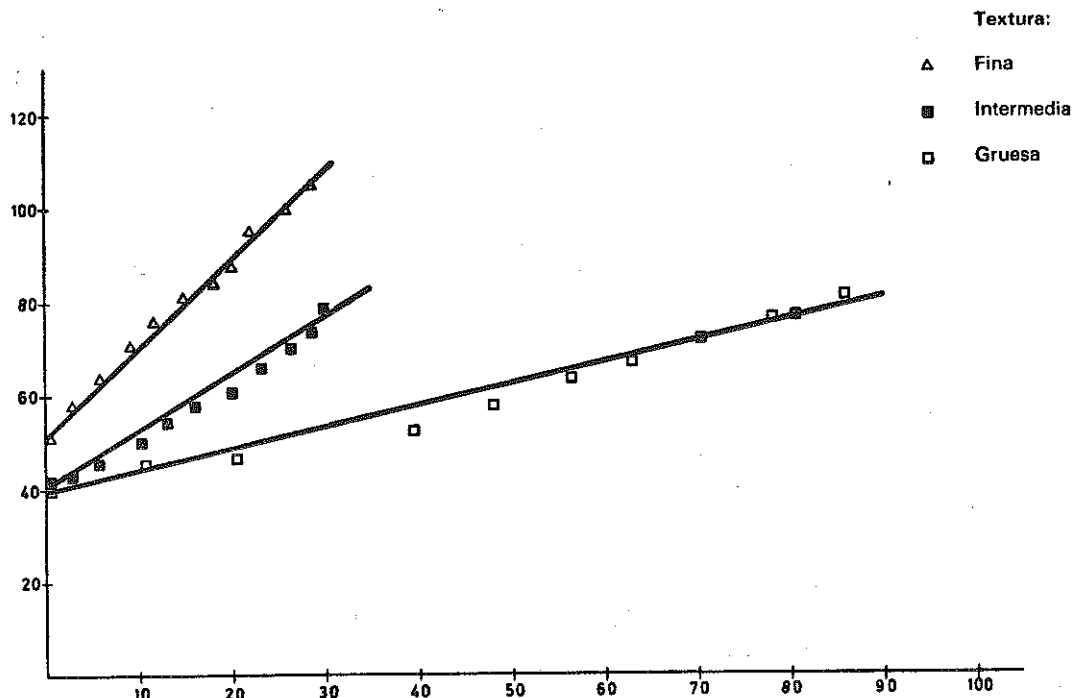


FIG. NÚM. 8.—Relación entre % de saturación y P extraído de suelos aluviales de la Cuenca del río Gállego por el método Burriel-Hernando.

Parece que este comportamiento se repite en las vegas de los ríos Gállego y Jalón, donde se establecen diferencias en relación al contenido de arcilla. No sucede lo mismo en la vega del río Ebro, donde contenidos de arcillas inferiores a un 30 %, manifiestan comportamientos similares.

Bibliografía

- BACHE, B. W.; WILLIAMS, E. G. 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.* **22**: 289-301.
- BURRIEL, F.; HERNANDO, V. 1947. El fósforo en los suelos españoles. Contribución a la determinación colorimétrica del fósforo. *Anal. Edaf.* **6**: 13-82.
- BURRIEL, F.; HERNANDO, V. 1950. El fósforo en los suelos españoles V. Un nuevo método para determinar el fósforo asimilable en los suelos. *Anal. Edaf.* **9**: 611-622.
- COLE, C. V.; OLSEN, S. R. 1959. Phosphorus solubility in calcareous soils: II Effects of exchangeable phosphorus and soil texture on phosphorus solubility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **23** (2): 116-21.
- ELEIZALDE, B. 1978. Adsorción de fósforo en los suelos aluviales de la provincia de Zaragoza. *ITEA. IX* (30): 25-34.
- FOX, R. L.; KAMPRATH, A. E. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **34**: 902-04.
- HAGIN, J. 1963. Comparison of several ways of measuring soil phosphorus availability. *J. Agr. Sci.* **60**: 245-249.
- HOLFORD, I. C. R.; MATTINGLY, G.E.G. 1975. A model for the behaviour of labile phosphate in soil. *Plant and Soil.* **44**: 219-229.
- HOLFORD, I. C. R.; MATTINGLY, G. E. G. 1976. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. *Plant and Soil* **44** (2): 377-89.
- JONES, J. P.; FOX, R. L. 1977. Phosphate sorption curves single point curves, equilibrating solution, ionic strength, tropical soils. *Soil Sci. and Plant Anal.* **8** (3): 209-219.
- KAFKAKI, U.; POSNER, A. M.; QUIRK, Y. P. 1967. Desorption of phosphate from kaolinite. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **31**: 348-55.

- KHASAWNETH, F. E.; COPELAND, J. P. 1973. Cotton rootgrowth and uptake of nutrients relation of phosphorus uptake to quantity intensity and buffering capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **37**: 250-54.
- NAGARAJAH, S.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. 1968. Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **32**: 507-10.
- OLSEN, S. R. *et al.* 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA, Cir. 939.
- OZANNE, P. C.; SHAW, T. C. 1968. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant method for soil phosphate. 9th Int. Congress of Soil Sci. Trans. Vol. II.
- RAJAN, S. S. S. 1973. Phosphorus adsorption characteristics of HAWAIIAN soil and relationship to equilibrium Phosphorus concentration required for maximum growth millet. *Plant and Soil* **39**: 519-53.
- RENNIE, D. A.; MC KERCHER, R. B. 1959. Adsorption of phosphorus by four saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* **39**: 64-75.
- SYERS *et al.* 1970. Adsorption of phosphate by soils. *Soil Sci. and Plant Anal.* **1**: 57-62.
- SYERS, J. K.; BROWMAN, M. G.; SMILLIE, G. W.; COREY, A. B. 1973. Phosphorus sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **37**: 558-63.
- VAN DER PAAW; SISSINGH, A. 1971. An effective water extraction method for the determination of plant available soil phosphate. *Plant and Soil* **34** (2): 467-83.
- WILLIAMS, E. G. 1967. The intensity and quantity aspects of soil phosphate status and laboratory extractions methods. *Ann. Edaf. Agrob.* **26** (4): 525.
- WOODRUFF, J. R.; KAMPRATH, E. S. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **29**: 148-50.