

Evaluación de la sorción de boro en suelos aluviales

por M.^a Benigna Eleizalde y L. Heras

Estación Experimental Aula Dei, Zaragoza

Recibido el 11-III-1979

ABSTRACT

ELEIZALDE, M.^a B. and HERAS, L., 1979. Evaluation of boron sorption in alluvial soils. *An. Aula Dei*, 14 (3-4): 435-458.

In this paper, the boron sorption by soils which are different in origin (for belonging to valley from Gallego, Ebro and Jalón rivers) in their clay content, is studied.

The influence of clay content on this B sorption in these soils, is more clear in those belonging to the valley of Gallego and Jalón rivers, in which the clay contents are no higher than 30%. While the soils belonging to Ebro valley show a clay content higher than 25%, and for that reason the differences among soils related to B sorption are not so notorious. All clay soils reach a 72% of boron added, when the content of this soil fraction is 11 and 27%, this retention value becomes between 30-16% and 60-50% respectively.

Maximum adsorption and constant binding between soil and B are calculated by two equations, one the conventional Langmuir equation, and the other one the modified Langmuir when the clay content is higher than 20%, and the conventional Langmuir equation is applied to boron sorption values, it is detected two sites for the adsorption of this element. The I site takes place at a 1 ppm. B concentration in final solution, while the II site is related to a concentration comprehend between 4 and 12 ppm. B in final solution.

As well B sorption values in sites I and II as total K_2 for soil belonging to each valley, are related to the clay content exhibited by these soils.

The same facts are obtained, when to the boron sorption values are analysed by the modified Langmuir equation, except with the clay soil from Gallego river, in which a third site sorption takes place when in final solution there is a concentration of 6 ppm. B. In general, the values of K_1 and K_2 are lower than those calculated by the conventional equation Langmuir.

It is considered the possibility to use the data obtained in this study for predicting the amount of boron to be applied in soils, in order to avoid problems of toxicity due to this microelement after a fertilization trace.

INTRODUCCION

La deficiencia de boro es una de las carencias que con más frecuencia se presenta, en un amplio rango de suelos y bajo varias condiciones climáticas. Así, GORDON (1966) y BAZÁN, ESTRADA y MASSON (1973), señalan que en suelos de pH bajo, como son los procedentes de rocas ígneas, turbas o en los muy lavados, es muy acusada la incidencia de la deficiencia de boro, al igual que ocurre en suelos calizos, con carbonato cálcico libre, bajo clima templado o tropical (OLSON, 1946; BARVER y SAXENA, 1964; BASCONES y LÓPEZ, 1962; ELEIZALDE, 1972).

En la zona media del valle del Ebro, caracterizada por un clima semiárido y suelos calizos, en su mayor parte con contenidos apreciables de carbonato cálcico activo, no se han observado síntomas claros de deficiencia de boro en remolacha azucareara, frutales ni hortalizas. Por el contrario, en aquellas zonas en donde se localizan los suelos salinos se han encontrado niveles altos de boro en suelo, según señalan CUCHÍ, MACHÍN y ALBERTO (1977), quienes relacionan a esos altos contenidos con la salinidad de los suelos. Hechos similares, han sido descritos por BAZÁN *et al.* (1973) en suelos de la costa peruana, mal drenados.

Según EATON y WILCOX (1949), PHILIPSON (1953), HINESTON (1963) y BERGER (1940), cuando el boro es adicionado al suelo, son varias las reacciones que pueden tener lugar entre el elemento añadido y los constituyentes de aquél: adsorción de iones boratos o de moléculas de ácido bórico, formación de complejos, precipitación o procesos de envejecimiento, al penetrar el elemento en la estructura cristalina de los minerales de arcilla. La intensidad de cada una de estas reacciones dependerá de los constituyentes del suelo, de la concentración de elemento y del tiempo de contacto entre ambos.

En los estudios sobre sorción de boro por los distintos suelos es muy difícil delimitar una reacción de la otra, lo que ha motivado el que los investigadores estudien, por separado, los mecanismos y naturaleza de las reacciones del boro con cada uno de los constituyentes del suelo: humus, óxidos-hidróxidos de Al y Fe, arcillas (PARKER y WHITE, 1952; OLSON y BEREER, 1946; SINS y BINGHAM, 1967; BARBIER y CHABANNE, 1953; HATCHER *et al.*, 1962; MIDELEY, 1947).

Otros investigadores (SHUMWAY y JONES, 1972; SINEH, 1964; OKAZZKIY y CHAD, 1968; HATCHER *et al.*, 1962; HATCHER y BOWER, 1958), han realizado estudios sobre sorción de boro por los constituyentes del suelo con fines de diagnóstico y fertilidad. Ello les ha permitido definir los factores de fertilidad de los suelos con relación

al boro, así como estimar las necesidades de fertilizante, valiéndose del conocimiento de la cantidad de boro requerida a un nivel de concentración óptimo, excluyendo, naturalmente, la zona tóxica para las plantas.

Por todo lo expuesto anteriormente se cree que es necesario el conocimiento de la sorción de este nutriente por los principales suelos aluviales de la provincia de Zaragoza, los cuales, además de variar en su origen, contenido de arcilla y de carbonato cálcico, están sometidos, en su mayoría, a una agricultura intensiva y, por tanto, expuestos a problemas de agotamiento del nutriente objeto de estudio. Ello nos ha llevado a iniciar el estudio del comportamiento del boro en algunos de los suelos citados con objeto de conocer, en primer lugar, la distribución del nutriente adicionado entre el suelo y la solución del suelo.

M A T E R I A L Y M E T O D O S

Los suelos utilizados en este trabajo proceden de las cuencas de los ríos Ebro, Gállego y Jalón y son de textura gruesa, media y fina. Las características químicas y físicas de los mismos figuran en un trabajo anterior (ELEIZALDE, 1978).

Para los estudios de sorción del boro se utilizan muestras de 10 gramos de suelo tamizado (1 mm). A cada muestra de suelo se adicionan 100 ml de soluciones de ácido bórico preparadas de tal manera que contengan 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 600, 1.000, 1.500, 2.000 y 2.500 mg de boro en ese volumen. Cada tratamiento se realiza por triplicado.

Una vez adicionada la solución de ácido bórico, la suspensión suelo-solución se somete durante seis horas a agitación ininterrumpida, con objeto de alcanzar su equilibrio. Transcurrido dicho tiempo se procede al filtrado con papel de filtro Whatman número 42 y en el líquido filtrado se procede a la determinación de boro siguiendo el método descrito por ULRICH y JOHNSON (1952). Las determinaciones analíticas se realizaron por duplicado.

La diferencia entre la cantidad de boro adicionado y el que se encuentra en el filtrado es el boro sorbido.

Para calcular los valores de adsorción máxima y constante de unión se utiliza la ecuación convencional de Langmuir:

$$X/m = \frac{K_1^I K_2^I C}{1 + K_1^I C} + \frac{K_1^{II} K_2^{II} C}{1 + K_1^{II} C} \quad (1)$$

en la que:

K_1 es la constante de unión, K_2 la adsorción máxima de boro y C es la concentración de boro en la solución final. Los sufijos 1 y 2 se refieren a los lugares de adsorción en la superficie del suelo.

El análisis estadístico de la regresión entre $C/X/m$ en relación a C da una ecuación lineal que tiende a asemejarse a

$$C/X/m = \frac{1}{K_1 K_2} + \frac{C}{K_2}$$

donde: K_0 es la inversa de la pendiente y K_1 es el cociente de la relación pendiente/ordenada en el origen.

En el caso de que el suelo presente varios lugares para la adsorción, se calculan primero los valores K_1 y K_2 para el lugar I. Si se quieren saber los del lugar II, se tiene que hacer una corrección que consiste en sustraer a los valores de retención de boro el que corresponde al valor K_2 del lugar I. Posteriormente se aplica el mismo análisis estadístico en el cálculo de los valores K_1 y K_2 para el lugar II.

También se puede usar la ecuación modificada de Langmuir propuesta por SYERS, BROWMAN, SMILLIE y COREY (1973) y considerada por RAJAN y FOX (1975).

Dicha ecuación es:

$$X/m = (K_2^I - \frac{(x/m)^I}{K_1^I C}) + (K_2^{II} - \frac{(x/m)^{II}}{K_1^{II} C}) \quad (2)$$

Las letras y los sufijos representan lo mismo que en la ecuación anterior (1). En este caso los valores K_1 y K_2 se calculan directamente, cuando se relaciona X/m con $X/m/C$ y así K_2 equivale a la coordenada en el origen y K_1 a la inversa de la pendiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las figuras 1a, 1b y 1c se representan las curvas de retención de boro por suelos de distinto origen y diferente textura. Las diferencias más patentes las muestran los suelos procedentes de las cuencas de los ríos Gállego y Jalón, donde se destaca de manera notable el comportamiento del suelo más arcilloso en relación al de otras texturas. Los suelos procedentes de la cuenca del río Jalón, con conte-

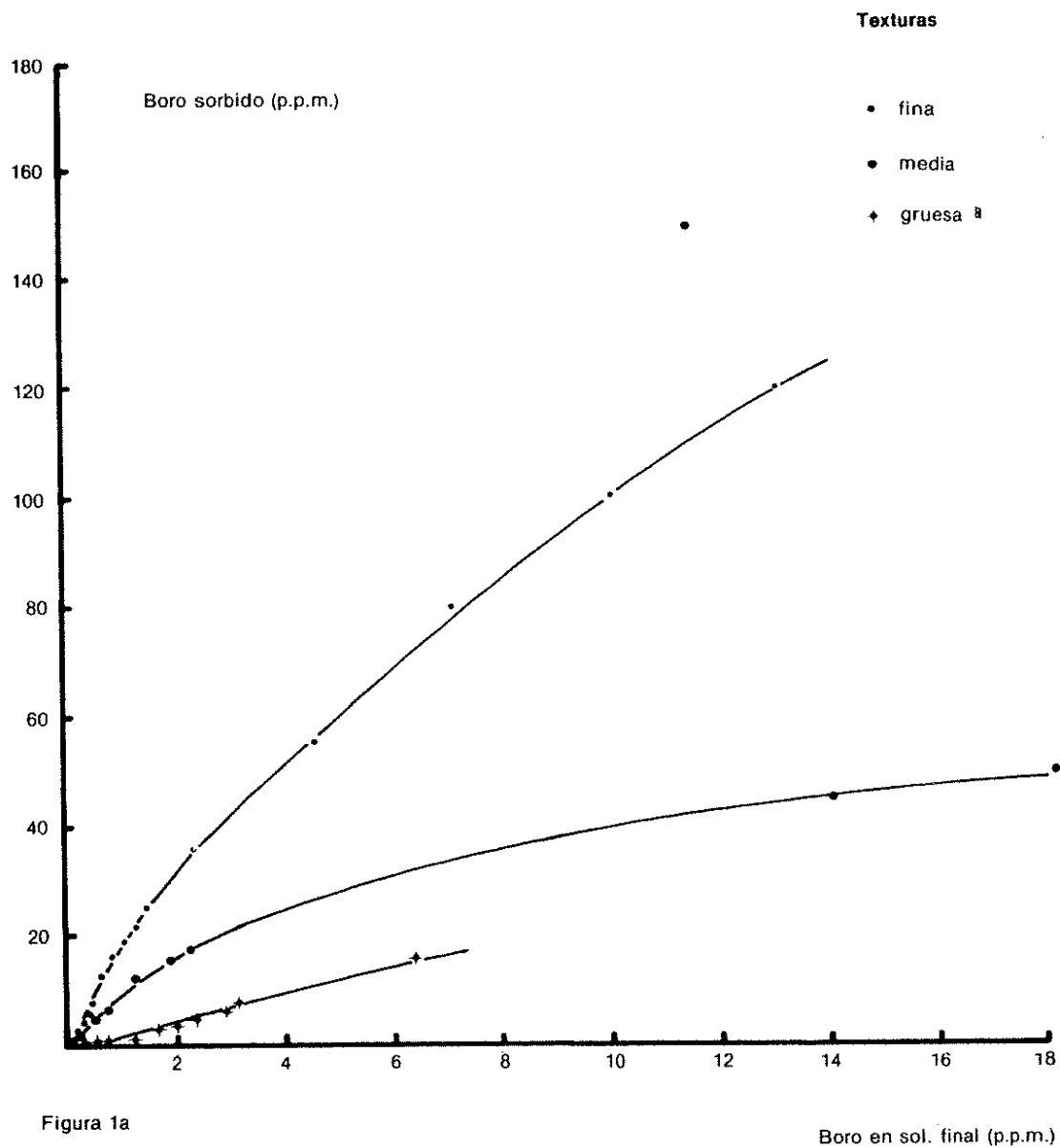


Figura 1a

Boro en sol. final (p.p.m.)

Curvas de retención de boro en suelos de la cuenca del Gállego.

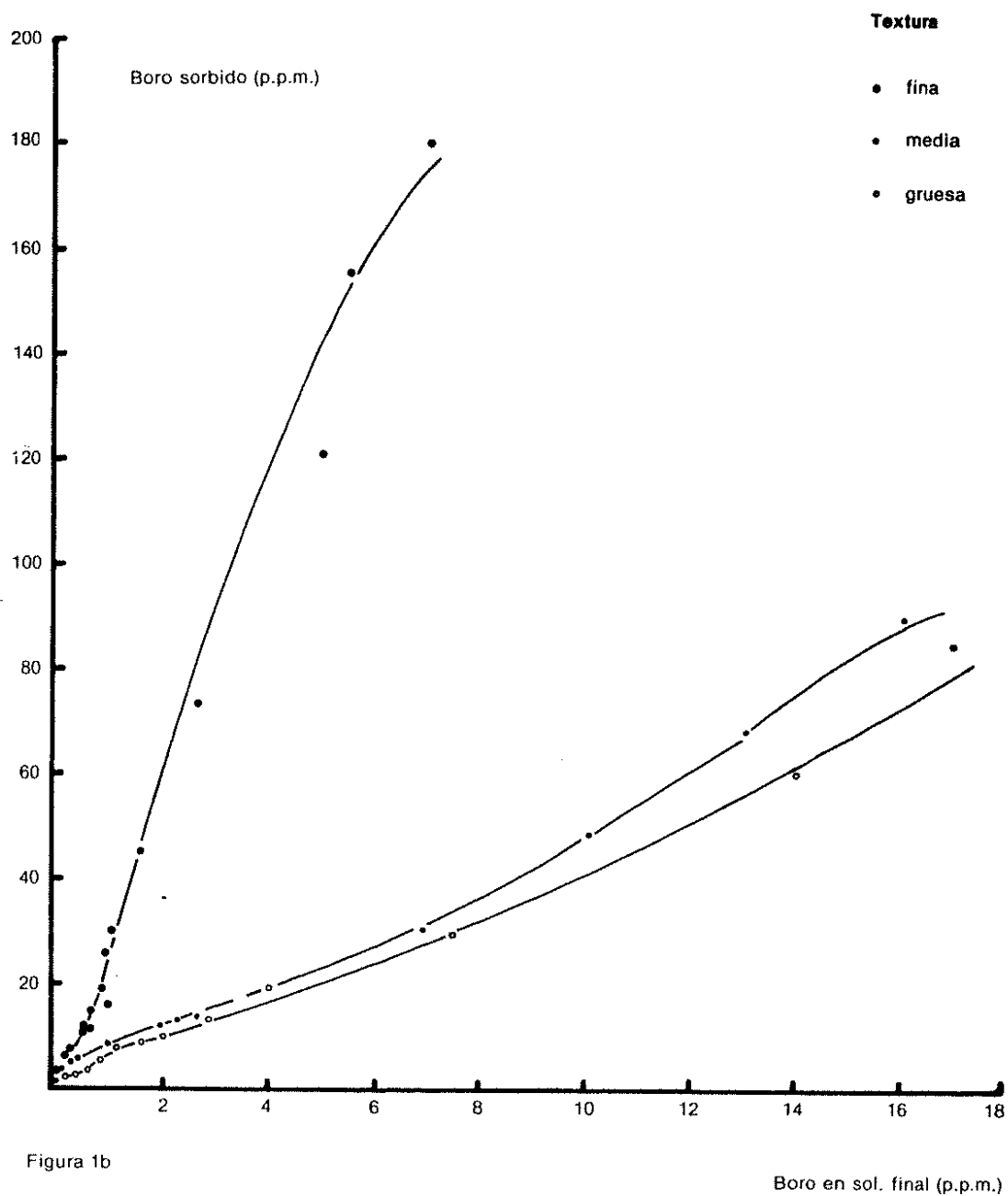


Figura 1b

Curvas de retención de boro en suelos de la cuenca del Jalón.

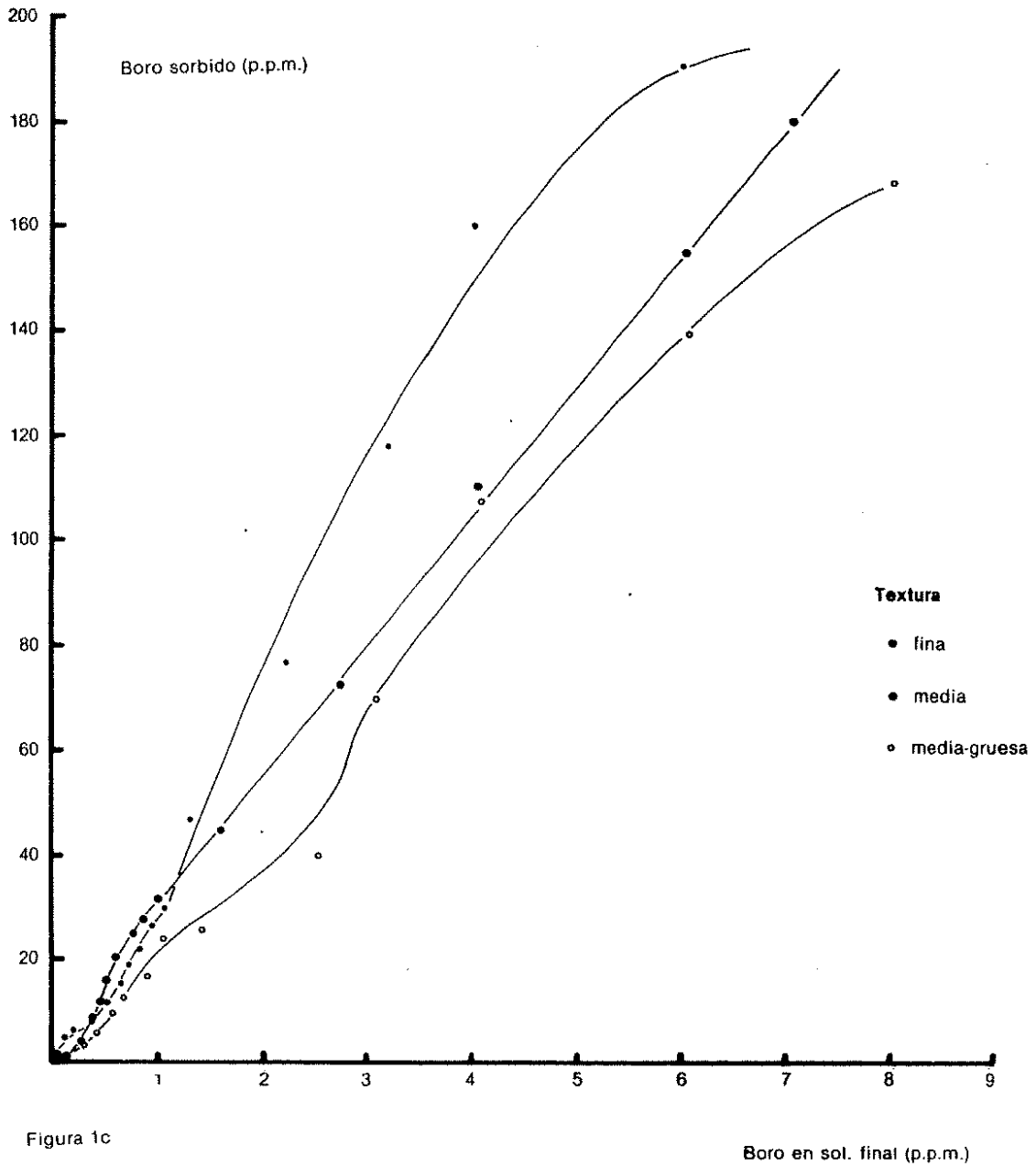
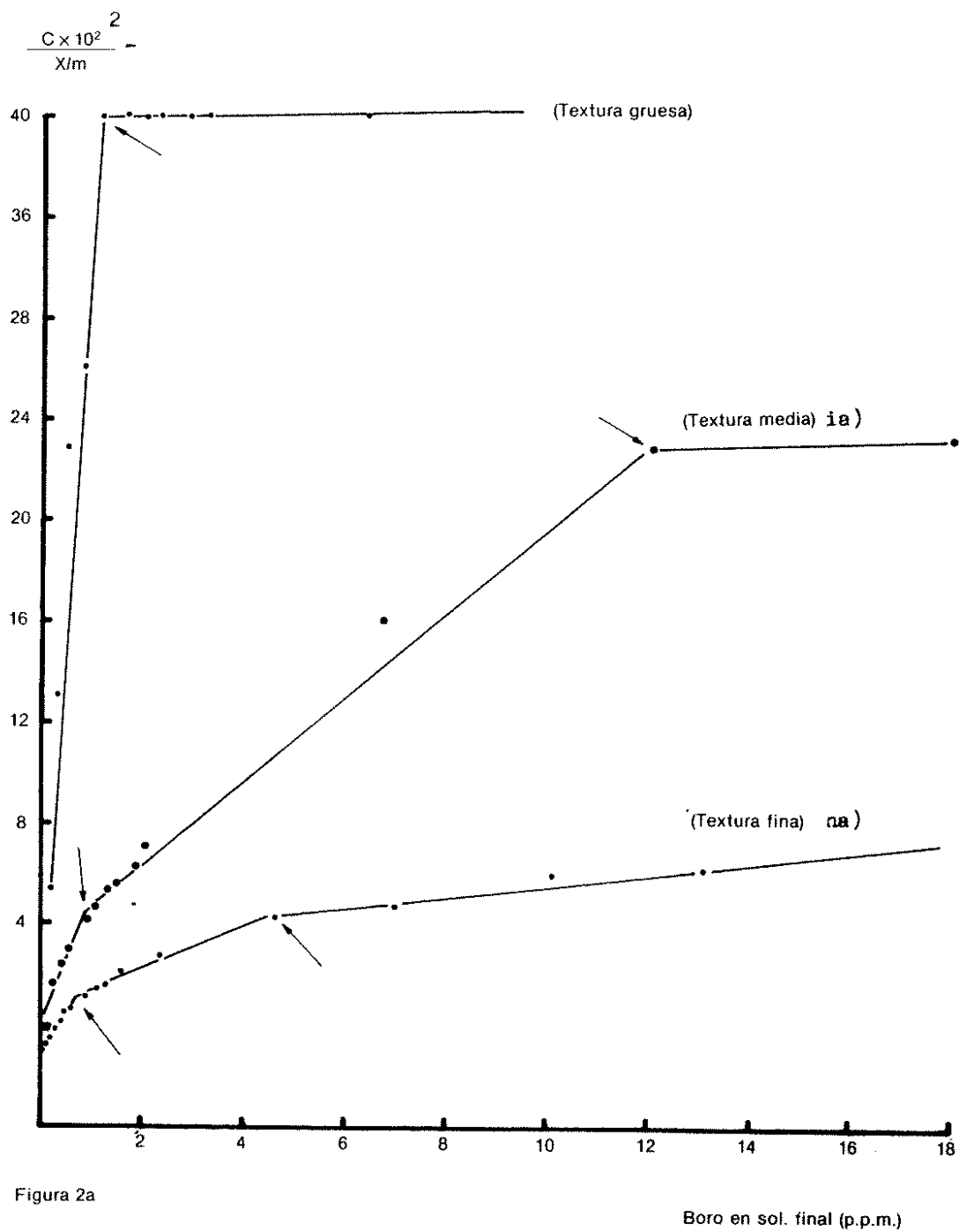


Figura 1c

Curvas de retención de boro en suelos de la cuenca del Ebro.



Relación $\frac{C \times 10^2}{X/m}$ y concentración de boro en la solución final (suelos de la cuenca del Gállego).

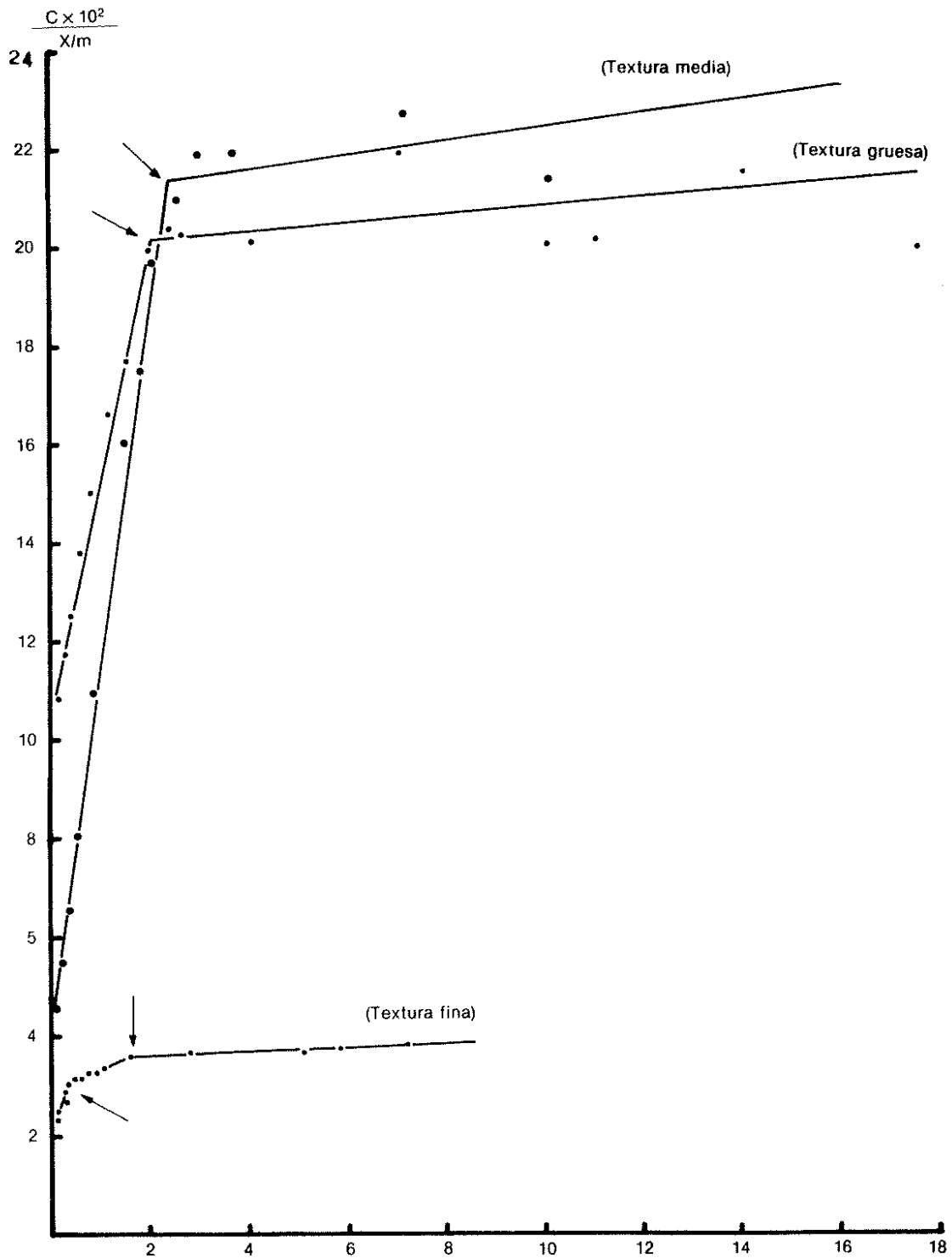


Figura 2b

Boro en sol. final (p.p.m.)

Relación $\frac{C \times 10^2}{X/m}$ y concentración de boro en la solución final (suelos de la cuenca del Jalón).

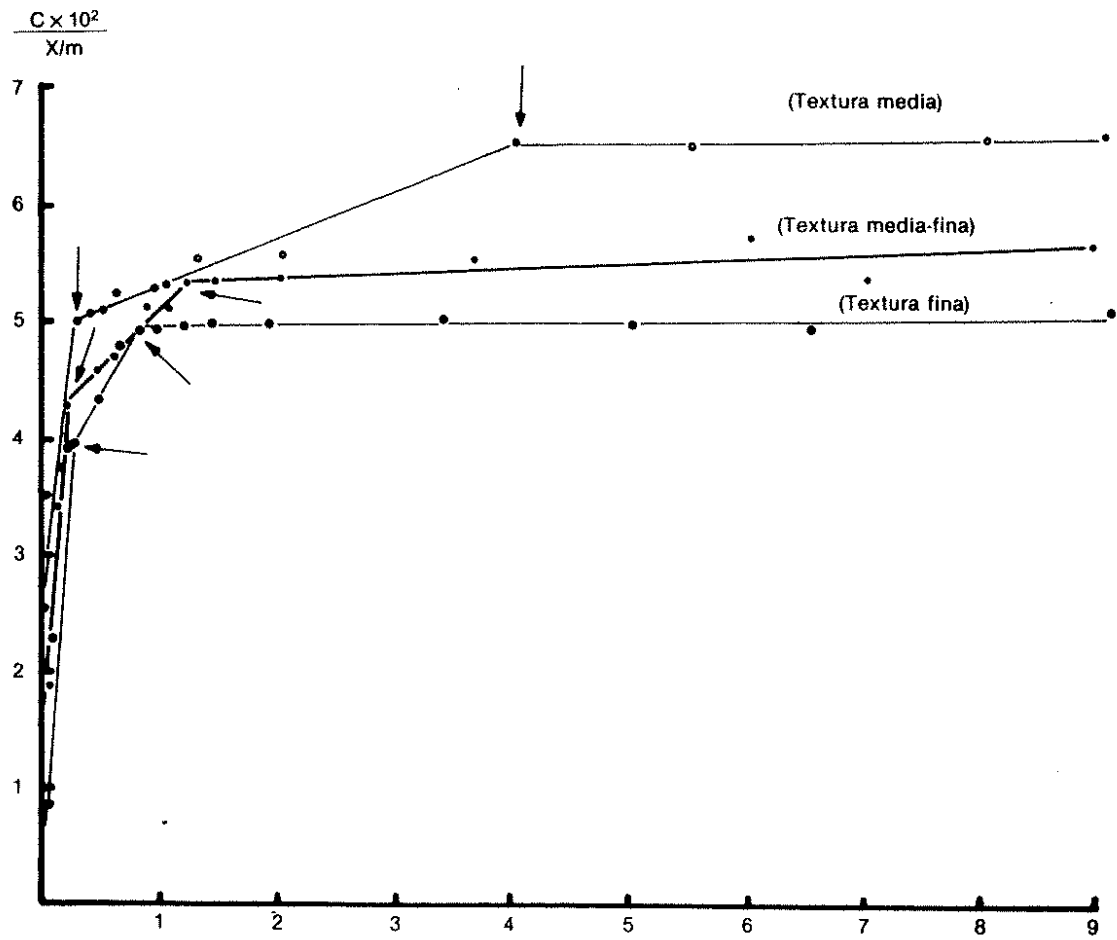


Fig. 2c

Boro en sol. final (p.p.m.)

Relación $\frac{C \times 10^2}{X/m}$ y concentración de boro en la solución final (suelos de la cuenca del Ebro).

nido de arcilla inferior al 20%, apenas muestran diferencias, al contrario de lo que sucede con los de la cuenca del río Gállego.

Los suelos de la cuenca del río Ebro se comportan, en lo que respecta a la retención de boro, en función del contenido de arcilla, que oscila el 27% y el 52%. El suelo más arcilloso de esta cuenca (52%) retiene tanto boro como el de la cuenca del Jalón, con un contenido de un 40% aproximadamente de arcilla, llegando a retener un 72% del boro aplicado, mientras que en los suelos de las cuencas de los ríos Gállego y Jalón, con contenidos de arcilla del 27% y 11%, el poder de retención del boro es del orden del 60% al 50% y del 30% al 10%, respectivamente.

Ecuación convencional de Langmuir

Cuando los valores de boro retenido se tratan de acuerdo con la ecuación convencional de Langmuir, se tienen las figuras 2a, 2b y 2c. De la observación de dichas figuras se deduce que solamente los suelos de textura gruesa, con una concentración de boro en la solución final de 1 ppm, siguen la isoterma de Langmuir, lo que está de acuerdo con lo señalado por SHUMWAY y JONES (1972), para suelos calizos de textura gruesa.

Cuando el contenido de arcilla es superior al 16% y el de carbonato cálcico al 25%, como son los suelos aluviales de las cuencas de los ríos Gállego y Ebro, se detectan dos lugares para la adsorción de boro. El primero corresponde a una concentración inferior a 1 ppm, mientras que el segundo se tiene a una concentración que oscila entre 4 y 12 ppm, según el contenido de arcilla.

El suelo arcilloso de la cuenca del río Jalón también presenta dos lugares de adsorción del boro, aunque a niveles más bajos de concentración de este elemento en la solución final (0,25 y 1,50 ppm B) que los de las otras dos cuencas.

Todo esto está en desacuerdo con lo indicado por BIGGAR y FIREMAN (1960), quienes encuentran un solo lugar de adsorción para boro en suelos franco-limosos y arcillosos de California. Esto puede ser debido a que aquellos autores trabajan con soluciones de boro de concentración más elevada, por lo que posiblemente no observen el primer lugar de adsorción que se tiene con concentraciones más bajas. Para calcular los valores de adsorción máxima y constante de unión se usa la ecuación (1), tal como se menciona en la metodología, procediéndose a calcular primeramente los valores de K_1 y K_2 correspondientes al lugar I. Dichos valores se expresan en ppm B y ml/g en el cuadro 1.

CUADRO 1.—Valores K_1 y K_2 calculados por la ecuación convencional de Langmuir, expresados como ml/g y ppm B respectivamente.

Cuenca	Arcilla %	Lugar I		Lugar II		Total K_2	K_2^{II}		K_1^I	
		K_1	K_2	K_1	K_2		K_2^I	K_1^{II}		
Gállego	8,28	0,48	6,0	—	—	6,0	—	—	—	—
	21,09	1,49	13,0	0,21	37,0	58,0	2,85	12,0	—	—
	39,97	1,63	21,0	0,24	106,0	128,0	5,10	12,0	—	—
Jalón	11,94	0,40	11,0	—	—	11,0	—	—	—	—
	27,05	0,48	21,0	—	—	21,0	—	—	—	—
	39,81	0,52	3,6	0,20	51,0	90,0	1,4	2,6	—	—
Ebro	16,77	0,24	10,8	0,12	37,0	50,0	3,4	3,0	—	—
	19,75	2,25	18,2	0,39	56,5	80,0	3,1	5,6	—	—
	52,43	3,48	17,4	0,61	127,2	140,0	7,8	5,8	—	—

Para conocer la adsorción máxima y constante de unión en el lugar II, se calculan los valores después de hacer una corrección previa en concentración y cantidad retenida, tal como se señala en ELEIZALDE (1978).

La suma de valores de adsorción para ambos lugares I y II, se asemeja al valor de K_2 total, calculado sin corrección, lo que de nuevo ratifica que esta corrección es buena para calcular los valores de este parámetro del lugar II.

Estos valores de adsorción máxima total de boro son similares en magnitud a los hallados por BIGGAR y FIREMAN (1960), en suelos de texturas gruesa y media.

De los valores obtenidos se deduce que la retención de boro por los suelos de las tres cuencas consideradas aumenta con el contenido de arcilla. También se observa que en los suelos aluviales del Gállego y Jalón el valor K_2 para el lugar I presenta la misma tendencia anteriormente señaladas, mientras que los suelos de la cuenca del río Ebro presentan un valor uniforme de adsorción máxima de boro.

Los valores de la constante de unión también tienden a aumentar progresivamente con el contenido de arcilla, siendo en unos suelos (cuenca del Ebro) más intenso que en los de las otras dos cuencas consideradas.

En el lugar II, los valores K_1 son muy similares, no existiendo las diferencias anteriormente citadas y siendo del orden de 2,6 a 12 veces inferiores a los correspondientes al lugar I.

En los suelos de contenido de arcilla superior al 16% el valor de adsorción máxima de boro se ve influenciado notablemente por el valor de K_2 del lugar II que representa de 2 a 8 veces la adsorción

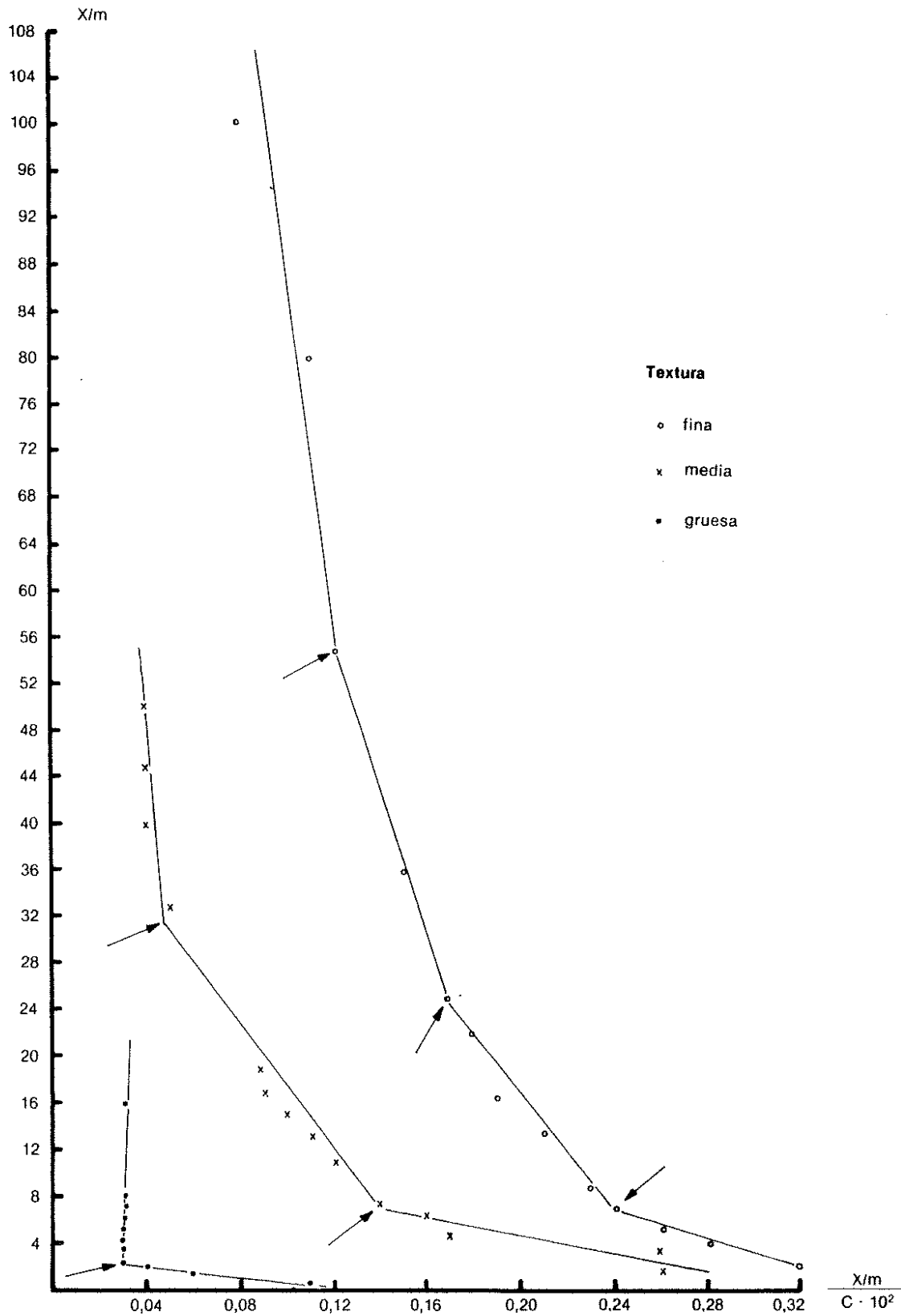


Figura 3a

Relación X/m frente a $\frac{X/m}{C \times 10^2}$ (suelos de la cuenca del Gállego).

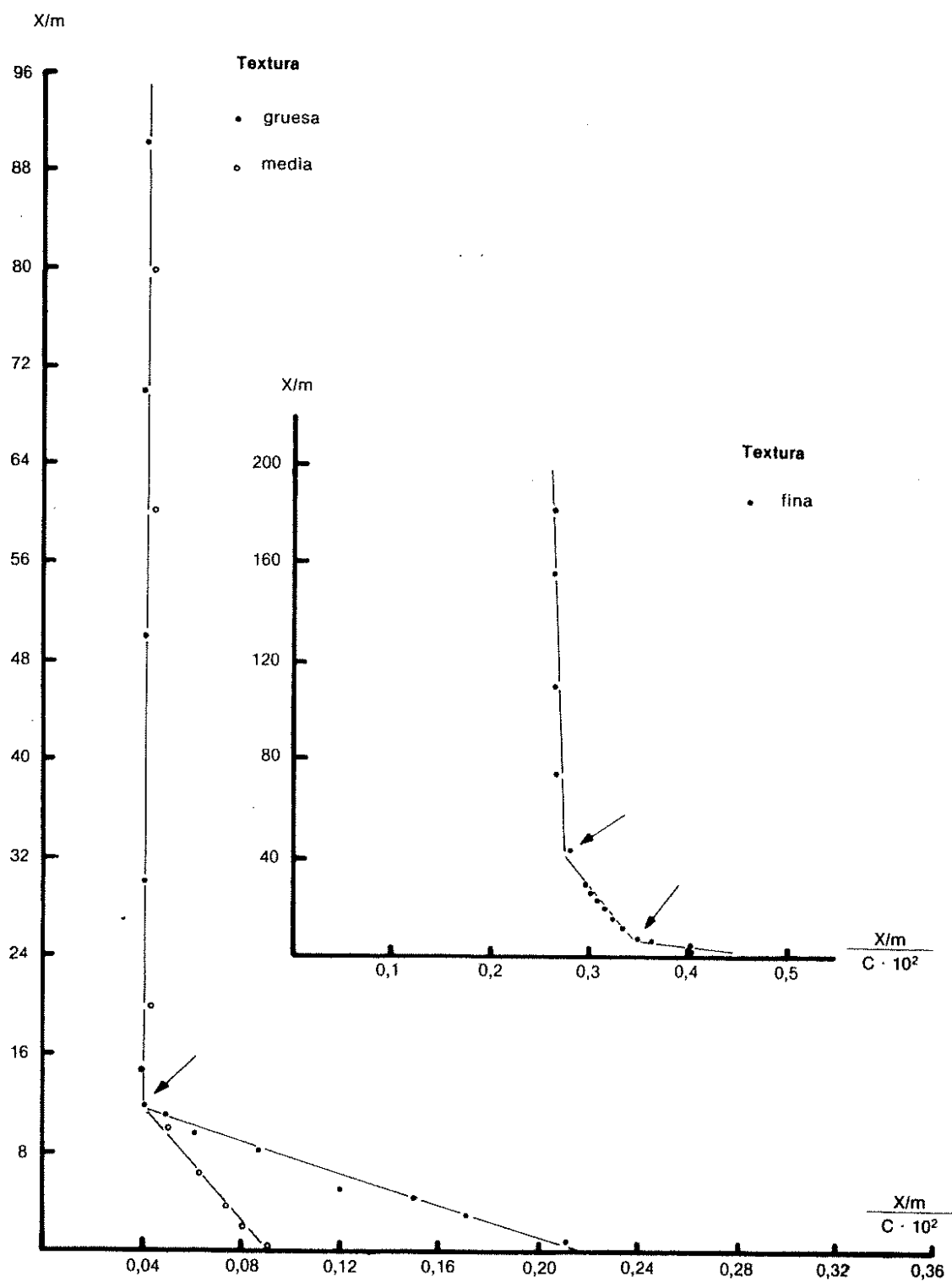


Figura 3b

Relación X/m frente a $\frac{X/m}{C \times 10^2}$ (suelos de la cuenca del Jalón).

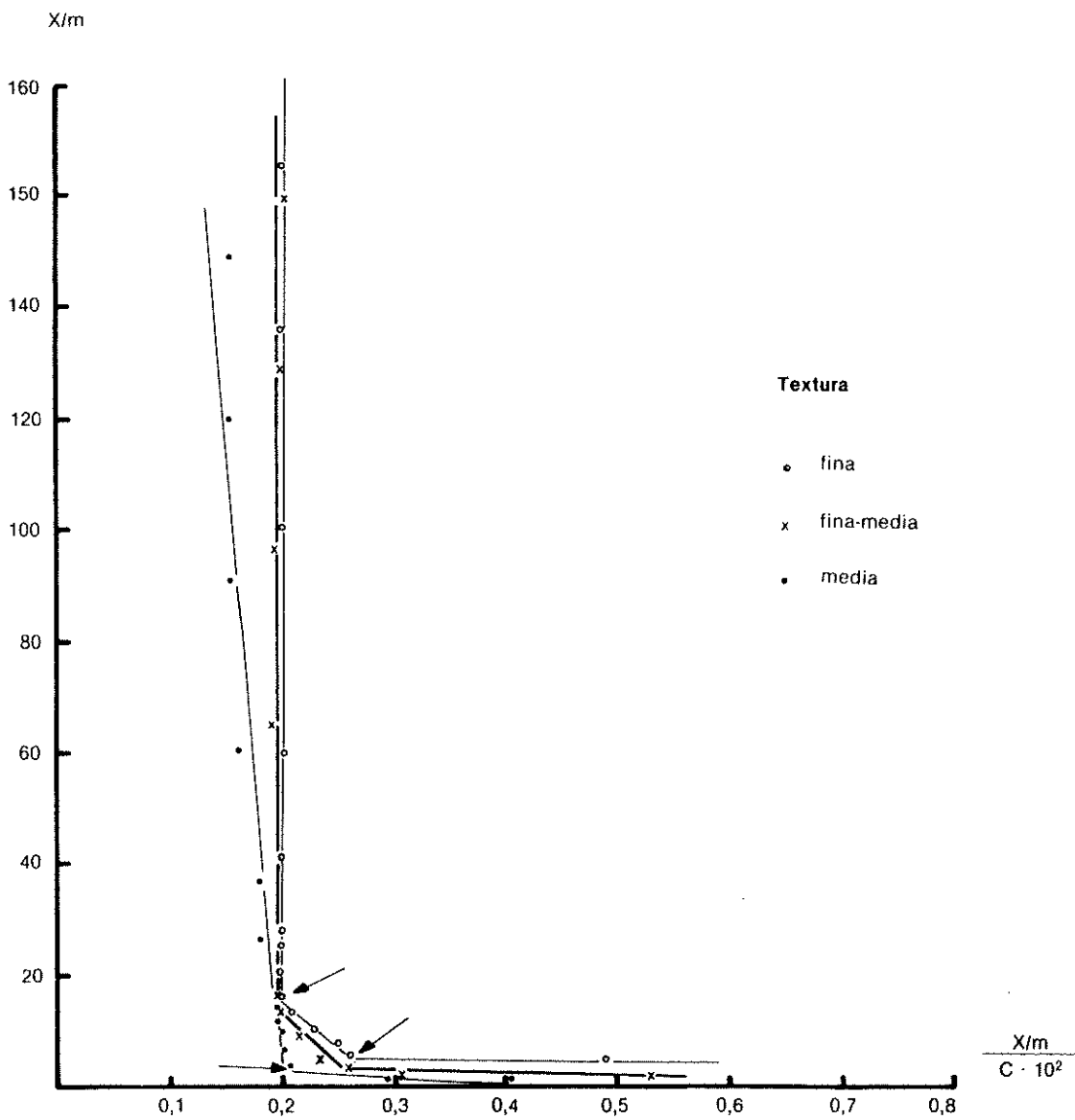


Figura 3c

Relación X/m frente a $\frac{X/m}{C \times 10^2}$ (suelos de la cuenca del Ebro).

que se tiene a baja concentración. Sólo existe una excepción, que son los suelos de la vega del río Jalón, en los cuales solamente se cumple este hecho en el suelo arcilloso.

Este comportamiento es similar al que citan otros investigadores, para el caso del fósforo (SYERS, BRONMAN, SMILLIE y COREY 1973; HOLFORD y MATTINGLY, 1975).

Ecuación modificada de Langmuir

Si los valores de boro retenido por los suelos de las cuencas consideradas se elaboran de acuerdo con la ecuación modificada de Langmuir (ecuación 2), se obtienen las gráficas 3a, 3b y 3c. Se observa que los suelos de textura gruesa y media de la cuenca del río Jalón (3b) tienen un solo lugar para la adsorción de este elemento. Lo mismo sucede con el suelo arenoso de la cuenca del Gállego (3a). Cuando el contenido de arcilla es igual o superior al 20%, en los suelos aluviales de las cuencas de los ríos Ebro y Gállego se observan claramente dos lugares de adsorción, excepto en el caso del suelo arcilloso procedente de la cuenca del segundo, que presenta tres lugares.

En general se reproducen los mismos hechos que los hallados con la ecuación convencional de Langmuir.

Los valores K_1 y K_2 se calculan por esta ecuación modificada, como se indica en metodología.

Estos valores de adsorción máxima y constante de unión se expresan en ppm y ml/g en el cuadro 2.

CUADRO 2.- Valores K_1 y K_2 calculados por la ecuación modificada de Langmuir; se expresan en ml/g y ppm B respectivamente.

Suelos	Arcilla	Lugar I		Lugar II		Lugar III		Total	K_1^I	K_2^{II}
		K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2			
Cuenca del Gállego	8,28 21,09 39,97	0,10 0,60 2,08	2,4 18,0 17,8	— 0,18 0,38	— 27,6 49,4	— — 0,17	— — 27,3	2,40 45,6 94,7	— 3,30 5,48	— 1,33 3,89
Cuenca del Jalón	11,94 27,05 39,81	0,10 0,25 3,70	13,08 34,5 35,8	— — 0,17	— — 40,0	— — —	— — —	13,78 34,50 75,8	— — 5,2	— — 10,0
Cuenca del Ebro	16,77 39,75 52,43	0,36 0,68 2,20	12,58 15,85 19,59	— 0,27 0,53	— 35,0 54,0	— — —	— — —	12,58 50,85 73,64	— 2,51 4,15	— 2,20 2,76

De nuevo se reproduce lo hallado por la ecuación (1), es decir: los valores de adsorción máxima en los lugares I y II tienden a aumentar en función del contenido de arcilla. Este efecto es muy marcado en los suelos de la cuenca del río Jalón y no tanto en los de las otras dos cuencas, que representan un valor similar en el lugar I. Por otra parte, los valores de K_2 total calculados son de la misma magnitud que aquellos dados por la ecuación (1), a excepción de todos los suelos de la cuenca del Ebro y los arcillosos de las del Jalón y Gállego. Estos últimos presentan unos valores muy bajos con relación a los calculados con la ecuación convencional de Langmuir (cuadro 1).

Sin embargo, parecen más lógicos los valores obtenidos por la ecuación modificada de Langmuir, ya que para cada cuenca estudiada los valores obtenidos para retención de boro son más concordes con el contenido de arcilla. Esto unido al hecho de la facilidad de cálculo de los valores K_1 y K_2 , es lo que nos hace pensar que esta ecuación modificada de Langmuir sea más idónea para realizar estudios sobre la sorción de boro por suelos.

Los valores de adsorción máxima total de boro en los suelos de los ríos Gállego, Ebro y Jalón presentan una relación directa con el contenido de arcilla ($r=0,89$), que tiende a ser significativa.

Los suelos procedentes de las cuencas de los ríos Ebro y Gállego con contenido de arcilla superior al 20% presentan dos lugares para la adsorción de boro, mientras que los suelos con un contenido similar a aquéllos, pero de la cuenca del Jalón, sólo presentan uno, como puede verse en las figuras 2 y 3. Este hecho puede ser debido a que la retención de boro está influenciada por la cuantía y distribución de los minerales de arcilla y óxidos-hidróxidos de aluminio así como por la posible acción del carbonato cálcico sobre el proceso de retención.

Se cree que en el período breve de contacto de seis horas de equilibrio entre suelo y solución y hasta una concentración de 1 ppm de boro en la solución final, la retención se debe a un proceso de adsorción física de moléculas de ácido bórico sobre la superficie de arcilla y carbonato y que, en los suelos aluviales del Jalón, estará influida por la presencia de óxidos-hidróxidos de aluminio.

Cuando el contenido de arcilla es superior al 15%, se ha observado otro lugar de adsorción, sugiriendo la posibilidad de la existencia de una múltiple adsorción de moléculas o de una sustitución iónica, como indican BIGGAR y FIREMAN (1960).

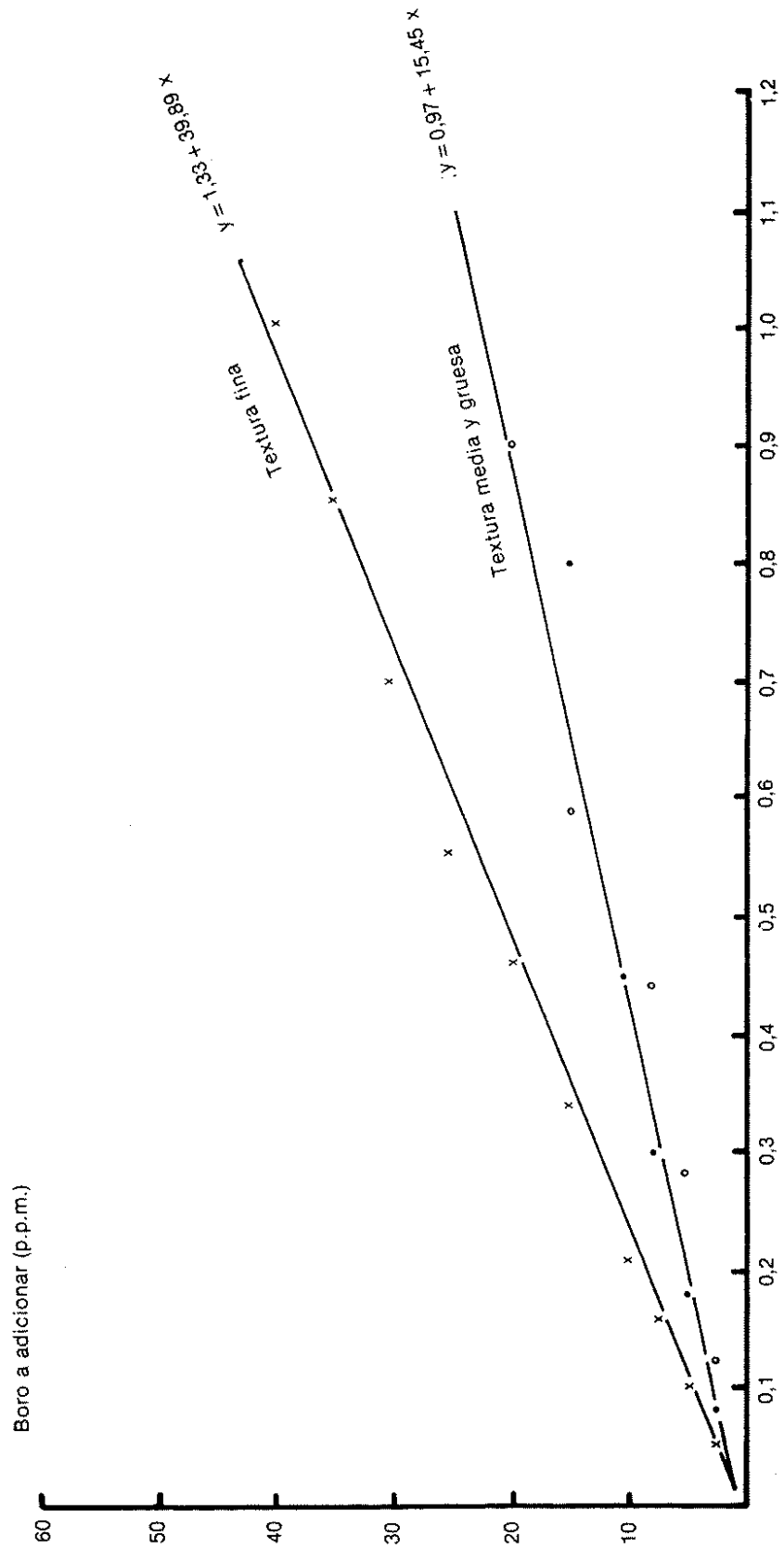


Figura 4b

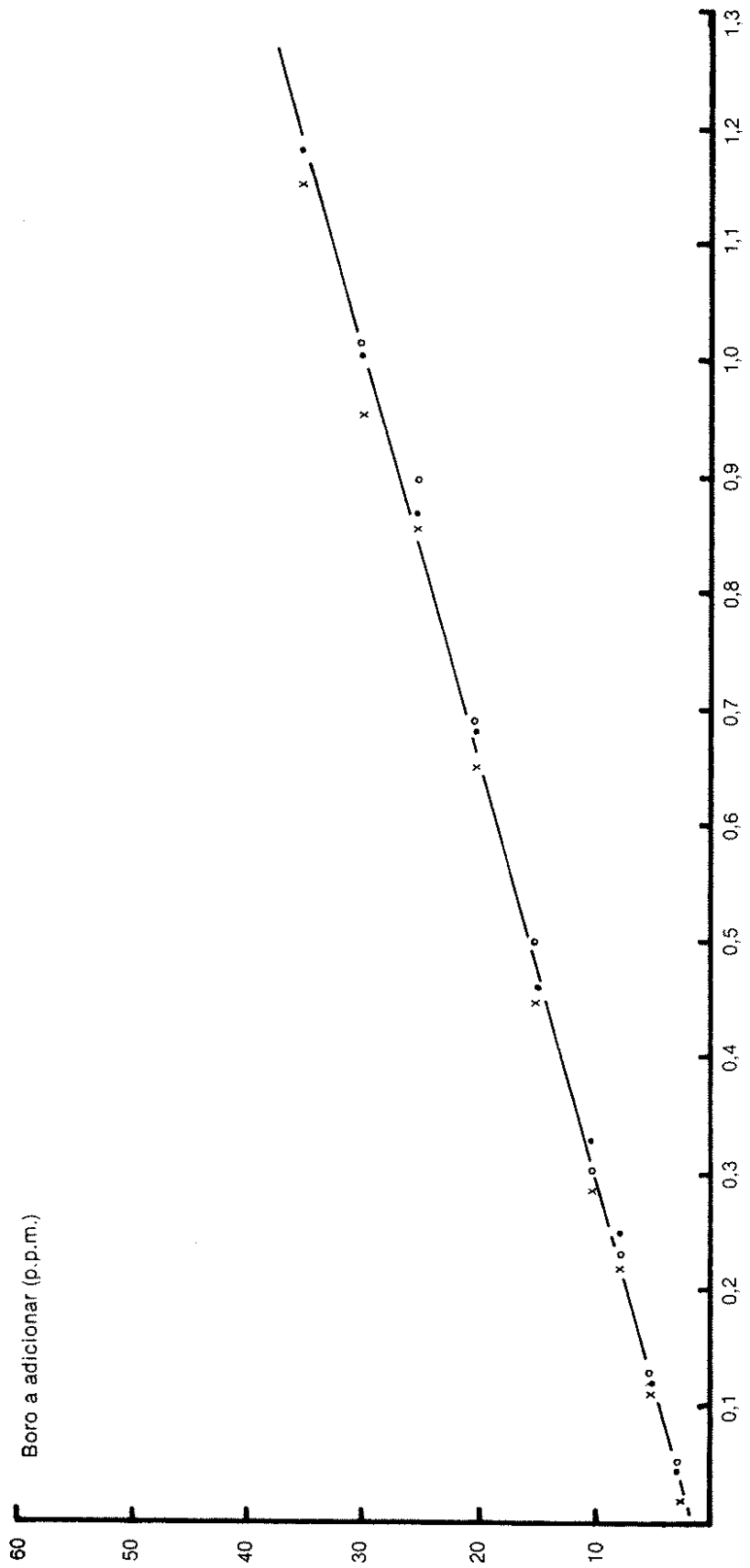


Figura 4b
 Relación entre boro a añadir y concentración en la solución de equilibrio (suelos de la cuenca del Ebro).
 Boro en sol. final (p.p.m.)

Posibilidad de predicción de la cantidad de boro a añadir

Los estudios realizados en el presente trabajo sobre sorción de boro por el suelo nos permiten calcular la cantidad de boro a adicionar al suelo para evitar que la fertilización pueda provocar toxicidad en los cultivos. Como menciona ROGERS (1947) el rango de concentración para los cultivos es muy estrecho. Así, para RHOADES, INVALSON y HATCHER (1970) la concentración de 0,5 ppm en la solución de equilibrio es la que origina la máxima producción de los cultivos. Nosotros consideramos que una concentración máxima de 1 ppm en la solución de equilibrio, al mismo tiempo que dará lugar a una máxima producción del cultivo, evitará problemas de toxicidad. Teniendo en cuenta este supuesto, como puede verse en las figuras 4a y 4b, existe una relación lineal entre cantidad de boro adicionado y concentración de elemento en la solución de equilibrio, relación que es independiente de la textura a bajas concentraciones de boro en la solución final. Esto no se da en los suelos de la cuenca del río Jalón, donde hay que considerar los suelos también en función del contenido de arcilla. Esto coincide con lo encontrado por SHUMWAY y JONES (1972) para suelos no calizos de diferente textura.

Queda por determinar en un futuro a qué concentración de boro en solución final se obtendrán producciones máximas, en nuestros suelos y condiciones.

R E S U M E N

En este trabajo se estudia la sorción de boro por suelos que difieren en su origen (cuencas de los ríos Gállego, Ebro y Jalón) y en su contenido de arcilla.

La influencia del contenido de arcilla sobre los fenómenos de sorción de boro por suelos se manifiesta de manera más notable en los procedentes de las cuencas de los ríos Gállego y Jalón, cuyos contenidos de arcilla no son superiores al 30%, en tanto que, en los suelos de la cuenca del río Ebro, con contenido en arcilla superior al 25%, la influencia de este constituyente del suelo sobre la retención de boro no es tan marcada.

Todos los suelos arcillosos llegan a retener un 72% del boro adicionado en tanto que cuando el contenido en arcilla es del 11 y 27%, la retención varía entre 30-16% y 60-50%, respectivamente.

Se han calculado los valores de adsorción máxima y constante de unión aplicando la ecuación convencional y la modificada de Langmuir.

Al aplicar la ecuación convencional de Langmuir se encuentra que, cuando el contenido de arcilla es superior al 20%, se manifiestan dos lugares de adsorción de boro. El primero a una concentración límite en la solución final de 1 ppm de boro, en tanto que el segundo lugar de adsorción se presenta a una concentración comprendida entre 4 ppm y 12 ppm. Los valores de adsorción para los lugares I y II guardan, dentro de cada cuenca, una cierta relación con el contenido de arcilla, al igual que la absorción total calculada.

Estos mismos hechos se ponen de manifiesto cuando se elaboran los datos obtenidos por la ecuación modificada de Langmuir, con la excepción del suelo arcilloso de la cuenca del río Gállego, que presenta un tercer lugar de adsorción, cuando la concentración de boro en la solución final es del orden de 6 ppm. Los valores correspondientes a adsorción máxima y constante de unión calculados según esa ecuación son más bajos que los obtenidos por la convencional de Langmuir.

Se considera la posibilidad de utilizar los datos obtenidos en estos estudios para predecir la cantidad de boro a adicionar en los suelos, con objeto de evitar problemas de toxicidad debidos a este microelemento.

R E F E R E N C I A S

BASCONES, L. y LÓPEZ RITAS, J.

1972 Deficiencias de boro en la hoya del lago de Valencia. III Jornadas Agronómicas, 150: 1-6, 24-28 octubre 1962, Cagua (Aragua), Venezuela.

BARBIER, G. et CHABANNES, J.

1953 Contribution a l'etude du bore dans le sol et les plantes. *Ann. Agron. Paris*, 4: 27-43.

BARVER, B. L. and SAXENA, S.

1967 Boron in soils of Mewar Rajasthan. *J. of Ind. Soil Sci.*, 15: 135-39.

- BAZÁN, R.; ESTRADA, J. A. y MASSON, L.
1973 El boro en los suelos de la costa peruana y su posible efecto en los cultivos. *Anales Científicos*, 10 (3-4): 181-188.
- BERGER, K. C.
1949 Boron in soils and crops. *Adv. in Agronomy*, 1: 321-28.
- BIGGAR, J. W. and FIREMAN, M.
1960 Boron adsorption and release by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24: 115-19.
- BINGMAN, F. T.; PAGE, A. L. and COLEMAN, N. T.
1971 Boron adsorption characteristics of amorphous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35: 546-50.
- CUCHI, J. A.; MACHÍN, J. y ALBERTO, F.,
1977 Niveles de boro en los suelos salinos de la Depresión Media del Ebro. Anuario 1976. 249-65. Volumen homenaje al Prof. F. Lucena Conde, Salamanca, 1977.
- BRAADFORD, G. R.
1966 Boron. Diagnostic criteria for plants and soils. *Abstracts Boron*, 4: 33-61.
- DRAGNE, H. E. and POWERS, W. L.
1942 Boron fertilization of alfalfa and other legumes in Oregon. *S. of Am. Soc. of Agr.*, 34: 902-912.
- EATON, F. M. and WILCOX, L. V.
1939 The behaviour of boron in soils. *USDA Tech. Bull.*, 696.
- ELEIZALDE, M.^a BENIGNA
1978 Adsorción de fósforo en los suelos aluviales de la provincia de Zaragoza. *I.T.E.A.*, 30: 25-34.
- ELEIZALDE, L. M.^o a de
1972 Estudio del boro en las muestras superficiales compuestas de la hacienda «Las Goajiras» El Tocuyo Edo Lara Venezuela. Manuscrito U.C.V., Maracay.
- GORDON, R. B.
1966 Boron. Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. California. 4 Chap.: 33-61.
- HATCHER, J. T. and BOWER, C. A.
1958 Equilibria and dynamics of boron adsorption by soils. *Soil Sci.*, 85: 319-23.
- HATCHER, J. T.; BOWER, C. A. and CLARK, M.
1967 Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. *Soil Sci.*, 104: 422-26.
- HATCHER, J. T.; BLAIR, G. Y. and BOWER, C. A.
1962 Adjusting soil solution to specific boron concentration. *Soil Sci.*, 94: 55-57.
- HINGSTON, F. Y.
1963 Reactions between boron and clays. *Aust. J. Soil Res.*, 2: 83-95.

- HOLFORD, C. R. and MATTINGLY, G. E. C.
1975 The high and low energy phosphate adsorption surfaces in calcareous soils. *J. Soil Sci.*, **26** (4): 407-17.
- MIDGLEY, A. R.
1942 Effects of lime and organic matter on boron fixation and availability in soils. *U. T. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 495.
- OKAZZKI, E. and CHAO, T. T.
1968 Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. *Soil Sci.*, **105**: 225-59.
- OLSON, R. V. and BERGER, K.
1946 Boron fixation as influenced by pH, organic matter and other factors. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **11**: 216-20.
- PARKES, R. Q.
1944 The fixation of added boron by Dunkuk fine sandy loam. *Soil Ce.*, **57**: 405-16.
- PARKES, W. L. and WHITE, J. L.
1952 Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, **16**: 298-300.
- PHILIPSON, T.
1953 Boron in plant and soil. *Acta Agric. Scan.*, **3**: 121-24.
- RAJAN, S. S. S. and FOX, R. L.
1975 Phosphate adsorption by soils II. Reactions in tropical acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **39** (5): 846-51.
- REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M. and HOEFT, R. G.
1973 Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chloride. Chap. 12: 173-200.
- RHOADES, J. D.; INGVAISON, R. D. and HATCHER, J. T.
1970 Laboratory determination of leachable boron. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **34**: 871-75.
- ROGERS, H. T.
1947 Water soluble boron in coarse textured soils in relation to need of boron fertilization for legumes. *J. Amer. Soc. Agron.*, **39**: 914-28.
- SINGH, S. SHAH
1964 Boron sorption equilibrium in soils. *Soil Sci.*, **98**: 383-87.
- SIMS, J. R. and BINGHAM, F. T.
1967 Retentions of boron by layer silicates sequioxides and soil materials. I Layer silicates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **31**: 728-32.
1967 Retentions of boron by layer silicates sequioxides and soil materials: I Sequioxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **32**: 364-69.
1967 Retentions of boron by layer silicates, sequioxides and soil materials: II Iron and aluminum coated layer silicates and soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **32**: 309-73.

SHUMWAY, J. S. and JONES, Y. P.

1972 Boron sorption isotherm a method to estimate boron fertilizer requirement. *Soil Sci. and Plant Analysis*, 3 (6): 477-85.

SYERS, J. R.; BROWMAN, M. G.; SMILLIE, G. W. and COREY, R. B.

1973 Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37: 358-63.

ULRICH, A. and JOHNSON, C. M.

1959 Analytical Methods. *Univ. Calif. Agric. Exp. St. Bull.*, 766.