

# ADSORCIÓN DE IONES NITRATO EN SUELOS DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA

José Castillo Sánchez

## INTRODUCCION

Sabemos que las plantas necesitan tomar de los suelos los elementos que le son indispensables, en proporciones adecuadas, para lograr un normal desarrollo. Cuando a un suelo le falta, algún elemento esencial, o éste es proporcionalmente insuficiente, se produce una acusada disminución en la producción. El nitrógeno es uno de estos elementos esenciales para las plantas.

La asimilación del nitrógeno por la planta suele hacerse en su forma nítrica o amoniacal, y depende de factores tales como la edad y especie de la planta, composición, concentraciones de azufre, molibdeno y fósforo del suelo, pH, humedad, etc (1), si bien parece ser que la asimilación de la forma nítrica del nitrógeno es preferida por las plantas superiores debido a su mayor movilidad al no ser prácticamente fijado por los coloides del suelo, que fijan mejor a los iones amonio.

Bajo condiciones naturales, el nitrógeno del suelo no proviene de la degradación de la roca madre, sino que en última instancia, del que existe en la atmósfera a través de los diferentes procesos de fijación, fundamentalmente de tipo biológico. Por tanto, la mayor parte del nitrógeno presente en el suelo se encuentra formando parte de la materia orgánica en él depositada tras la muerte de microorganismos y plantas. Este nitrógeno, tras el concurso de procesos bioquímicos específicos, puede ser liberado en forma de compuestos más sencillos, tales como aminoácidos y sales amónicas y nítricas.

Las grandes funciones del nitrógeno en la planta hay que considerarlas en base a su participación como constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esenciales en su metabolismo. Puesto que el contenido en nitrógeno es uno de los parámetros que condiciona la fertilidad del suelo, es necesario añadirlo a aquellos suelos que sean deficientes en el mismo, mediante la aplicación de fertilizantes ricos en nitratos.

Los aniones pueden ser retenidos por los suelos a través de distintas reacciones, algunas de ellas puramente electrostáticas y que se denominan de adsorción física o no específica, las cuales parecen tener lugar mediante la formación de un complejo de adsorción ácido húmico-arcilla-anión. Por otra parte, puede tener lugar reacciones de naturaleza no electrostática, conside-

rándose esta última como de adsorción específica o reacciones de quimisorción, en las que parecen ser los óxidos de hierro y aluminio presentes en el suelo los responsables de la adsorción del anión (2).

En una línea completamente distinta, aunque no menos importante, existen diferentes implicaciones en cuanto al uso de los fertilizantes nitrogenados, relacionados con la contaminación del entorno. En este sentido, se destacan las repercusiones negativas de los problemas asociados con procesos de eutroficación, así como los derivados de la progresiva salinización de suelos y aguas (3).

Tomando en consideración todo lo expuesto hasta el momento, el objetivo que nos proponemos es analizar el comportamiento de los iones nitrato, en lo que a fenómenos de adsorción en suelos se refiere, tomando para ello una serie de suelos característicos de la provincia de Almería.

## EQUIPO Y MATERIAL

### ADSORBENTES

Los adsorbentes utilizados han sido ocho suelos de la provincia de Almería, seleccionados en base a la catalogación llevada a cabo por el Servicio de Planificación de Recursos Naturales de la Agencia del Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (4), y que son:

DENOMINAC. EN TEXTO	DENOMINAC. CATALOGO	EMPLAZAMIENTO	COORDENADA U.T.M. (X)	COORDENADA U.T.M. (Y)
AL-01	Greda-Roja	Almanzora-Alto	562.040	4128.450
AL-02	Pardo-Calizo	Almanzora-Bajo	599.529	4123.263
AL-03	Rendsina	Andarax-Gador	537.400	4928.000
AL-04	Salino	Campo-Dalías	536.750	4072.250
AL-05	Volcánico	Campo-Nijar	572.762	4084.157
AL-06	Desértico	Campo-Tabernas	511.200	4099.000
AL-07	Pardo-Calizo	Los Velez	561.305	4161.422
AL-08	Aluvial	Rio-Nacimiento	518.200	4112.300

El muestreo ha incluido la toma de 4 a 5 kg de tierra para cada suelo a una profundidad entre 0 y 15 cm. Esta cantidad total de tierra se obtuvo en cada suelo, de diferentes puntos de una zona de 50 m de radio y de centro en el punto cuyas coordenadas U.T.M. se han dado en la tabla anterior.

Cuando las muestras estuvieron en el laboratorio, se homogeneizaron y secaron a temperatura ambiente durante 72 horas.

Por último, las muestras se pasaron a través de un tamiz de 2 mm de luz de malla.

## **ADSORBATO**

Nitrato potásico de la marca Merck y calidad P.A., desecado a 110°C durante 24 horas.

## **CONTROL DE TEMPERATURA Y SISTEMA DE AGITACION**

Para el control y mantenimiento de la temperatura de trabajo se ha utilizado un baño termostático de la casa JULABO modelo SW-20C. El baño termostático va provisto de un sistema de agitación mediante el cual se consigue que el adsorbente esté permanentemente en suspensión en el seno de la disolución que contiene el adsorbato.

## **ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO**

En el análisis se ha utilizado un espectrofotómetro UV-Visible SPECTRONIC 3000 DIODO-ARRAY y células espectrofotométricas de cuarzo y 1 cm de espesor óptico.

## **REACTIVOS Y PRODUCTOS**

### **Solución 500:75 de ácido sulfúrico-agua:**

Se disolvieron 500 mL de ácido sulfúrico (de la marca Panreac y calidad P.A.) en 75 mL de agua bidestilada.

### **Disolución de Brucina-ácido sulfanílico:**

Se disolvieron 2,5000 g de Brucina (de la marca Carlo Erba y calidad PRS.) y 0,2500 g de ácido sulfanílico (de la marca Merck y calidad P.A.) en 250 mL de agua bidestilada caliente. A continuación se adicionaron 7,5 mL de ácido clorhídrico (de la marca Panreac y calidad P.A.), enrasando la solución resultante hasta un volumen final de 250 mL.

### **Disolución patrón de 1000 mg/L en iones nitrato:**

Se disolvieron 1,6310 g de nitrato potásico en agua bidestilada hasta un volumen final de 1 L.

### **Disolución Standard de 100 mg/L en iones nitrato:**

Se tomaron 100,0 mL de la solución 2.5.3. y se diluyeron hasta 1 L.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

Las muestras de suelo tomadas han sido caracterizadas en el Departamento de Química Inorgánica de la Facultad de Ciencias Experimentales de Almería (5) y los resultados se indican en las tablas que se dan a continuación:

Tabla 3.1  
Granulometría

SUELO	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA
AL-01	13	29	58
AL-02	14	42	44
AL-03	8	44	48
AL-04	4	54	42
AL-05	6	22	72
AL-06	12	34	54
AL-07	14	44	42
AL-08	12	44	44

Tabla 3.2  
*Densidad aparente*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
d (g/cc)	1,28	1,34	1,33	1,19	1,65	1,49	1,21	1,29

Tabla 3.3  
*Contenido en carbono y materia orgánica*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
% CARBONO	0,57	0,70	0,31	0,87	0,19	0,16	0,93	0,43
% MAT.ORG	1,28	1,57	0,69	1,95	0,42	0,35	2,09	0,97

Tabla 3.4:  
*Nitrógeno total y relación Carbono/nitrógeno*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
% NITROG.	0,11	0,16	0,09	0,15	0,05	0,04	0,17	0,10
C/N	5,18	4,38	3,44	5,80	3,80	4,00	5,47	4,30

Tabla 3.5:  
*Agua de retención*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
% H <sub>2</sub> O ret.	1,5	1,4	0,5	3,4	0,2	1,0	4,2	0,9

Tabla 3.6:  
*Fósforo asimilable y Xm de adsorción de iones fosfato*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	1,8	5,3	2,1	5,0	2,6	1,7	4,5	2,4
Xm (g P/g)	126	89	107	366	42	153	353	66

Tabla 3.7:  
*Capacidad de cambio catiónico*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
CCC mEq/100g	13,2	8,8	10,0	12,3	4,1	8,3	26,6	8,3

Tabla 3.8:  
*Superficie específica*

SUELO AL-	01	02	03	04	05	06	07	08
S (m <sup>2</sup> /g)*	16,1	14,1	5,0	13,1	4,8	10,7	43,4	7,8
S (m <sup>2</sup> /g)**	16,6	14,6	7,0	14,7	5,6	10,5	48,2	8,6

\* Determinada mediante la ecuación de B.E.T.

\*\* Determinada según la ecuación de Dubinin-Radushkevich.

## **METODO ANALITICO**

### ***Determinación de iones nitrato en las soluciones***

Para la determinación de los iones nitrato se seleccionó el método propuesto por A.S.T.M. (6) para la determinación espectrofotométrica de nitratos, en la zona del visible.

El ion nitrato reacciona con la brucina en un medio fuertemente ácido, desarrollandose un color amarillo que no sigue la ley de Lambert-Beer. No obstante, la representación gráfica de la absorbancia frente a la concentración de nitratos, refleja una desviación poco acusada de la linealidad, en el intervalo de concentraciones que oscila entre 0,0 y 50,0 mg/L. este hecho permite el uso de este método analítico, si bien, debe desarrollarse una serie simultánea de patrones en cada uno de los grupos de muestras que se analicen, obteniéndose la concentración de nitratos, de cada serie de medidas, mediante interpolación en la recta patrón realizada en la misma.

El protocolo del método es como sigue:

- 1) Se toman 5 mL de disolución problema y se le añade 1 mL de solución Brucina-ácido sulfanílico.
- 2) Se vierte la disolución anterior sobre un segundo vaso con 10 mL de ácido sulfúrico 500:75, agitando durante 15 segundos.
- 3) Se mantiene la mezcla anterior durante 10 minutos en la oscuridad y a continuación se adicionan 10 mL de agua. Se agita durante 15 segundos y se guarda en la oscuridad durante 25 minutos.
- 4) Se mide la absorbancia a 410 nm.

## **RESULTADOS EXPERIMENTALES**

### **METODO ANALITICO**

#### **Determinación de iones nitrato en las soluciones**

A la longitud de onda de trabajo (410 nm) se ha estudiado el cumplimiento de la ley de Lambert-Beer. Para ello se preparó una serie de disoluciones estándar, mediante la adecuada dilución de la disolución estándar de 100 mg/L, en iones nitrato, y cuyas concentraciones estaban comprendidas entre 2,5 mg/L y 30,0 mg/L. Los resultados obtenidos se dan en la tabla 4.1; la representación gráfica de la ley de Lambert-Beer se da en la figura 1 y la representación del criterio de Ringbom en la figura 2.

Los resultados obtenidos indican que se verifica la ley de Lambert-Beer en todo el intervalo de concentraciones estudiado, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r= 0,9993$ .

El índice de absorción molar en el intervalo óptimo de concentraciones (10,0 a 30,0 mg ion nitrato/L) deducido del criterio de Ringbom es:

$$K= 0,065 \text{ mg/L cm}$$

Tabla 4.1:  
 Datos espectrofotométricos correspondientes al estudio de la ley de Lambert-Beer para los iones nitrato.

C (mg/L)	A (410 nm)	100 - %T
0,0	0,000	0,0
2,5	0,056	12,1
5,0	0,092	19,1
7,5	0,132	26,2
10,0	0,169	32,2
12,5	0,205	37,6
15,0	0,245	43,1
20,0	0,319	52,0
30,0	0,470	66,1

**Error y reproducibilidad de las cuantificaciones**

Para la determinación del error y la reproducibilidad del método analítico, se prepararon 12 disoluciones de iones nitrato cuya concentración era de 7,2 mg/L, midiéndose a continuación las respectivas absorbancias a la longitud de onda de 410 nm. Los resultados obtenidos se dan en la tabla 4.2.

A partir de estos datos se han determinado los siguientes parámetros estadísticos (7):

- 1) Varianza .....  $v = 0,03$
- 2) Desviación típica .....  $\sigma = 0,17$
- 3) Desviación típica sobre la media .....  $\sigma_M = 0,05$
- 4) Error relativo sobre la media .....  $\epsilon_r = 0,7\%$
- 5) Grado de confianza, según el ensayo con  $Z_c$ , superior al 99%

Tabla 4.2.-  
 Estudio de la reproducibilidad del método analítico

ABSORBANCIA	mg NO <sub>3</sub> /L
0,115	7,5
0,113	7,4
0,109	7,1
0,113	7,4
0,107	7,0
0,111	7,2
0,110	7,2
0,111	7,2
0,110	7,2
0,116	7,5
0,108	7,0
0,109	7,1

Figura 1  
*Aplicación de la ley de Lambert-Beer a la determinación de nitratos con el método de la Brucina*

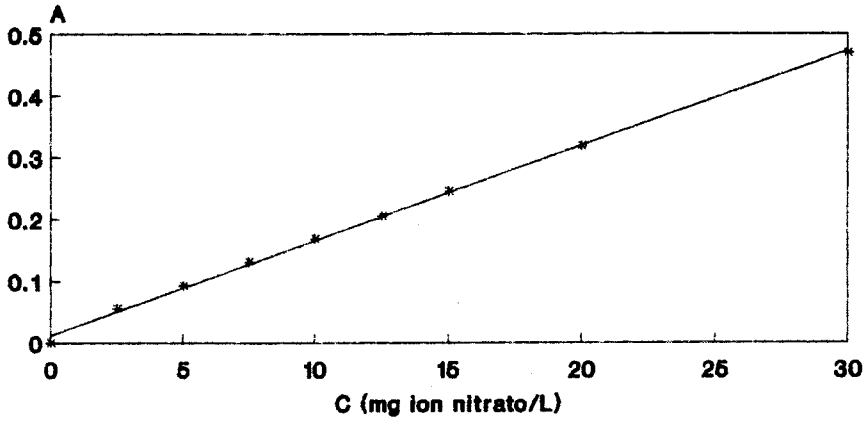
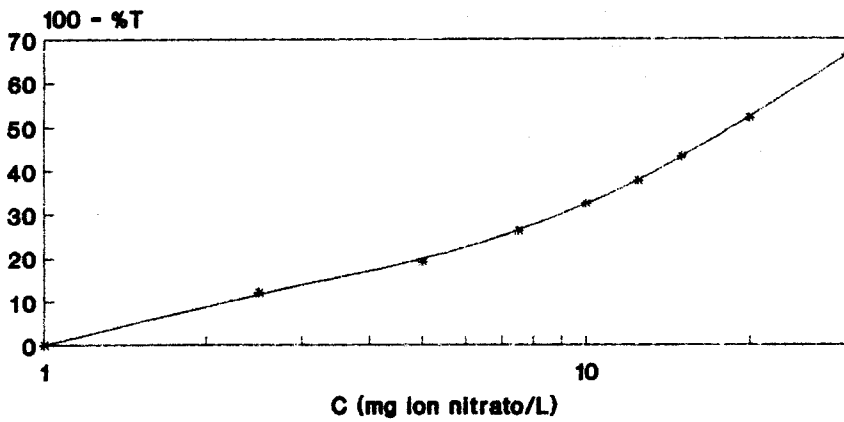


Figura 2  
*Aplicación de los criterios de Ringbom a las disoluciones de iones nitrato*





## ESTUDIO DEL PROCESO DE ADSORCION

### Determinación del tiempo de equilibrio

Con objeto de determinar el tiempo de equilibrio correspondiente al proceso de adsorción de iones nitrato en los distintos suelos de la provincia de Almería, se tomaron muestras de 2,00 g de cada uno de los ocho suelos analizados. Cada una de las muestras de suelo, con 50,0 mL de disolución de 12,0 ppm de ion nitrato y unas gotas de cloroformo (para impedir la actividad microbiana), se introdujeron en las células de adsorción y se mantuvieron a 30 °C, y en continua agitación. El análisis de la fase sobrenadante de las disoluciones reveló que éste era inferior a las 24 horas.

### Isotermas de adsorción de iones nitrato.

Las experiencias de adsorción de los iones nitrato en los distintos suelos estudiados se realizaron según se describe a continuación:

Se tomaron muestras de 1,00 g de cada uno de los ocho suelos estudiados y se le adicionaron 50,0 mL de distintas soluciones de  $\text{KNO}_3$ , que contenían dos gotas de cloroformo, y cuyas concentraciones (C) estaban comprendidas entre 0,5 ppm y 14,0 ppm de ion nitrato.

Estas soluciones se mantuvieron en agitación y temperatura constante de 30°C durante 24 horas, tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio de adsorción. Transcurrido ese tiempo se le adicionó al medio 0,008 g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , y tras su disolución, 0,020 g de  $\text{MgCO}_3$ , separándose a continuación, mediante centrifugación, la fase sólida y la disolución.

Tabla 4.3:

*Datos correspondientes a la adsorción de los iones nitrato sobre el suelo AL-01.*

Ce	(mg $\text{NO}_3$ /L)	X	(mg $\text{NO}_3$ /kg)	Ce/X	(kg/L)
	1,2		4,4		0,27
	2,7		7,5		0,36
	4,3		8,9		0,48
	6,2		10,3		0,60
	8,2		10,9		0,75
	10,5		11,9		0,88
	11,6		11,8		0,98
	12,7		12,1		1,05

Las concentraciones de las soluciones de los iones nitrato en equilibrio con las muestras de suelo (Ce), se determinaron por colorimetría.

A partir de los valores de Ce así obtenidos y de los correspondientes a C, se ha podido determinar, para cada uno de los ocho suelos, la cantidad de iones nitrato retenida, expresada en

mg de ion nitrato por kg de suelo (X), así como establecer las isothermas experimentales de adsorción a partir de la representación  $X = f(C_e)$ .

Los resultados obtenidos se indican en las tablas 4.3 a 4.10, y se representan en las figuras 3 a 10.

Tabla 4.4:  
*Datos correspondientes a la adsorción de los iones nitrato sobre el suelo AL-02*

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	2,0		6,45		0,31
	3,4		7,23		0,42
	5,5		10,18		0,54
	7,6		11,18		0,65
	9,0		11,69		0,77
	10,2		12,14		0,84
	11,2		11,91		0,94
	12,5		12,50		1,00

Tabla 4.5:  
*Datos correspondientes a la adsorción de iones nitrato sobre el suelo AL-03*

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	0,5		2,63		0,19
	2,4		7,27		0,33
	5,2		9,45		0,55
	6,4		9,85		0,65
	7,7		10,26		0,75
	9,6		11,03		0,87
	11,6		11,15		1,04
	13,1		11,40		1,15

Tabla 4.6:  
*Datos correspondientes a la adsorción de los iones nitrato sobre el suelo AL-04*

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	1,5		6,50		0,23
	3,0		9,37		0,32
	4,5		11,25		0,40
	6,1		12,45		0,49
	7,5		13,16		0,57
	8,9		13,69		0,65
	10,8		14,40		0,75
	11,8		14,57		0,81

Tabla 4.7:  
*Datos correspondientes a la adsorción de los iones nitrato sobre el suelo AL-05*

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	0,6		2,73		0,22
	3,0		6,97		0,43
	5,8		8,90		0,65
	8,0		10,00		0,83
	10,2		10,20		1,00
	12,1		10,30		1,17
	13,5		10,50		1,28

Tabla 4.8:  
*Datos correspondientes a la adsorción de iones nitrato sobre el suelo AL-06*

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	0,9		3,91		0,23
	2,5		6,94		0,36
	4,3		8,11		0,53
	6,8		9,44		0,72
	9,0		9,57		0,94
	11,0		10,18		1,08
	12,5		10,08		1,24
	14,0		10,37		1,35

Tabla 4.9:  
 Datos correspondientes a la adsorción de iones nitrato sobre el suelo AL-07

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	1,1		4,85		0,23
	2,5		8,50		0,29
	4,1		11,05		0,37
	5,5		12,66		0,44
	7,3		14,03		0,52
	8,8		14,38		0,61
	10,5		15,46		0,68
	12,1		16,09		0,75

Tabla 4.10:  
 Datos correspondientes a la adsorción de los iones nitrato sobre el suelo AL-08

Ce	(mg NO <sub>3</sub> /L)	X	(mg NO <sub>3</sub> /kg)	Ce/X	(kg/L)
	1,6		5,72		0,28
	3,0		7,90		0,38
	4,8		9,05		0,53
	7,1		10,23		0,69
	8,9		10,80		0,82
	10,0		11,20		0,89
	11,3		11,62		0,97
	13,0		11,81		1,10

**Ajuste de las isotermas de adsorción a diferentes modelos**

La utilización de diversos modelos para describir cuantitativamente los fenómenos de adsorción de iones nitrato por los suelos, nos permite definir la capacidad de retención de iones nitrato por dichos suelos.

Si bien existen diferentes modelos para el ajuste de los datos experimentales correspondientes a la adsorción de los iones por los suelos, la mayoría de los autores se inclinan por el ajuste de los datos a los modelos de Freundlich (8) y Langmuir (9)(10)(11), obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 3  
 Isoterma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-01

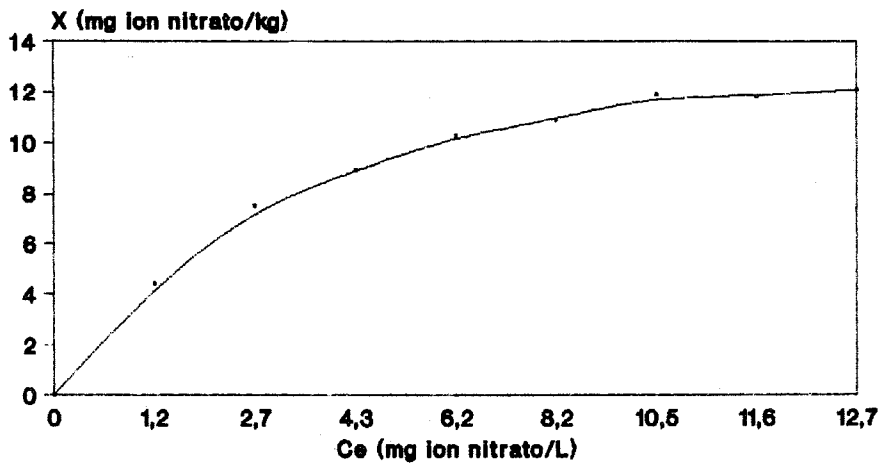


Figura 4  
 Isoterma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-02

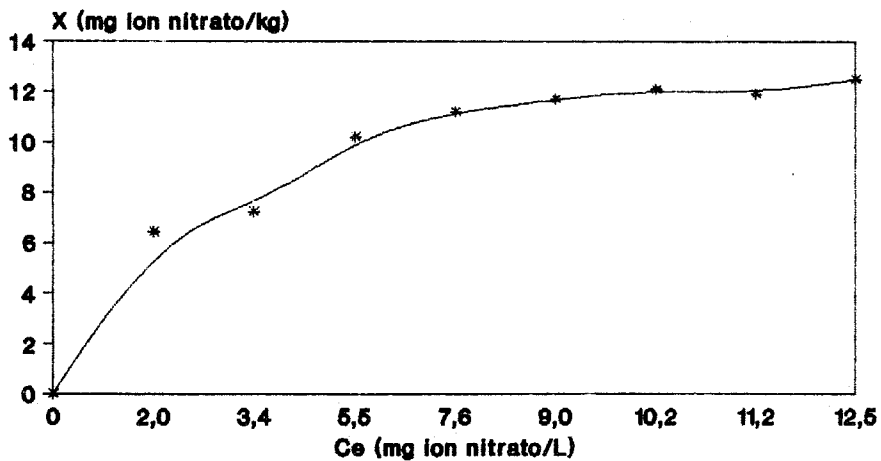


Figura 5  
*Isoterma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-03*

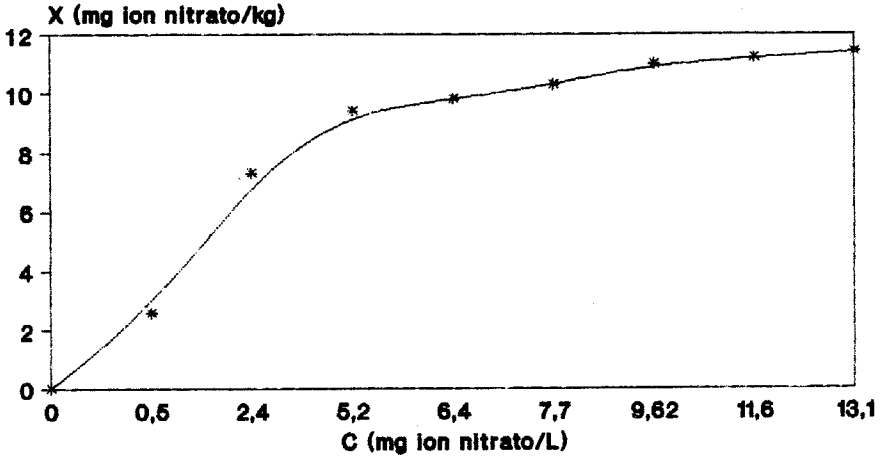


Figura 6  
*Isoterma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-04*

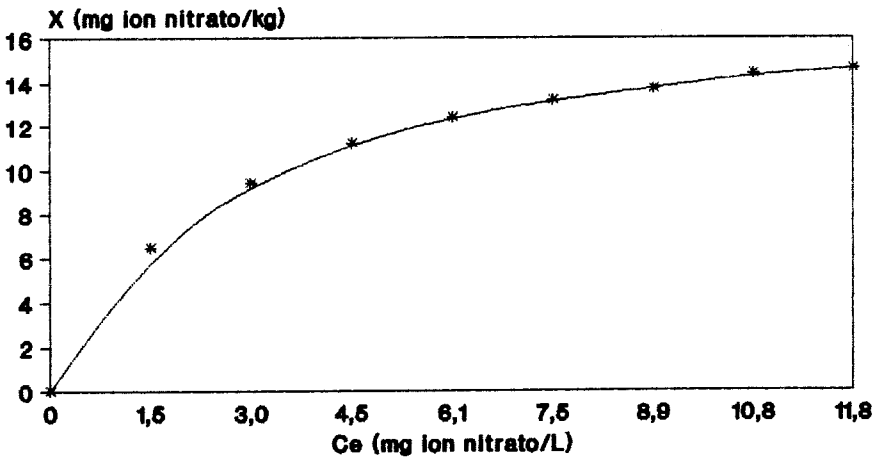


Figura 7  
*Isotherma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-05*

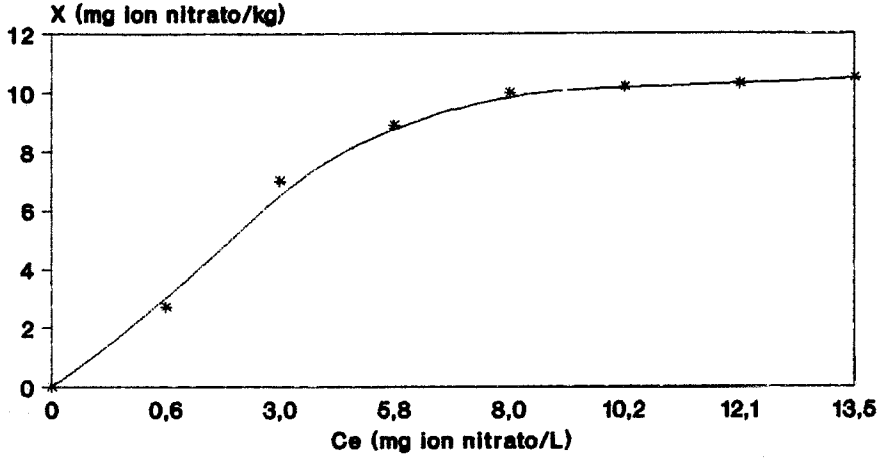


Figura 8  
*Isotherma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-06*

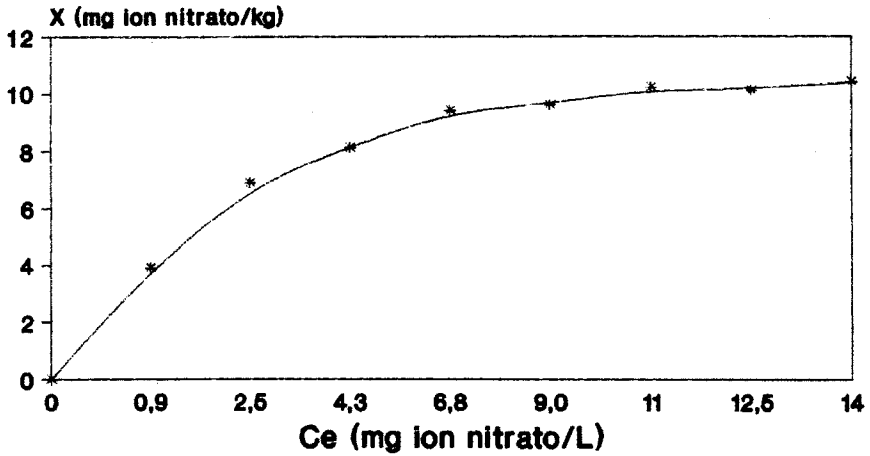


Figura 9  
*Isoterma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-07*

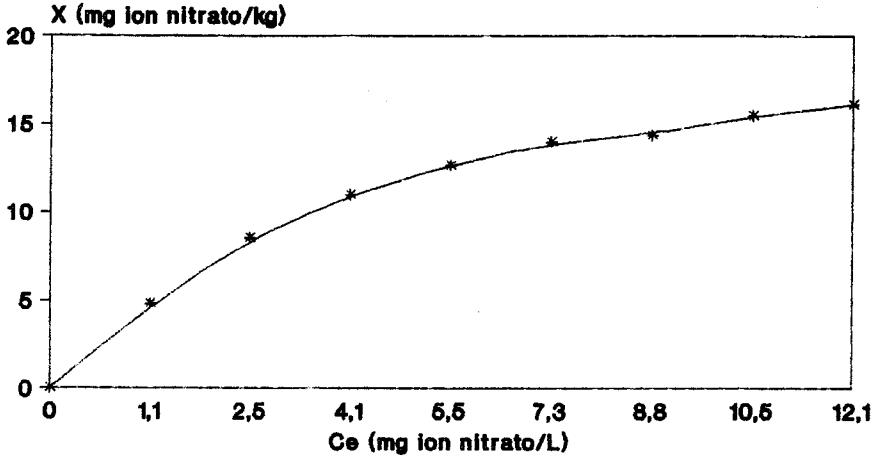
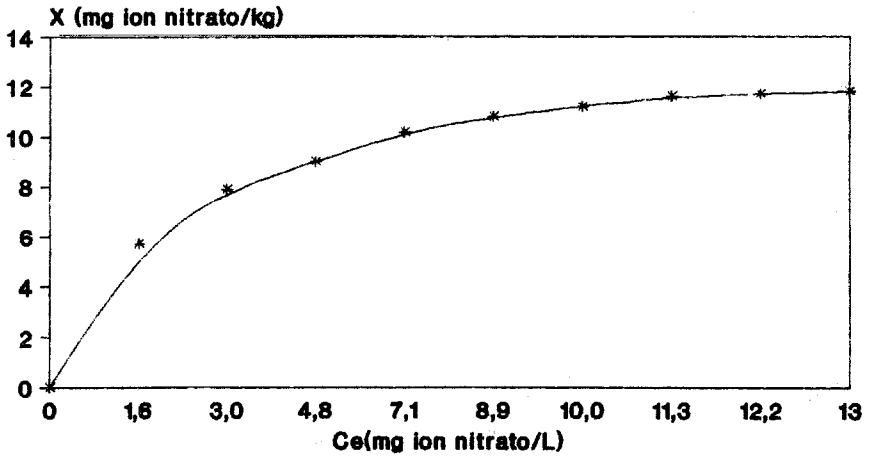


Figura 10  
*Isoterma de adsorción de iones nitrato por el suelo AL-08*





a) *Ajuste al modelo de Freundlich*

El modelo de Freundlich ajusta los datos experimentales a la ecuación:

$$\text{Log } X = \text{Log } K_f + n \text{ Log } C_e$$

donde  $K_f$  es la cantidad de nitratos adsorbida para una concentración en equilibrio,  $C_e$ , de 1 mg/L, y  $n$  es un indicador de la intensidad de la adsorción.

En la tabla 4.11 se dan los valores de  $K_f$  y  $n$  obtenidos, con sus desviaciones típicas entre paréntesis. Asimismo, se indican los coeficientes de correlación de las rectas de regresión ( $r$ ) obtenidos.

b) *Ajuste al modelo de Langmuir*

La ecuación de Langmuir en su forma lineal es:

$$C_e/X_o = 1/b X_m + C_e/X_m$$

donde  $C_e$  es la concentración en equilibrio del adsorbato;  $X_o$  es la cantidad de adsorbato retenida por gramo de adsorbente;  $b$  es una constante relacionada con la energía de adsorción y,  $X_m$  es la cantidad máxima de adsorbato que puede ser adsorbida.

En la tabla 4.12 se dan los valores de  $b$ ,  $X_m$ , obtenidos, y sus respectivas desviaciones típicas (entre paréntesis). También se dan los coeficientes de correlación de las rectas de regresión de cada ajuste ( $r$ ).

Tabla 4.11:  
*Parámetros correspondientes a la aplicación del modelo de Freundlich a la adsorción de iones nitrato en los diferentes suelos estudiados.*

SUELO	r	$K_f$		n	
AL-01	0,977	4,56	(0,02)	0,410	(0,003)
AL-02	0,980	4,89	(0,04)	0,39	(0,03)
AL-03	0,974	4,07	(0,08)	0,444	(0,005)
AL-04	0,986	5,9	(0,2)	0,75	(0,03)
AL-05	0,977	3,80	(0,08)	0,44	(0,04)
AL-06	0,968	4,57	(0,06)	0,34	(0,03)
AL-07	0,985	5,12	(0,06)	0,49	(0,04)
AL-08	0,990	5,18	(0,03)	0,33	(0,02)

Tabla 4.12:

*Parámetros correspondientes a la aplicación del ajuste de Langmuir a la adsorción de los iones nitrato por los suelos estudiados.*

SUELO	Xm (mg/kg)	b (L/kg)	r		
AL-01	14,7	(0,2)	0,372	(0,008)	0,9995
AL-02	15,2	(0,5)	0,37	(0,02)	0,9989
AL-03	13,12	(0,14)	0,50	(0,02)	0,9997
AL-04	17,9	(0,19)	0,375	(0,003)	0,9999
AL-05	12,24	(0,09)	0,464	(0,005)	0,9998
AL-06	11,63	(0,14)	0,57	(0,02)	0,9995
AL-07	20,8	(0,3)	0,276	(0,005)	0,9995
AL-08	14,0	(0,2)	0,408	(0,011)	0,9994

**ESTUDIO DE LA CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS DE LOS MODELOS Y LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS**

**Estudio de la correlación entre los Xm de los suelos y sus principales características**

Para el estudio de las correlaciones existentes entre los valores máximos de adsorción de nitratos por los suelos y las principales características de los mismos, se representó gráficamente los valores de Xm, de cada suelo, frente a cada una de las principales características de estos, anteriormente indicadas en el apartado 3. Dichas representaciones se dan en las figuras 11 a 22. Los coeficientes de correlación de las rectas de regresión se dan en la tabla 4.13.

Tabla 4.13:

*Coefficientes de correlación obtenidos entre los Xm correspondientes a la adsorción de nitratos por los suelos y algunas propiedades de los mismos.*

PROPIEDAD DEL SUELO	r
% Materia Orgánica	0,948
% Nitrógeno	0,884
Relación C/N	0,827
% de Agua de retención	0,952
Porcentaje de fósforo asimilable	0,772
Capacidad de cambio catiónico	0,874
Superficie específica (B-E-T)	0,852
Superficie específica (D-R)	0,864
% Arcilla	0,149
Densidad aparente	-0,750
Xm de fosfatos	0,840
% Limo	0,576

Figura 11  
 Correlación entre los  $X_m$  y el % de materia orgánica de los suelos

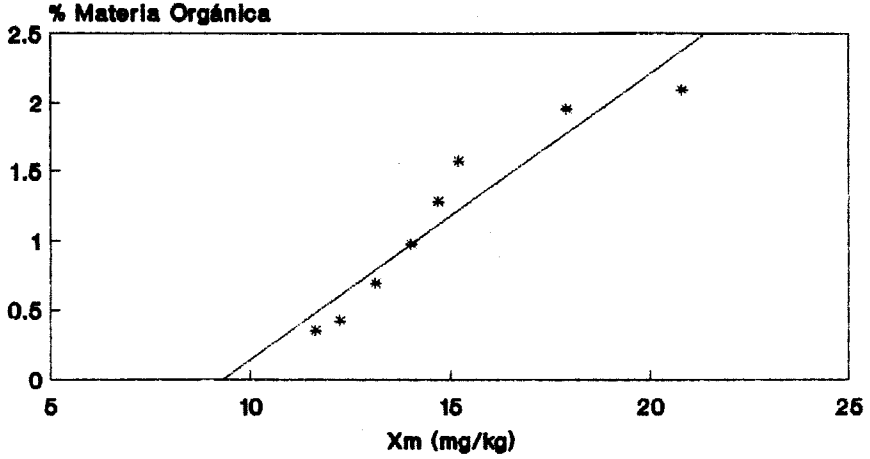


Figura 12  
 Correlación entre los  $X_m$  y el % de nitrógeno de los suelos

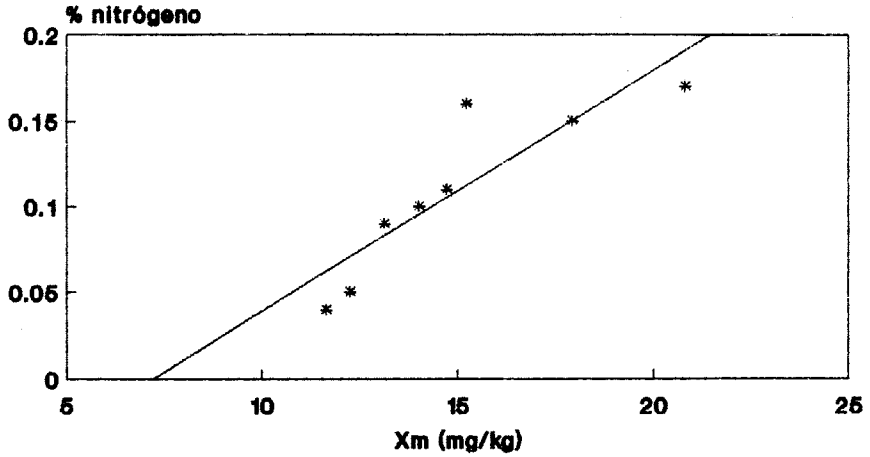


Figura 13  
*Correlación entre los  $X_m$  y la relación Carbono/Nitrógeno de los suelos*

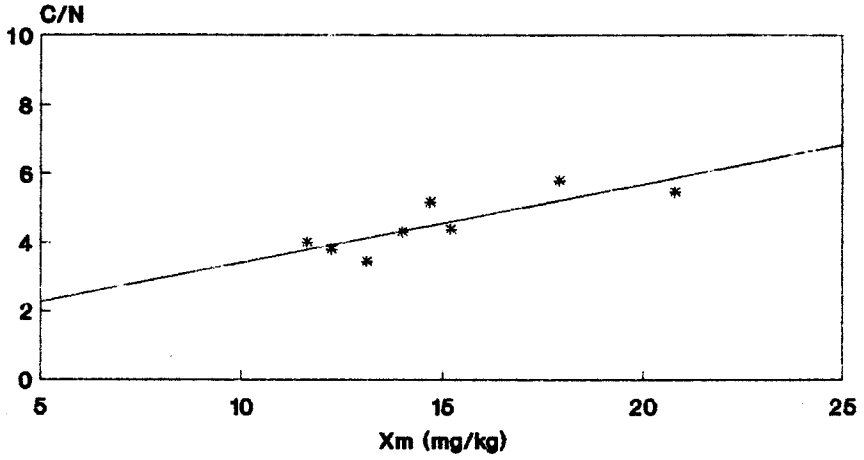


Figura 14  
*Correlación entre los  $X_m$  y el % de agua de retención de los suelos*

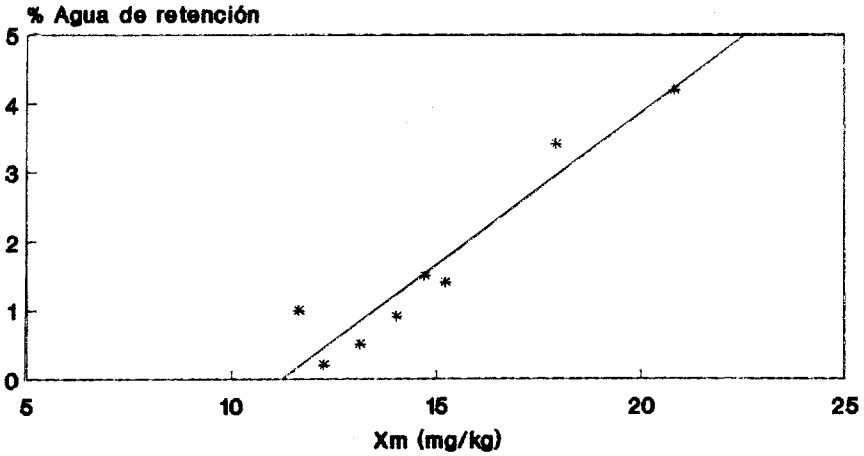


Figura 15  
 Correlación entre los  $X_m$  y el % de fósforo asimilable de los suelos

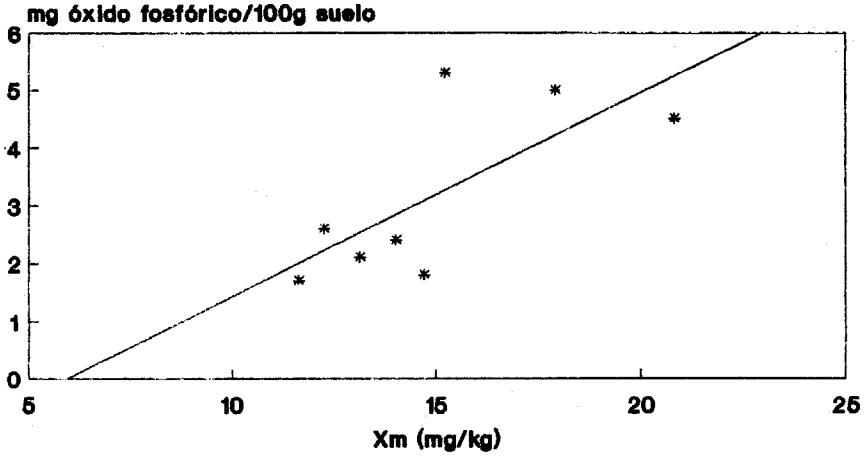


Figura 16  
 Correlación entre los  $X_m$  y la capacidad de cambio catiónico de los suelos

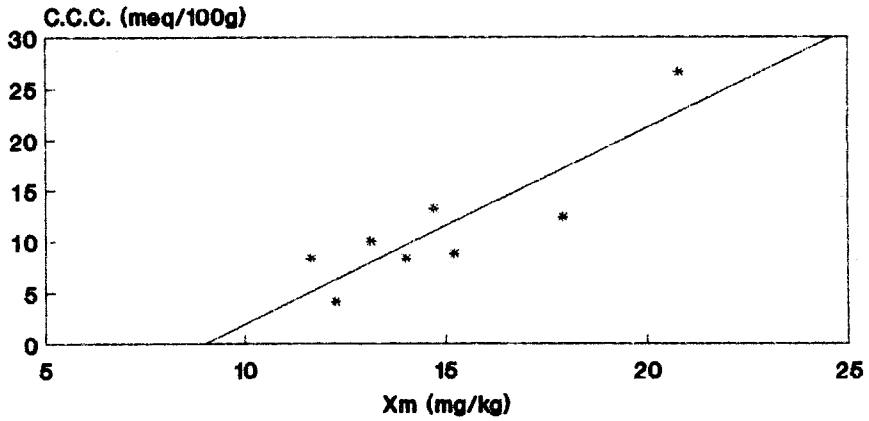


Figura 17  
Correlación entre los  $X_m$  y la superficie específica (BET)

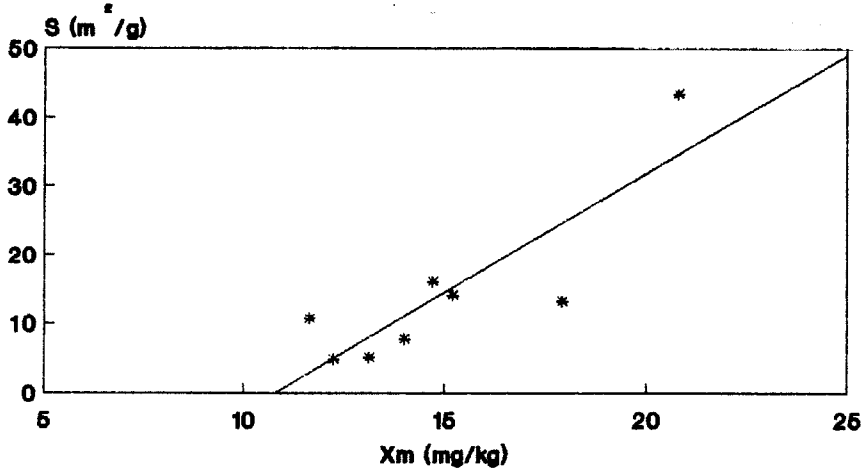


Figura 18  
Correlación entre los  $X_m$  y la superficie específica (DR)

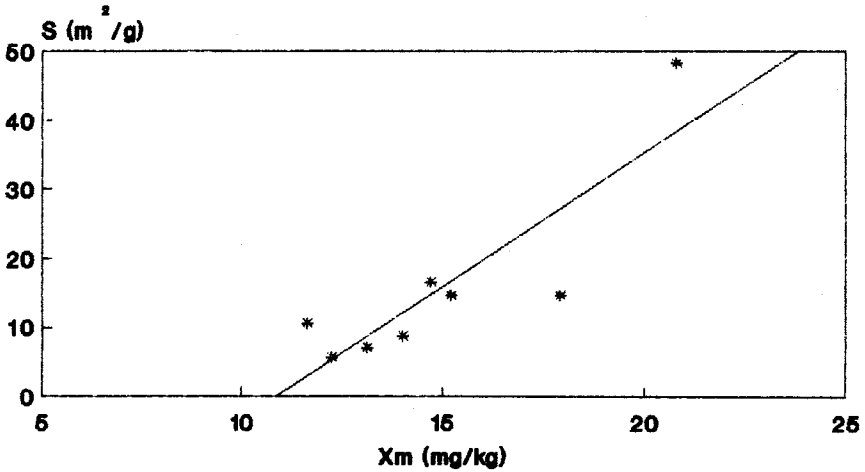


Figura 19  
Correlación entre los  $X_m$  y el % de arcilla

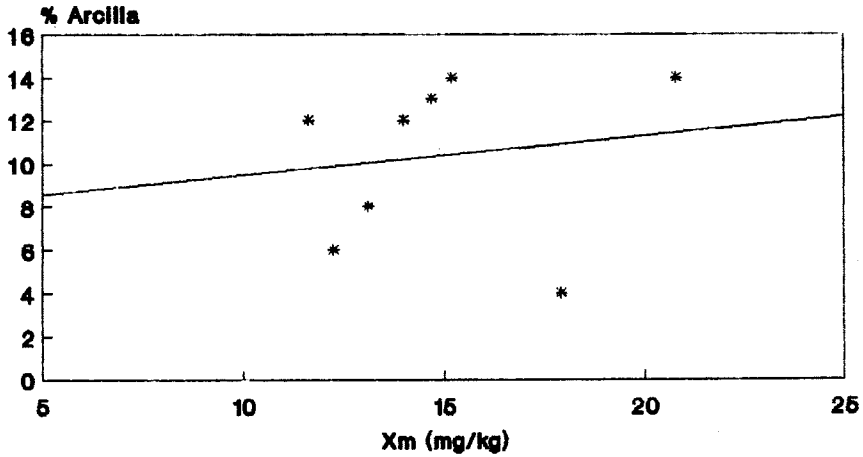


Figura 20  
Correlación entre los  $X_m$  y la densidad aparente

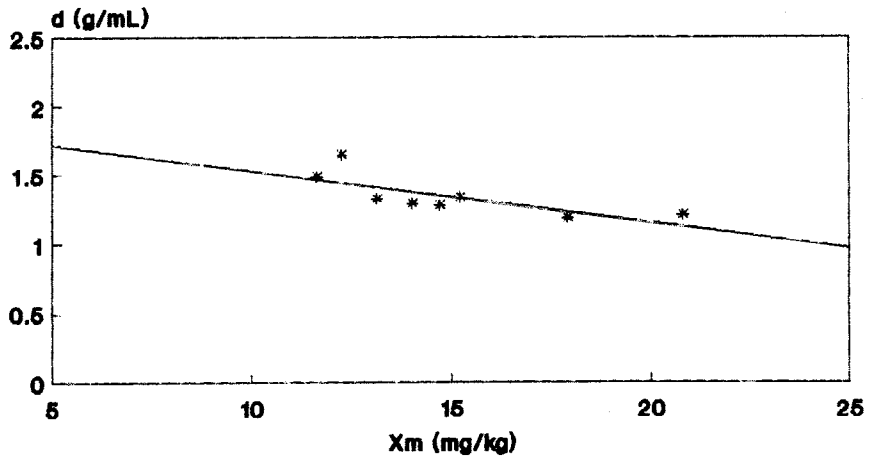


Figura 21  
Correlación entre los  $X_m$  de adsorción de nitratos y los  $X_m$  de adsorción de fosfatos

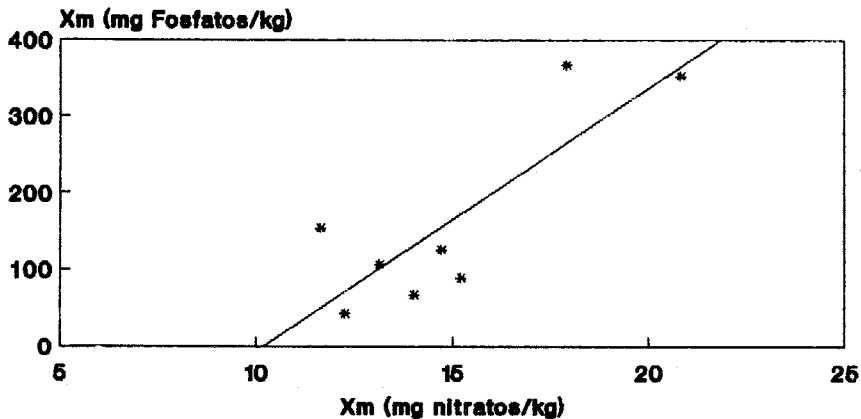
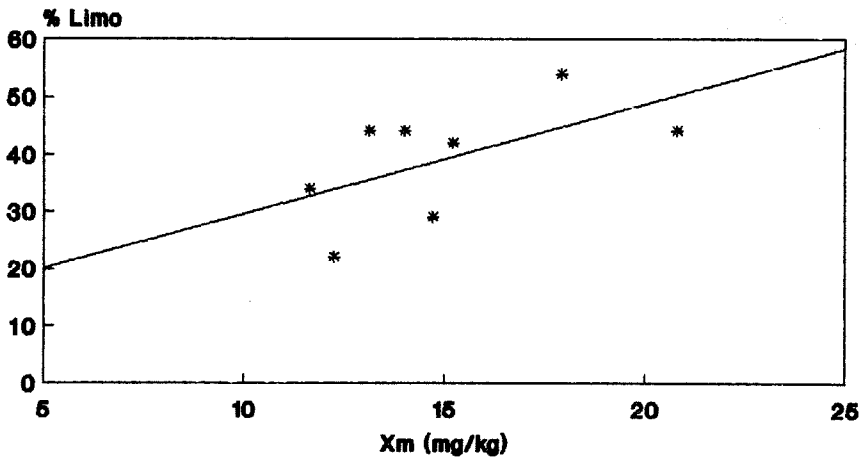


Figura 22  
Correlación entre los  $X_m$  y el % de limo de los suelos





## CONCLUSIONES

1.- El tiempo de equilibrio del proceso de adsorción de iones nitrato sobre los ocho suelos estudiados de la provincia de Almería oscila en torno a las 12 horas, estableciéndose en 24 horas el tiempo de contacto entre las fases adsorbente y las disoluciones de iones nitrato.

2.- La capacidad de retención de los iones nitrato por los suelos de la provincia de Almería, a la temperatura constante de 30 °C, oscilan entre 11,63 mg ion nitrato/kg de suelo y 20,78 mg ion nitrato/kg de suelo.

3.- Los ocho suelos estudiados de la provincia de Almería, ordenados según la secuencia creciente de sus capacidades de adsorción de iones nitrato, es como sigue:

AL-07 > AL-04 > AL-02 > AL-01 > AL-08 > AL-03 > AL-05 > AL-06

4.- No existe correlación lineal entre los valores de adsorción máxima de nitratos, por los suelos de la provincia de Almería, y los porcentajes de arcilla y limo de dichos suelos.

5.- Existe una mediana correlación lineal entre las capacidades de adsorción máxima de iones nitrato, por los suelos de la provincia de Almería, con la densidad aparente y fósforo asimilable de dichos suelos.

6.- Existe una buena correlación lineal entre la capacidad máxima de adsorción de iones nitrato con la materia orgánica, contenido en nitrógeno total, relación carbono/nitrógeno, superficie específica, capacidad de cambio catiónico, porcentaje de agua de retención y capacidad máxima de adsorción de iones fosfato.

7.- En relación con la buena correlación obtenida entre la adsorción de iones nitrato y el contenido en materia orgánica, se pone de manifiesto que es ésta la fracción coloidal del suelo, a través de sus restos de cargas positivas, la responsable del proceso de adsorción de iones nitrato en los suelos de la provincia de Almería.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- NAVARRO, S y NAVARRO, G, *Temas de química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*, León, Academia S.L., 1984.
- 2.- BOHN, H.L., McNEAL, B.L. y O'CONNOR, G.A., *Soil Chemistry*, Nueva York, J. Wiley and Sons, 1974.
- 3.- FERGURSON, J.E., *Inorganic Chemistry and the Earth*, Oxford, Pergamon Press, 1982.
- 4.- AGENCIA DEL MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA, *Catálogo de suelos de Andalucía*, Sevilla, 1984.
- 5.- SOCIAS VICIANA, M.M., Tesis Doctoral, *Adsorción de iones fosfato en suelos de la provincia de Almería*, Facultad de Ciencias Experimentales de Almería, 1990.
- 6.- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *1980 Annual book of A.S.T.M. standards*, Part 31, Philadelphia, 502-504, 1980.
- 7.- SANCHEZ DEL RIO, C., *Análisis de errores*, Madrid, Eudema, 1988.
- 8.- ADAMSON, A.W., *Physical chemistry of surfaces*, London, Acade. Press, 1976.
- 9.- KIPLING, J.J., *Adsorption from solutions of non-electrolytes*, London, Acad. Press, 1965.
- 10.- LANGMUIR, I, Part. I Soils, *J. Am. Chem. Soc.*, 38, 1918, 2221-2295.
- 11.- LANGMUIR, I., *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1916, 1361-1402.