

Dinámica de Mn, Zn y Fe en suelos calizos

POR

F. COSTA, A. LAX,
L. REVERTE y T. HERNÁNDEZ

SUMMARY

The availability of manganese, zinc and iron is studied, when these are added to typical soils from Murcia, with the view-points of the physical and chemical dynamics and of the clay interaction.

The results may be summarized as follows:

a) If the elements are added in the ionic form, there are a very little movement down in the soil profile. Then it is unuseful to deep root plants.

b) When the elements are employed in the chelated form, it is important the high stability constant of the compounds: EDTA is useful for manganese and zinc, and EDDHA for iron.

c) These chelated compounds hold the elements in available form in the soil, more than 3-4 monts.

d) The clays play an important role creating an stock of nutrients, in the exchangeable form.

e) The clays also induce partially the migration of elements, by the movement of clay particles in the soils.

RESUMEN

Este trabajo estudia la disponibilidad de manganeso, cinc y hierro cuando se suministran a suelos típicos de la región murciana, bajo los



aspectos de dinámica física, dinámica química e interacción con las arcillas.

Hemos obtenido los resultados siguientes:

a) Cuando el tratamiento con los elementos se hace en forma iónica, éstos experimentan escasa penetración en el perfil del suelo, por lo que no es aconsejable para cultivos de raíces profundas.

b) La adición bajo forma de quelato se debe hacer buscando compuestos que tengan una constante de estabilidad alta: EDTA, para manganeso y cinc, y EDDHA, para hierro.

c) Estos compuestos mantienen a los oligoelementos, en el suelo en forma disponible para la planta, un tiempo considerable, por encima de los 3-4 meses en casi todos los casos.

d) Las arcillas juegan un papel importante en la creación de una reserva de nutrientes, mantenidos en forma cambiante.

e) La migración de los elementos puede deberse, parcialmente, al desplazamiento de partículas Me-arcilla.

1. INTRODUCCION

Los problemas de deficiencias de micronutrientes que se presentan en la región de Murcia son inherentes a las características físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que estos suelos presentan. En efecto, el alto contenido de carbonato cálcico eleva el pH de la disolución de estos suelos de tal forma que se favorece la presencia de oligoelementos en formas no asimilables por las plantas.

El efecto del pH y potencial redox sobre la utilidad del manganeso ha sido puesto de manifiesto por un gran número de investigadores (De Groot, 1956; Erkama, 1950; Tisdale y Nelson, 1966), señalando que cualquier factor que influya sobre el potencial redox del suelo afectará a la valencia y a la actividad del manganeso. La retención de este elemento por las arcillas es una función del pH (Hemstock y Low, 1953). Asimismo, la adición de materia orgánica a suelos minerales ácidos aumenta el manganeso de cambio y fácilmente reducible (Cheng y Oullette, 1971; Christensen y col., 1950).

Según Jones y col., 1957, y Sharpless y col., 1969, sólo podrá esperarse una apreciable migración de cinc en suelos de baja capacidad de cambio catiónico.

Los minerales de la arcilla, óxidos hidratados de hierro y aluminio, carbonatos y materia orgánica del suelo parecen ser los factores impli-

cados en la fijación y/o precipitación del cinc añadido a los suelos (Reddy y Perkins, 1974; Stevenson y Ardakani, 1972; Udo y col., 1970).

Por otra parte sabemos que la forma en que se suministran los elementos a los suelos hace que sean más o menos estables y condiciona las interacciones que se producen entre ellos y los coloides orgánico e inorgánico. Esto ha sido estudiado recientemente por Kalbasi y colaboradores, 1978.

En este trabajo vamos a estudiar la dinámica física y química que los oligoelementos manganeso, cinc y hierro experimentan al ser adicionados a suelos de diferente textura.

Pero como también es conocida la influencia del coloide inorgánico en la disponibilidad de los elementos, dada su capacidad de retención e intercambio de cationes (Ellis y Knezek, 1972; Reddy y Perkins, 1974, 1976; Smith y Shoukry, 1968), se va a estudiar asimismo la interacción de tales elementos con los tipos de arcilla dominantes en estos suelos.

En las distintas experiencias de este trabajo hemos utilizado elementos marcados como trazadores con el fin de eliminar todas las interferencias que pudiera ocasionar la presencia de cada elemento en la muestra original, y por la ventaja que supone el empleo de radionúclidos al permitir la utilización directa de las muestras o de los extractos para realizar en ellas las determinaciones correspondientes por simples medidas de actividad.

2. DESCRIPCION DE LAS EXPERIENCIAS

2.1. DINÁMICA FÍSICA

La selección de los suelos para la realización de esta experiencia se realizó con el criterio de que fueran suelos calizos de distintas texturas representativas de las zonas citrícolas de la vega media del Segura (Murcia). Su análisis se muestra en la tabla 1.

TABLA 1

	S U E L O S		
	A	B	C
Arena gruesa, %	2,3	22,4	33,8
Arena fina, %	13,3	26,3	36,4
Limo, %	62,0	35,9	22,4
Arcilla, %	22,3	15,4	7,4
Textura	Franco-limo- sosa	Franca	Franco- arenosa

E.C.s, $\mu\text{mho} \cdot \text{cm}^{-1}$	226	463	165
pH (H ₂ O)	7,90	7,75	8,05
Carbonato cálcico total, %	48,6	42,0	52,5
Carbonato cálcico activo, %	14,26	12,22	5,53
Materia orgánica, %	1,55	1,88	1,14
Capacidad de cambio, me/100 g	11,2	11,8	3,8
<i>Cationes de cambio</i>			
Calcio, me/100 g	3,4	3,1	1,6
Magnesio, me/100 g	3,56	3,14	1,52
Potasio, me/100 g	0,56	0,67	0,47
Sodio, me/100 g	0,33	0,22	—
<i>Iones solubles</i>			
Cloruros, me/100 g	0,18	0,18	—
Calcio, me/100 g	0,36	0,47	0,31
Magnesio, me/100 g	0,25	0,47	0,17

Para determinar la migración de los distintos elementos en función de la textura de los suelos, se prepararon series de columnas de las tres muestras de suelo. A cada serie se le adicionó una disolución conteniendo el elemento en forma de cloruro. Antes de esta adición, las columnas se humedecieron por capilaridad ascendente. Después de la penetración de las disoluciones en las columnas, se le añadió a cada una la cantidad de agua correspondiente a su retención hídrica a 1/3 de atmósfera.

Con objeto de que la cantidad de agua de riego no fuese una variante en la migración de los oligoelementos en el suelo se hizo un ensayo preliminar de la retención de agua en el rango de 0 a 15 atmósferas. De este estudio se vio que los puntos generalmente aceptados de humedad equivalente, $pF = 2,7$, correspondían a los porcentajes de agua de 17,6, 15,0 y 11,4 % para los suelos A, B y C respectivamente, siendo esto un reflejo de sus diferentes texturas. Los valores utilizados se indican en la tabla 2.

TABLA 2

	S U E L O S		
	A	B	C
% de H ₂ O a 1/3 de atmósfera	32,3	25,8	18,9
Peso de columna	1.550 g	1.520 g	1.730 g
Cantidad de H ₂ O por riego	500 ml	392 ml	327 ml

Una vez terminado el drenaje del agua de riego, la mitad del número de columnas de cada una de las series se cortaron en cilindros de 1 cm de altura para analizar el elemento. A las restantes se les dio un segundo y después un tercer riego con igual cantidad de agua que el primero. Finalmente se cortaron de la misma forma y se analizó el elemento en cada centímetro.

De igual modo se analizaron las aguas de drenaje después de cada riego.

2.2. DINÁMICA QUÍMICA

2.2.1. Estudio de la migración

Con el fin de estudiar cómo influye en la migración de un elemento en el suelo la forma química en que éste se adiciona al mismo, se prepararon series de columnas de los mismos suelos a las que se adicionaron los elementos en estudio bajo forma de quelato (EDTA-Mn, EDTA, Zn, EDDHA-Fe).

Estas columnas se trataron de modo similar a las anteriores, y los análisis se efectuaron sólo después del tercer riego, ya que desde el primero se detectaba elemento en las aguas de drenaje, lo que ponía de manifiesto su migración a lo largo de toda la columna.

2.2.2. Estabilidad de los quelatos de Mn, Zn y Fe adicionados a suelos, en función del tiempo

Para investigar la influencia que la textura del suelo ejerce sobre la estabilidad de los quelatos ya estudiados en función del tiempo, se preparó con cada suelo una serie de 60 viales, conteniendo 5 g. Cada una de estas series se dividió en 3 lotes de 20, añadiéndoles 2 ml de una disolución marcada de EDTA-Mn, EDTA-Zn y EDDHA-Fe, respectivamente, a cada lote.

Los viales se humedecieron periódicamente con 2 ml de agua para mantener una humedad constante y a los días 1, 4, 14, 34, 55, 85, 124, 165, 215 y 277 de la adición de las disoluciones se tomaron dos viales por cada suelo y elemento para determinar en ellos la cantidad de éste que permanecía soluble mediante agitación con agua destilada, centrifugación y análisis del sobrenadante.

2.3. INTERACCIÓN ARCILLA-OLIGOELEMENTOS

Con objeto de investigar la influencia que el coloide inorgánico del suelo ejerce sobre la disponibilidad de los oligoelementos en estudio,

se han elegido dos muestras de arcilla, una íltica y otra montmorillonítica por ser las más abundantes en suelos de la región murciana (Fernández, 1972, y Ortiz, 1975).

Las arcillas se han utilizado en forma homoiónica para evitar las interferencias que pudieran ocasionar los cationes presentes. Para la homoionización se ha utilizado el tratamiento con resina ácida hasta que la suspensión de arcilla alcanzó un pH de 2,8.

2.3.1. Saturación de arcillas

Las muestras de arcilla se trataron con las disoluciones de los elementos en forma de cloruro llevadas a pH 2,8.

La operación de saturación se hizo por tratamientos sucesivos, repitiéndose éstos hasta que las concentraciones en los sobrenadantes se hicieron prácticamente constantes.

2.3.2. Intercambio de arcillas

Para estudiar la cambiabilidad del elemento retenido por la fracción arcilla se ha utilizado ClNH_4 1N llevado a pH 2,8 con ClH .

La operación se realizó según Wiklander y col. (1970) en continuo y analizando los líquidos extraídos a distintos intervalos de tiempo, prosiguiendo la operación hasta no detección del elemento en ellos.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. DINÁMICA FÍSICA

En las figuras 1, 2 y 3 se representa la migración sufrida respectivamente para el manganeso, cinc y hierro, en cada uno de los tres suelos después del primer y tercer riego, cuando el elemento ha sido adicionado en forma iónica.

La observación de los gráficos correspondientes al manganeso indica un comportamiento inicial análogo para los tres suelos. Casi todo el manganeso suministrado queda retenido entre los 1 y 3 centímetros superiores, con diferencias bien marcadas en las zonas entre 5 y 15 centímetros, en las que el suelo A presenta un decrecimiento casi uniforme, y el B y C, valores mucho más pequeños.

El tercer riego ocasiona un avance del frente del elemento que se puede cifrar entre 7 y 12 centímetros. Aún siendo los primeros centímetros los de mayor contenido en manganeso, hay una disminución

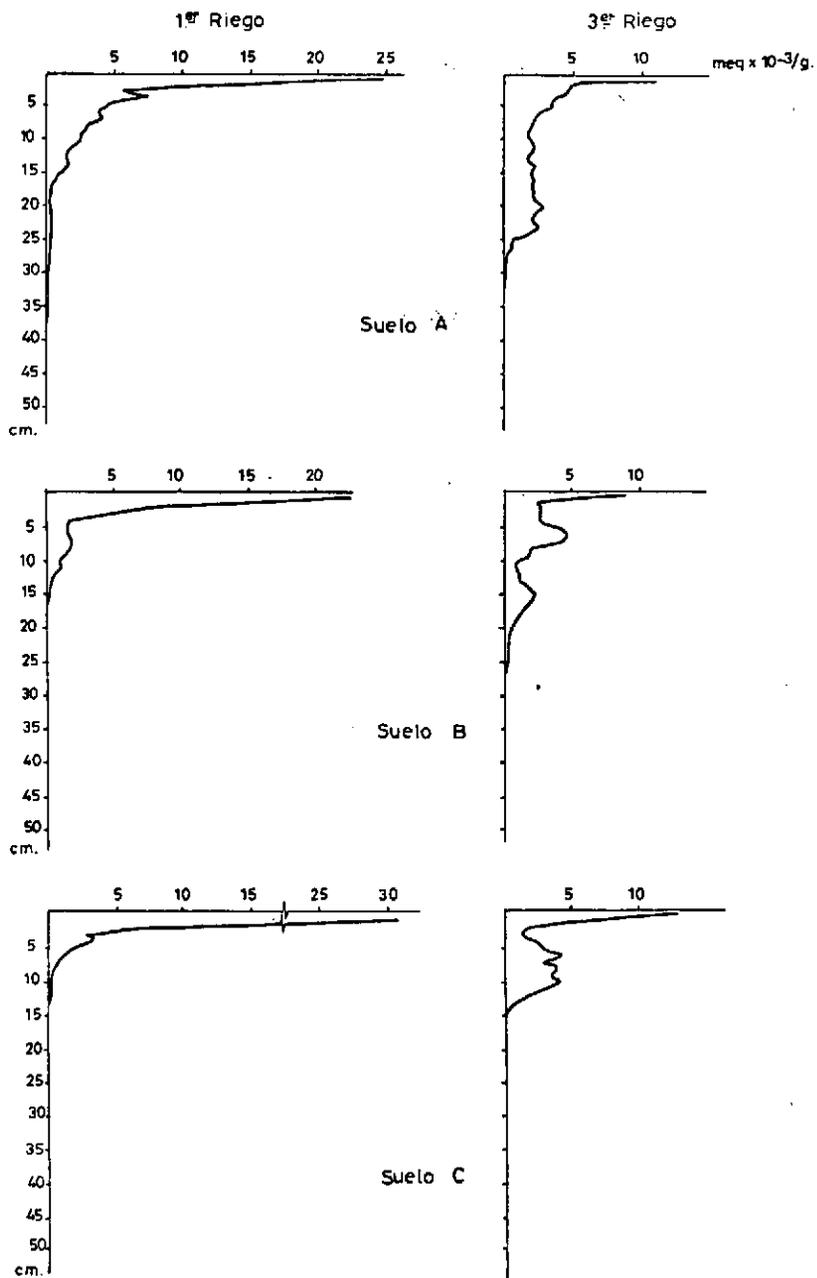


Fig. 1 - Migración de manganeso

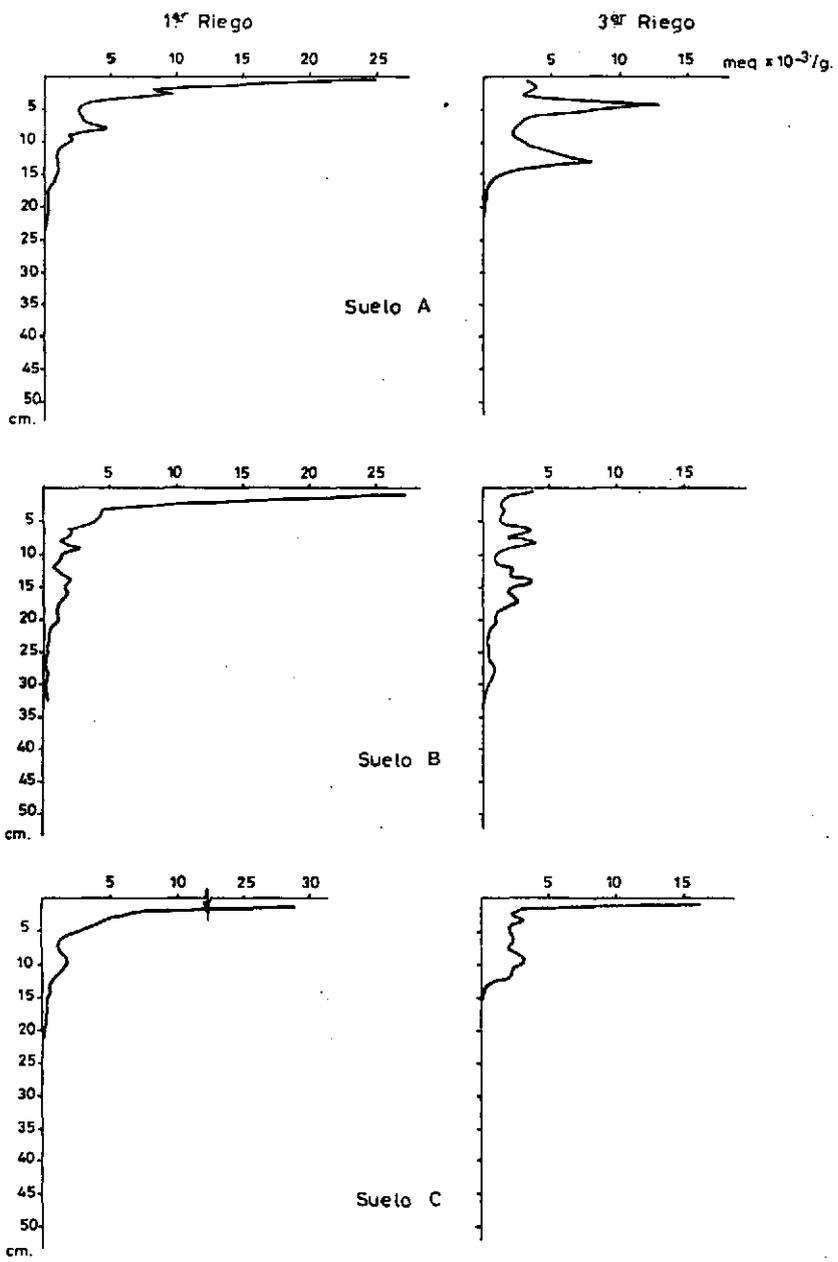


Fig. 2 .- Migración de cinc

importante en estos valores, y un aumento en la zona de 10 a 30 centímetros. Tanto para el primero como para el tercer riego, se puede dar el suelo C como el que ocasiona una mayor retención. Estos hechos concuerdan con los encontrados por Singh (1974).

Para el cinc se observa un comportamiento inicial análogo al del manganeso, pero con un pequeño aumento de penetración en los suelos B y C. Con respecto al tercer riego, no llega a producirse un aumento sensible en la penetración, pero sí vemos una redistribución del mismo signo que en el caso del manganeso.

La experiencia para el hierro da como resultados una retención en la capa superficial mucho más intensa que en los casos anteriores, sobre todo en los suelos B y C, en donde prácticamente todo el hierro se queda en el primer centímetro. Los efectos del tercer riego, en este caso, se observan tanto en el avance del elemento como en su distribución en el perfil, pero manteniéndose muy altos los valores de la capa superficial.

Aunque en principio se podía pensar que el suelo de textura más gruesa daría lugar a una mayor penetración de los elementos, no debe ocurrir de este modo en las condiciones experimentales empleadas, ya que adicionamos a cada suelo una cantidad de agua en función de sus respectivos valores de retención de agua a 1/3 de atmósfera. Según esto, si en el sistema planteado no existiese otro tipo de interacción entre el suelo y el ion, el frente de penetración debería ser idéntico para los tres suelos y los tres elementos. Al no ser así, hemos de pensar que otros factores tales como propiedades químicas del elemento, y aireación del suelo (capacidad de oxidación), condicionan el diferente comportamiento que hemos observado. Así podemos ver que el suelo C, de mayor porosidad, presenta una mayor retención superficial y que es el hierro el elemento más retenido.

Esta mayor retención en suelos de textura más gruesa se puso también de manifiesto en los estudios sobre migración de manganeso y cinc realizados por Singh (1974, I y II), quien llega a la conclusión de que la migración de estos elementos depende no sólo de la capacidad de cambio catiónica y contenido de arcilla de los suelos, sino de otros factores adicionales, tales como flujo de agua, pH, contenido inicial de elemento, migración de las fracciones finas del suelo y por las condiciones de oxidación reducción.

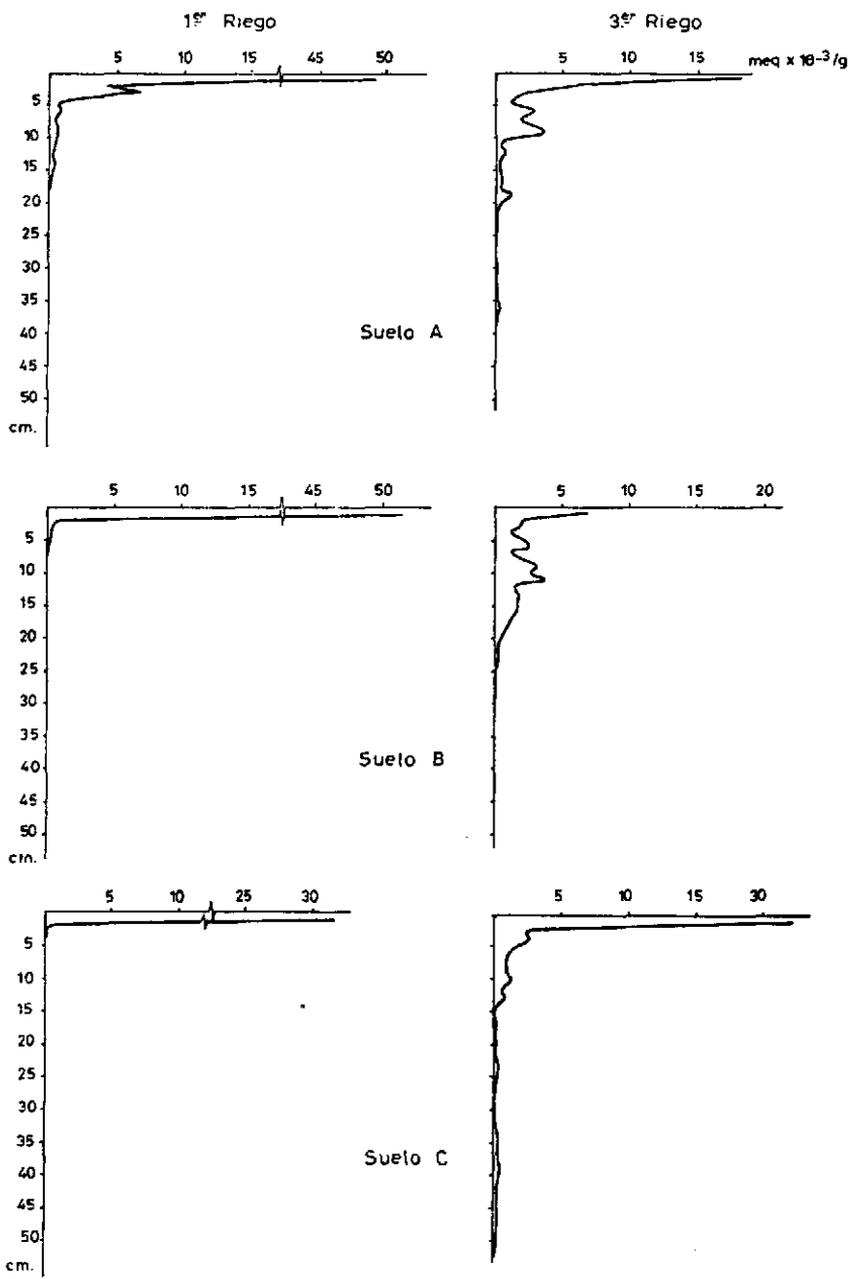


Fig. 3 - Migración de hierro



3.2. DINÁMICA QUÍMICA

3.2.1. Estudio de la migración

En la tabla 3 se dan los resultados de los elementos contenidos en las aguas de drenaje, para los tres riegos, y en la figura 4 la distribución de elemento en el perfil, después del tercer riego, cuando los elementos han sido adicionados bajo forma de quelatos.

TABLA 3
CANTIDAD DE ELEMENTO EN LAS AGUAS DE DRENAJE
EXPRESADO EN me/RIEGO

	Riego núm.	S U E L O S		
		A	B	C
EDTA-Mn	1	0,140	0,104	0,016
	2	0,021	0,066	0,076
	3	0,001	0,005	0,008
EDTA-Zn	1	0,293	0,107	0,027
	2	0,180	0,134	0,127
	3	0,085	0,074	0,031
EDDHA-Fe	1	0,407	0,850	0,009
	2	0,209	0,304	0,414
	3	0,102	0,033	0,038

Respecto al manganeso, se puede observar que en todos los suelos, desde el primer riego, las aguas de drenaje contienen elemento. Para los suelos A y B, la cantidad de manganeso drenada es la más alta en el primer riego, y decrece considerablemente en el segundo y más en el tercero hasta valores muy bajos. En cambio, en el suelo C, el primer riego aporta una cantidad no muy elevada de manganeso, que pasa a ser mucho mayor en el segundo, y que decrece en el tercero.

Similar comportamiento presentan el cinc y el hierro, con una variación menor entre los tres riegos, y con mayores cantidades de elemento en el último riego, para los suelos A y B.

La comparación de los tres elementos nos conduce a un orden claro y constante para los tres suelos, en relación con las cantidades totales drenadas. Este orden es $Mn < Zn < Fe$. En general, dicho orden se mantiene también entre cada uno de los riegos.

Este comportamiento está de acuerdo con los valores de las constantes de estabilidad de los quelatos utilizados, que se dan en la tabla 4.

TABLA 4

CONSTANTES DE QUELATOS E HIDROXIDO DE LOS ELEMENTOS

	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
Constantes de estabilidad { EDTA	14,5	17,2	—	11,5	9,6
log consts. estabilidad: { EDDHA	—	—	35,3	8,1	8,9
Productos de solubilidad de los hidróxidos	4×10^{-14}	1.8×10^{-14}	1.1×10^{-36}	—	—

La observación de la figura referente a la actividad en las columnas nos indica, respecto a las del manganeso, una distribución que alcanza todo el perfil, con una pequeña acumulación superficial, que decrece casi uniformemente en el suelo C, y con pequeñas acumulaciones entre los 15 y 35 cm para los suelos A y B.

Las columnas de cinc se comportan en forma similar, aunque con menor regularidad en el caso del suelo C.

Los gráficos correspondientes al hierro presentan algunas diferencias. En ninguno de los suelos hay acumulación superficial. De acuerdo con los datos de los drenajes, el suelo B retiene una menor cantidad de hierro en la columna. En cuanto a los otros suelos, el A retiene la mayor cantidad de elemento en el centro de la columna y el C al final de ella.

3.2.2. Estabilidad de los quelatos de Mn, Zn y Fe en función del tiempo

Los resultados correspondientes al estudio de la estabilidad de los quelatos en función del tiempo se muestran en la figura 5, en la que se dan en ordenadas los me/g de elemento que permanece en disolución y en abscisas los tiempos.

La cantidad de elemento extraíble es la más baja para el EDTA-Mn, ya desde el principio de la experiencia, especialmente en los suelos A y B, sufriendo en estos mismos suelos una caída brusca hasta los 55 días. En el suelo B la cantidad extraída a partir de esta fecha llegó a hacerse prácticamente nula, mientras que en el A continuó la disminución más lentamente hasta valores muy bajos al final de la experiencia. En el suelo C se observa un comportamiento similar, aunque muy atenuado, ya que al cabo de 277 días aún se extrae alrededor del 60 % del manganeso adicionado.

Los gráficos de cinc presentan un ligero decrecimiento en todo el tiempo de experiencia, pero muy pequeño en los tres suelos.

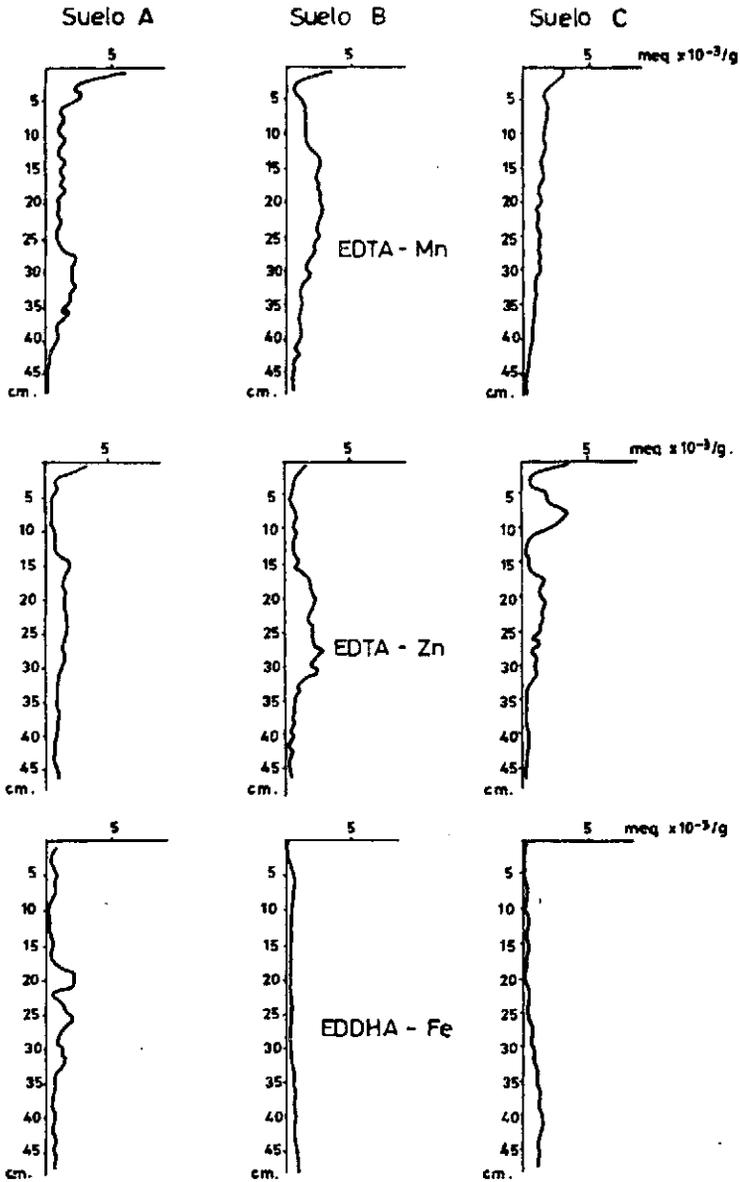


Fig. 4.- Migración de los quelatos de manganeso, cinc y hierro.

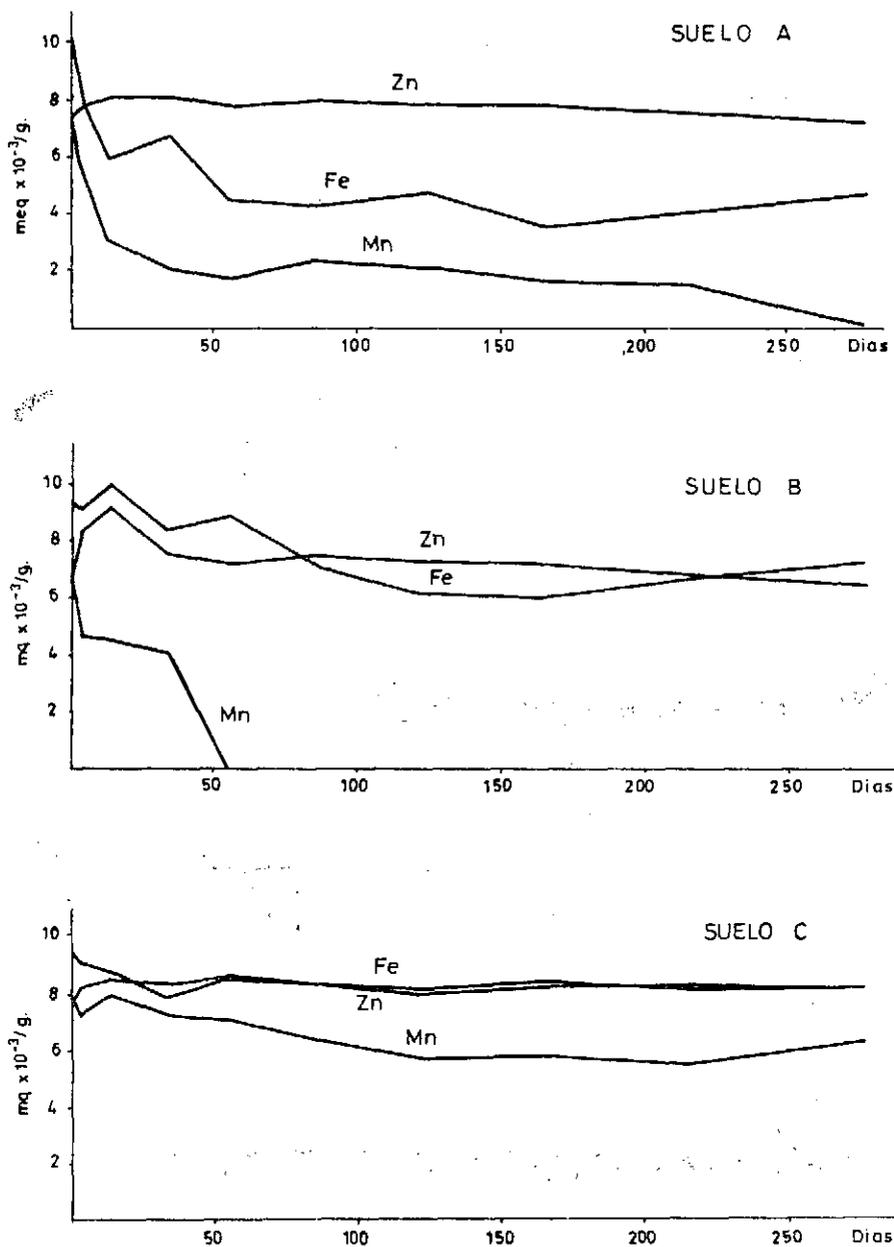


Fig. 5.- Estabilidad de los quelatos de manganeso, cinc y hierro

El hierro es el que presenta valores de extracción más altos al principio de la experiencia, para los tres suelos. En el suelo A se observa un decrecimiento brusco, aproximadamente hasta las mismas fechas que el manganeso, pero mantiene valores de extracción mucho más altos. En el suelo B el descenso es poco intenso, y a partir de los 85 días se mantiene constante hasta el final de la experiencia. En el suelo C apenas se puede detectar un ligero descenso al principio.

El hecho de que el hierro sea el más fácilmente extraíble al principio de la experiencia está relacionado con la más alta constante de estabilidad del EDDHA-Fe, en relación con las de los correspondientes quelatos de calcio y de magnesio, que son los competidores naturales en el suelo.

El comportamiento posterior, en el que el hierro desciende a valores intermedios, habría que buscarlo en el hecho del bajo valor del producto de solubilidad del hidróxido férrico. Es evidente que las cantidades de hierro que se liberan del quelato por la competencia del magnesio o del calcio quedan precipitadas como hidróxido en su casi totalidad.

El que el cinc sea el elemento que se mantiene menos afectado por las condiciones de los suelos a lo largo de la experiencia, lo podemos explicar por la mayor relación entre la constante de estabilidad del quelato y el producto de solubilidad del hidróxido, tabla 4.

El manganeso es el elemento que más fuertemente se afecta por las condiciones de los suelos. La explicación puede estar en que la constante de estabilidad del quelato es del orden de 1.000 veces menor que la del cinc, mientras que el producto de solubilidad del hidróxido es del mismo orden, tabla 4.

El diferente comportamiento de estos oligoelementos que se aprecia en los tres suelos hay que buscarlo en el conjunto de características de cada uno de éstos, tales como la concentración de iones divalentes solubles, como posibles competidores frente al quelato, los cationes de cambio divalentes, que intervendrían en el equilibrio más lentamente, y asimismo el contenido de los coloides mineral y orgánico, que coadyuvan a la fijación de los iones liberados, tabla 1. Este conjunto de acciones se observa muy acusado en el caso del manganeso, medianamente en el del hierro y casi nulo en el del cinc, de acuerdo con las constantes de los quelatos y de los hidróxidos, que hemos enunciado anteriormente.

3.3. INTERACCIÓN ARCILLA-OLIGOELEMENTOS

3.3.1. Saturación

El manganeso se comporta frente a los dos tipos de arcilla en estudio como un típico catión de cambio presentando una reacción más gradual la montmorillonita.

Los valores totales fijados han sido 26 me/100 g y 55 me/100 g, lo cual representa el 54 y 63 % de sus capacidades de cambio para la ilita y montmorillonita respectivamente.

En cada tratamiento hay una fracción constante de manganeso que precipita y por tanto no debe considerarse como cambiante.

Los datos correspondientes al estudio de saturación de arcillas con cinc ponen de manifiesto que este elemento se comporta también como un típico catión de cambio, siendo los valores totales fijados 17,2 me/100 g para la ilita y 67,5 me/100 g para la montmorillonita, lo cual representa el 35 y 78 % respectivamente de sus capacidades de cambio.

Es de resaltar el bajo porcentaje de saturación de la ilita, lo que nos lleva a pensar que no todos sus lugares de cambio son de fácil acceso para el catión cinc. Por el contrario, la montmorillonita ofrece un comportamiento gradual, no presentando una selectividad tan marcada en lo que se refiere a lugares de cambio.

Para la obtención de los resultados de la saturación de las arcillas con hierro se ha tenido en cuenta que éste se absorbe en la forma FeOH^{++} .

Igual que los elementos anteriormente estudiados, el hierro presenta una típica reacción de intercambio.

Teniendo en cuenta que una fracción considerable del hierro adsorbido está en forma distinta a la indicada como cambiante, hemos calculado que los valores totales de hierro cambiante quedarían fijados en 31 y 51 me/100 g para ilita y montmorillonita respectivamente. Valores que representan un grado de saturación de 64 y 57 % de su capacidad de cambio.

3.3.2. Intercambio

En el estudio del intercambio arcilla-Mn por NH_4^+ se observa que la ilita libera el Mn^{++} mucho más rápidamente que la montmorillonita. Esta última tiene un comportamiento más gradual y acorde con una reacción de intercambio, lo cual concuerda con los resultados que presentaba Dalal y Chatterjee (1970), en los que se puede observar una

mayor efectividad del NH_4^+ para desplazar Mn^{++} de la illita que de la montmorillonita.

En la experiencia con la montmorillonita se ha podido comprobar que las cantidades de Mn^{++} liberadas coinciden prácticamente con las fijadas en el proceso de saturación, lo cual de ninguna manera contraría la hipótesis de precipitación de $\text{Mn}(\text{OH})_2$, ya que evidentemente la disolución que hemos empleado puede tener acidez suficiente para solubilizar este supuesto $\text{Mn}(\text{OH})_2$.

En el caso del cinc, las cantidades de este elemento liberadas de las arcillas frente a NH_4^+ representan, respectivamente, para illita y montmorillonita el 95 y 91 % del cinc fijado en el proceso de saturación. Esto indica que alguna parte del cinc inicialmente retenido queda atrapado físicamente por las láminas de arcillas, estando esto de acuerdo con las opiniones de otros investigadores que lo han descrito para el potasio y con Sharpless, 1969, que señala que de 5 a 10 % del cinc añadido no se recobraba por extracción ni con acetato amónico ni con ClH 0,1N.

Con todas estas consideraciones podemos afirmar que el cinc se comporta como un típico catión de cambio en su interacción con la montmorillonita, mientras que frente a la illita parece que sólo una parte (aproximadamente 1/3) de los lugares de cambio son accesibles a los iones cinc, que a su vez quedan fijados en forma muy fácilmente cambiante.

Los valores que representan al hierro cambiado por el NH_4^+ en ambas arcillas son casi iguales a los adsorbidos como cambiables.

Es interesante anotar que ambas arcillas retienen una pequeña cantidad de hierro que ni aun con tratamiento ácido se desplaza, lo cual nos hace pensar en la posibilidad de que una parte del hierro fijado pase a ocupar lugares en el retículo de arcilla.

La tabla 5 expresa el resumen de los resultados de las experiencias de saturación e intercambio para los tres elementos y las dos arcillas.

Vemos que existe una fijación de manganeso, cinc y hierro frente a ambas arcillas, siendo ésta mayor y más gradual sobre la montmorillonita que sobre la illita, en todos los casos. Asimismo, se observa que ambas arcillas liberan frente a NH_4^+ casi todo el elemento fijado inicialmente, si bien una pequeña parte de éste queda atrapado por las láminas de la arcilla.

TABLA 5

	<i>Ilita</i>	<i>Montmorillonita</i>
Capacidad de cambio (me/100 g)	48	87
Manganeso:		
Retenido (me/100 g)	26	55
Saturación (%)	54	63
Liberado (me/100 g)	22,5	54
Liberado (% del retenido)	87	98
Cinc:		
Retenido (me/100 g)	17,2	67,5
Saturación (%)	35	78
Liberado (me/100 g)	16,3	61,7
Liberado (% del retenido)	95	91
Hierro:		
Retenido (me/100 g)	77	128
Cambiabile (me/100 g)	31	51
Saturación (%)	64	57
Liberado (me/100 g)	32	47
Liberado (% del cambiabile)	100	92

4. CONCLUSIONES

De todos los datos anteriormente expuestos podemos concretar que para corregir los fenómenos de deficiencias de los oligoelementos manganeso, cinc y hierro que se presentan en Murcia es importante tener en cuenta:

Que el elemento adicionado al suelo sufre interacciones por parte de los coloides orgánico e inorgánico, aparte de por la microflora.

Que cuando el tratamiento con estos elementos se hace en forma iónica experimenta una escasa penetración en el perfil del suelo, por lo que tal forma de adición no es adecuada para cultivos de raíces profundas.

Que la adición de quelatos se debe de hacer buscando compuestos que tengan una constante de estabilidad alta: EDTA, para manganeso y cinc, y EDDHA, para hierro.

Que estos compuestos mantienen, en el suelo, a los oligoelementos en forma disponible por las plantas un tiempo considerable, durante el cual éstas pueden asimilarlo.

Las diferencias encontradas entre los distintos tipos de suelo en estos comportamientos no son dignas de tenerse en cuenta. En cambio, sí conviene hacer notar que los quelatos de cinc y de hierro son más estables ante las condiciones adversas del suelo que lo es el de manganeso.

Por otra parte, del estudio realizado en la interacción de oligoelementos arcilla deducimos que éstas juegan un papel importante en la creación de una reserva de nutrientes, reteniéndolos en el complejo de cambio y manteniéndolos así a disposición de la planta.

También pensamos que parte de la migración que sufren los elementos en el suelo es debido al desplazamiento que experimentan las partículas Me-arcilla.

5. BIBLIOGRAFIA

- CHENG, B. T., and OULLETTE, G. J. (1971), «Effect of organic amendments on manganese Toxicity as measured by sand and soil culture studies», *Plant and Soil*, 34: 165-181.
- CHRISTENSEN, P. D.; TOTI, S. J., and BEAR, F. E. (1950), «The status of soil manganese as influenced by moisture, organic matter, and pH», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 15: 279-282.
- DALAL, R. C., and CHATTERJEE, R. K. (1970), «Release of manganese by various cations from manganese saturated clay minerals and soil clays. II, Soil Clays», *Agrochim.*, XV: 28-36.
- DE GROOT, A. J. (1956), «Influence of age and organic matter on the availability of manganese in marine and estuary soils», *VII Congr. Intern. Sci. Sol. Rapp. B.*, 531-539.
- ELLIS, B. G.; KNEZEK, B. D. (1972), «Absorption reaction of Micronutrients in soils "Micronutrients in agriculture"», Mortvedt, J. J.; Giordano, P. M.; Lindsay, W. L., Ed. *Soil Sci. Soc. Amer.*, Inc. Madison. Wisconsin, USA, 59-78.
- ERKAMA, J. (1950), «On the effect of copper and manganese on iron status of higher plants. In Trace Elements in Plant Physiology (Wallace, R., and Sirks, M. J., eds.), *Chronica Botanica Company*, Waltham, Mass., USA.
- FERNÁNDEZ, M. T. (1972), «Estudio mineralógico de los suelos de la Huerta de Murcia» (tesis doctoral), Universidad de Murcia.
- HEMSTOCK, G. A., and LOW, P. F. (1953), «Mechanisms responsible for retention of manganese in the colloidal fraction of soil», *Soil Sci.*, 76: 331-343.
- JONES, G. B.; RICEAN, A. S., and MCKENZIE, J. O. (1957), «The movement of cobalt and zinc in soils as indicated by radioisotopes», *Australian J. Agric. Research*, 8: 190-201.
- KALBASI, M.; RACZ, G. J., and LOEWEN-RUDGERS, L. A. (1978), «Reactions products and solubility of applied zinc compounds in some Manitoba soils», *Soil Sci.*, 125: 55-65.
- ORTIZ, R. (1975), «Mineralogía y génesis de los suelos del campo de Cartagena» (tesis doctoral), Universidad de Granada.
- REDDY, M. R., and PERKINS, M. F. (1974), «Fixation of zinc by clay minerals», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28: 229-230.
- REDDY, M. R., and PERKINS, H. F. (1976), «Fixation of manganese by clay minerals», *Soil Sci.*, 121: 21-24.
- SHARPLESS, R. G.; WALIHAN, E. F., and PETERSON, F. F. (1969), «Retention of zinc by some arid zone soils materials treated with zinc sulphate», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 901-904.
- SINGH, B. R. (I) (1974), «Migration of ions in soils. I. Movement of Zn⁶⁵ from surface application of zinc sulphate in soils columns», *Plant and Soil*, 41: 619-628.

- SINGH, B. R. (II) (1974), «Migration of ions in soils. II. Movement of Mn^{54} from surface application of manganese sulphate in soil columns», *Plant and Soil*, 41: 629-636.
- SMITH, R. L.; SHOUKRY, K. S. M. (1968), «Changes in the zinc distribution within three soils and zinc uptake by field beans caused by decomposing organic matter», *Isotopes and Radiation in soil organic matter studies*, 397-410.
- STEVENSON, F. J., and ARDAKANI, M. S. (1972), «Organic matter reactions involving micronutrients in soils», pp. 79-114. In «Micronutrients in agriculture», J. J. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (eds.), *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin.
- TISDALE, S. L., and NELSON, W. L. (1966), *Soil Fertility and Fertilizers*, 2nd Ed., The MacMillan Company, New York, USA.
- UDO, E. J.; BOHN, H. L., and TUCKER, T. C. (1970), «Zinc adsorption by calcareous soils», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34: 405-407.
- WIKLANDER, L., and GHOSH, S. K. (1970), «Continuous ion exchange I. Replacement of Mg and Ca in kaolin, illite and montmorillonite», *Acta. Agric. Scand.*, 20: 105-115.