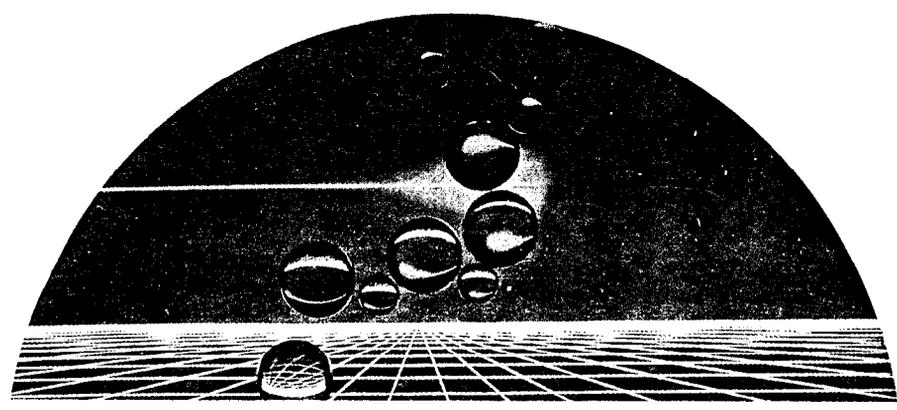


VII CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADO



CICLO DE SEMINARIOS



'COLOIDEOQUIMICA DE ARCILLAS MICACEAS'

Inmaculada **Lebron**
Donald L. **Suarez**
U. S. Salinity Laboratory
U.S.D.A. - ARS

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de la estabilidad del suelo es un factor importante en agricultura. Poca estabilidad en los agregados, dispersión de las arcillas y baja conductividad hidráulica son problemas que en suelos de regiones áridas están agravados por condiciones químicas tales como la acumulación de sales sodicas.

Las iniciales recomendaciones para el mantenimiento de una buena estructura en el suelo incluían concentraciones salinas y sodicidad (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954; Quirk and Schofield, 1955; Rhoades, 1982; Shainberg and Letey, 1984; Ayers and Westcot, 1985).

Estudios mas recientes han indicado que tales recomendaciones no son suficientes y que una aplicación indiscriminada puede provocar perdidas de estructura del suelo o utilización de enmendantes en exceso. Suarez et al. (1984) demostraron que el pH era un factor importante en la conductividad hidráulica y dispersión de los suelos. Mas recientemente Pratt and Suarez (1989) demostraron que en suelos áridos no era posible la utilización de una única relación entre conductividad eléctrica y sodicidad para la predicción de la estabilidad del suelo debido a la gran variabilidad entre tipos de suelos. Posteriormente Lebron and Suarez (1992a) demostraron que la variabilidad existe incluso dentro de un mismo tipo de suelo.

Un conocimiento mas profundo del estado de dispersión de los suelos puede ser proporcionado por un estudio a nivel coloidal de las partículas de arcilla. El potencial eléctrico alrededor de una partícula de arcilla es el denominado z-potencial (ζ). La definición de ζ es el potencial eléctrico en la doble capa en la superficie de contacto entre una partícula que se mueve en un campo eléctrico y el líquido que la rodea (van Olphen, 1977). El ζ puede ser considerado una propiedad fundamental de la partícula, ya que depende del numero de cargas eléctricas en la superficie, y esta influenciada por la concentración electrolítica, el sodio intercambiable y el pH. El parametro medido directamente es el denominado movilidad electroforetica (ME), de ME se puede obtener el valor de ζ a través de la ecuación de Smoluchwsky. La transformación de los valores de ME a ζ implica una serie de asunciones que en el caso de arcillas son simplificaciones del sistema real, por ejemplo se asume que la partícula es esférica y que no esta sometida a fuerzas de atracción o repulsión, sin embargo incluso cuando estos cálculos no son suficientemente precisos para una predicción cuantitativa, los resultados de ME todavía nos da una información cualitativa importante.

La ME ha sido utilizada por numerosos autores para explicar distintos aspectos de la coloidoquímica de las partículas de suelo. Bar-011 et al. (1979) utilizaron medidas de ME para determinar la distribución relativa de los iones de Ca y Na en interior y exterior de los cuasi-cristales de la bentonita Wyoming. Además ζ ha sido considerado un buen índice de la magnitud de las fuerzas repulsivas entre partículas coloidales (Hunter, 1981). Considerando que el potencial total entre dos partículas es el balance entre las fuerzas atractivas y repulsivas puede llegarse a una expresión en la que se relaciona ζ con la concentración electrolítica necesaria para producir la floculación de las partículas (Hunter, 1981). Sin embargo, esta relación está afectada por la presencia de la materia orgánica y actividad bacteriana, en sistemas naturales estos dos factores son omnipresentes, por lo tanto la utilización de expresiones teóricas tendrán que ser utilizadas con precaución y se recomienda la realización de ensayos específicos con el suelo a estudiar.

En el presente trabajo se presenta una interpretación de la coloidoquímica de arcillas micáceas a través de resultados de tests de dispersión en conjunto con medidas de ME y del tamaño de las asociaciones de las partículas de arcilla en suspensión. Este estudio está enfocado a un mejor entendimiento de los fenómenos de dispersión y por lo tanto a mejorar nuestra capacidad para mantener y predecir una buena estructura en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se han utilizado tres suelos micáceos y un mineral de arcilla de referencia. En la Tabla 1 se presentan la mineralogía y la composición granulométrica de los suelos en estudio. El suelo de la Cuenca del Ebro es un suelo alcalino, illítico y Xerico muestreado en el término Municipal de Ejea de los Caballeros. Ramona es un suelo fino margoso, mezclado, típico Haploxeralf término del Sur de California Clarence es un suelo fino, illítico, mésico Aquic Argiudoll de Illinois. La arcilla de referencia se obtuvo del Repositorio de materiales de arcilla de la Sociedad de Minerales de Arcilla (Columbia, MO). Las determinaciones granulométricas de los suelos fueron realizadas en un Sedigraph 5000 ET (Micromeritics, Norcross, GA). La extracción de los óxidos de hierro y aluminio fue realizada utilizando el método de Jackson et al. (1986), la concentración de los cationes fue determinada por espectrometría de emisión de acoplamiento de plasma inducido. Carbono orgánico e inorgánico fue determinado por coulometría (UIC Corp., Joliet, IL). Los datos analíticos para las

8 muestras de suelos de la Cuenca del Ebro, las 16 de Ramona y las 10 de Clarence están recogidos en la Tabla 2. La identificación mineralógica fue realizada en preparaciones de polvo no orientado por difracción de rayos X. La movilidad electroforética y el tamaño de las partículas de arcilla en suspensión fueron determinados por espectroscopia de correlación fotónica con un aparato Malvern **ZetaSizer**¹³ (Worcester, MA). Este modelo está equipado con un láser 5 mW He-Ne a una longitud de onda 633 nm y una célula de cuarzo AZ-4 de 4mm de diámetro para la medida de ME y distribución de tamaño de partículas a **90°**.

Soluciones

Las sales utilizadas para la preparación de las soluciones a distintas concentraciones salinas, SAR y pH fueron CaCl_2 , NaHCO_3 y NaCl . Se utilizó un programa de ordenador con las constantes de equilibrio de Suarez (1977) para calcular las actividades de Ca, HCO_3^- , nivel de saturación de calcita y presión parcial de CO_2 (P_{CO_2}) de las soluciones con input de pH y composición de la solución. Las soluciones fueron preparadas con agua desionizada libre de CO_2 inicialmente, CO_2 fue utilizado para ajustar el pH de las soluciones.

Test de dispersión

Se **calculó** la cantidad de suelo necesaria para tener una suspensión de arcilla del 1% para cada uno de los suelos. Las suspensiones fueron preparadas con agua desionizada, tras ser sometidas a ultrasonidos durante 10s a 50 W, fueron agitadas durante 30 min en un agitador mecánico. Siete ml de cada solución preparada como se ha indicado en el apartado anterior fueron pipeteados en una cubeta de 10 ml del espectrofotómetro y 0.5 mM de la suspensión del suelo 1% en arcilla fueron añadidos. La suspensión final fue agitada y la transmitancia fue medida después de tres horas (Goldberg and Glaubig, 1987), la longitud de onda elegida en nuestro caso fue 650 nm. El valor de la concentración crítica de coagulación elegido en el presente estudio, puesto que es un valor arbitrario, fue el valor de la concentración electrolítica necesaria para flocular el 80% de las partículas en

suspensión, Después de medir las transmitancias, la conductividad eléctrica y el pH fueron también medidos en cada cubeta. La reproducibilidad del método fue evaluado por duplicación de series de experimentos para cada suelo. El error standard de la media fue del 1.06% en transmitancia.

Movilidad Electroforetica y Espectroscopia de Correlación Fotónica

La preparación de las muestras para el estudio de la ME fue el siguiente: se lavaron los suelos tres veces con agua destilada para la eliminación de sales y se procedió a la extracción de la fracción de arcilla por el método de sedimentación. Se prepararon suspensiones 0.5 g L⁻¹ con la fracción de arcilla (<2 μm) en soluciones de concentración salina 2,4,6, 8 y 10 mmol L⁻¹; SAR³ 2, 6, 10, 15 y 40 (mmol L⁻¹)^{0.5} y pH 5.0, 7.0 y 9.0, en total 75 suspensiones diferentes.

RESULTADOS

Test de Dispersión

Los valores medios de la CCC para cada tipo de suelo a pH 6.0,7.5 y 9.0 están representados en las Figs. 1, 2, y 3 para las 8 muestras del suelo de la Cuenca del Ebro, las 16 de Ramona y las 10 de Clarence. Estas líneas representan la línea umbral entre floculado y disperso. Las líneas obtenidas para la media de los valores de CCC, como puede observarse, con muy diferentes para cada suelo siendo el suelo de la Cuenca del Ebro el menos estable y Clarence el mas estable.

El efecto de pH en la dispersión de las arcillas fue mas evidente cuando el SAR>20 en el caso de Ramona y Clarence y 40 para el de la Cuenca del Ebro. Para el suelo de la Cuenca del Ebro, CCC aumentó cuando aumentó el SAR hasta SAR 40 pero no hay diferencias significativas entre pH 7.5 y 9.0. Por encima de SAR 40, CCC siguió aumentando con SAR creciente pero aumentó mas rápidamente cuando el pH=9 en comparación con pH=7.5 Un comportamiento similar fue encontrado para Ramona y Clarence. Esto indica un efecto interactivo del SAR con el pH como ha sido indicado anteriormente por Lebron y Suárez (1992b).

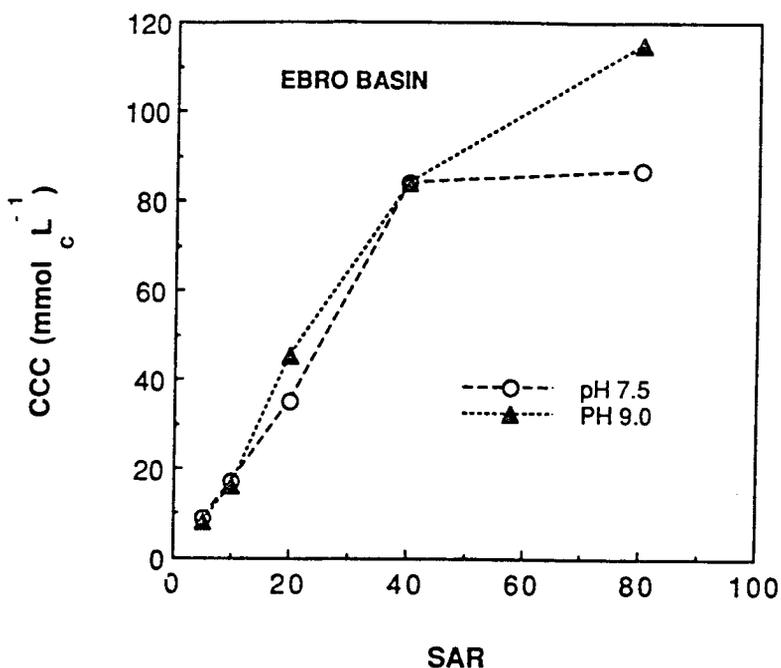


Figura 1.- Valores medios de la concentración crítica de coagulación (CCC) de las ocho muestras del suelo de la Cuenca del Ebro en función del SAR y pH. Errores standard están indicados.

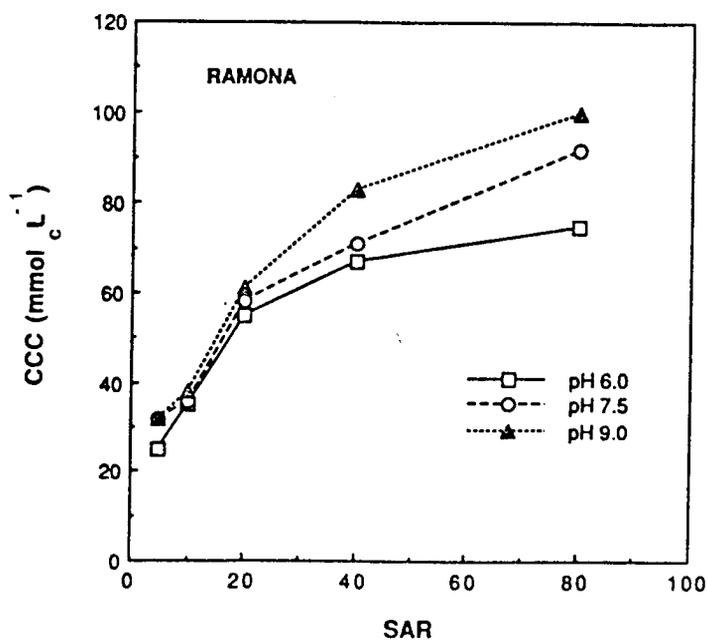


Figura 2.- Valores medios de la concentración crítica de coagulación (CCC) de las dieciséis muestras del suelo Ramona en función del SAR y pH. Errores standard están indicados.

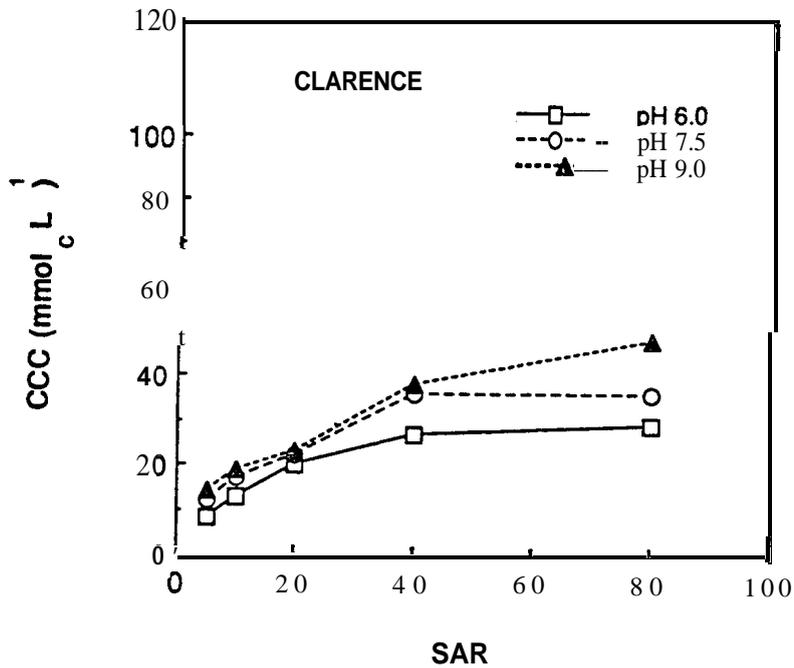


Figura 3.- Valores medios de la concentración crítica de coagulación (CCC) de las diez muestras del suelo Clarence en función del SAR y pH. Errores standard están indicados.

Determinación del **Tamaño** de Partículas por Espectroscopia de Correlación Fotónica

El tamaño de partícula en suspensión de Silver Hill illita fue medido a distintos niveles de SAR. El objetivo era determinar la influencia de la composición iónica en la formación de dominios en arcillas micáceas. El efecto de la concentración electrolítica y del pH en el tamaño de partícula fueron también determinados. Los resultados están recogidos en la Fig. 4.

Cuando el SAR aumenta, el tamaño de partícula disminuye drásticamente como muestra la Fig. 4. La ruptura de la asociación entre las partículas illíticas o dominios ocurre en el rango de SAR 10 a 15. Este valor es muy similar al encontrado por Bar-On et al. (1970) para los cuasi-cristales de montmorillonita

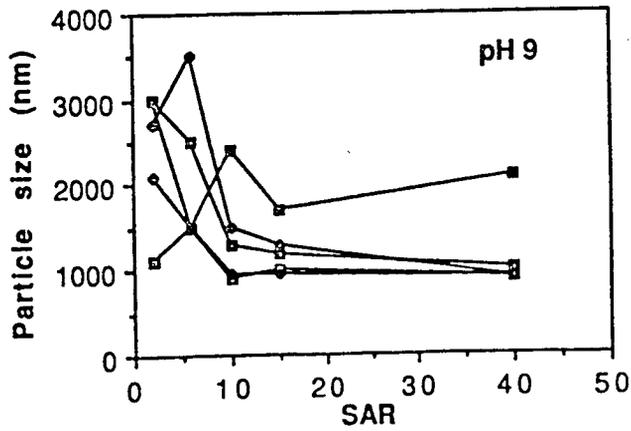
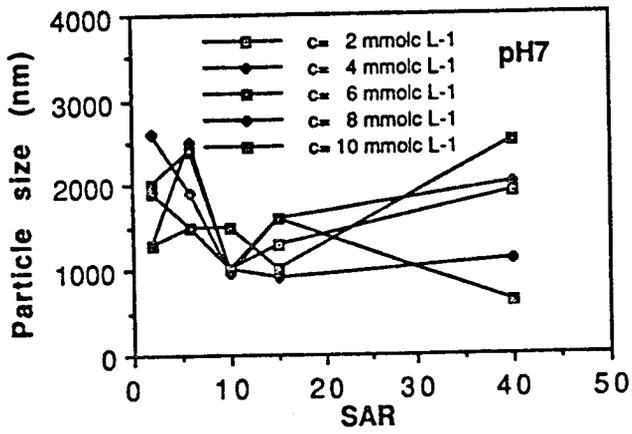
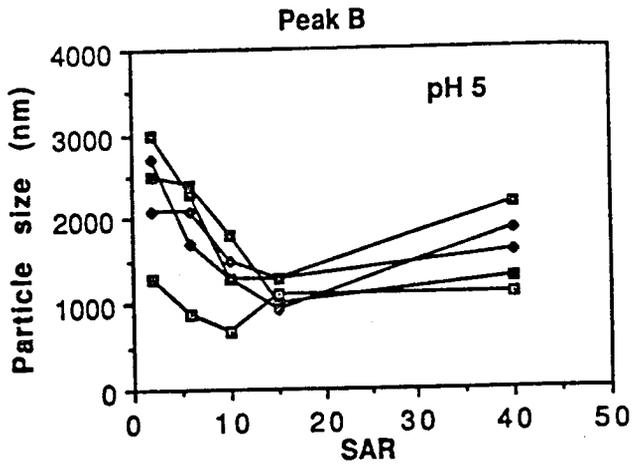


Figura 4.- Cambios en el tamaño de partícula de los dominios de Silver Hill Ilita con SAR, concentración salina y pH.

Movilidad Electroforetica

Cambios en el pH afecta las cargas variables de los sistemas coloidales. Los datos de las Figs. 5 y 6 muestran que el efecto del pH en la ME depende de la concentración electrolítica y del SAR para el suelo de la Cuenca del Ebro y Ramona, representaciones similares fueron halladas para Clarence y el mineral de referencia Silver Hill. Las Figs. 5 y 6 indican un aumento en la ME cuando SAR aumenta pero el efecto de pH no fue evidente a bajas concentraciones ($2 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$) y bajos SAR (SAR=5). Conforme la concentración electrolítica y el SAR aumentan las diferencias en ME también aumentaron.

Un estudio mas detallado en el rango de SAR 0-40 fue realizado con el mineral de referencia Silver Hill. La Fig. 7 muestra los cambios de ME de Silver Hill illita en relación con cambios en SAR, pH y concentración salina. La movilidad aumenta cuando SAR aumenta de 2 a 10 a todos los niveles de concentración salina estudiada y en este rango es casi independiente del pH Cuando el SAR aumenta de 15 a 40, las partículas actúan de forma muy diferente dependiendo del pH del medio, en este rango el efecto de la concentración salina apenas afectó la movilidad.

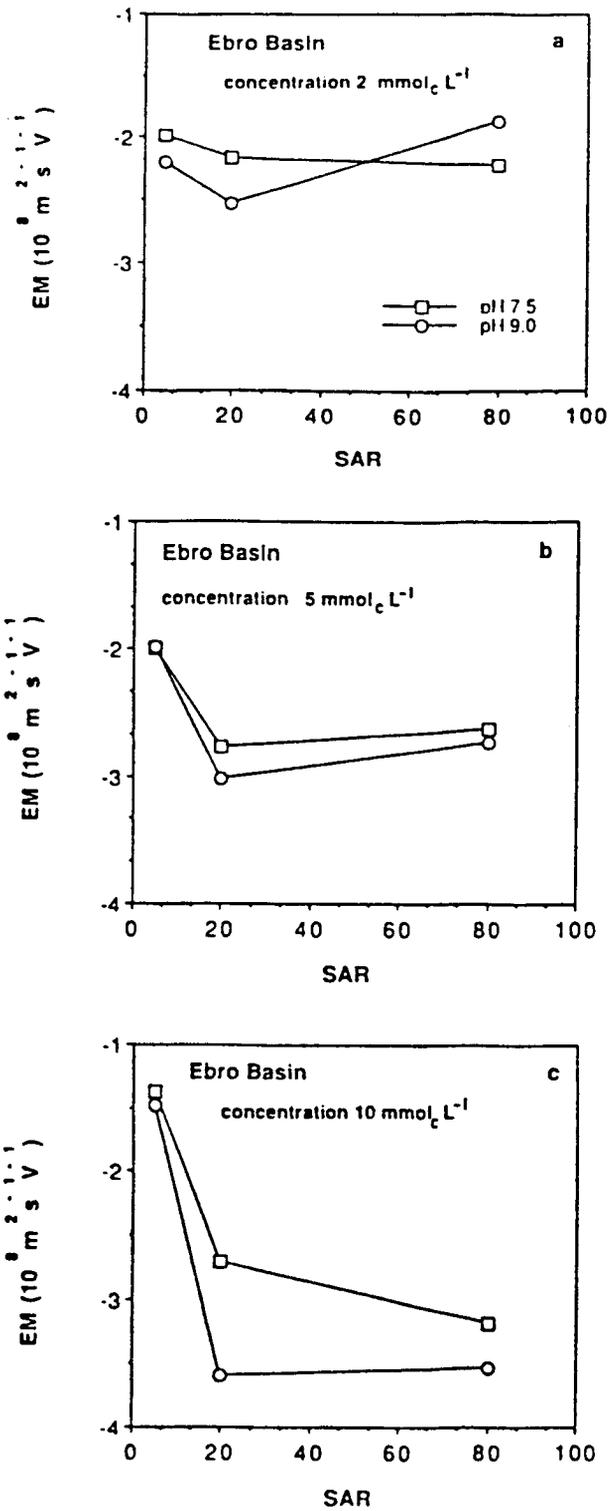


Figura 5.- Movilidad electroforética en relación con SAR, pH y concentración salina para la arcilla del suelo de la Cuenca del Ebro.

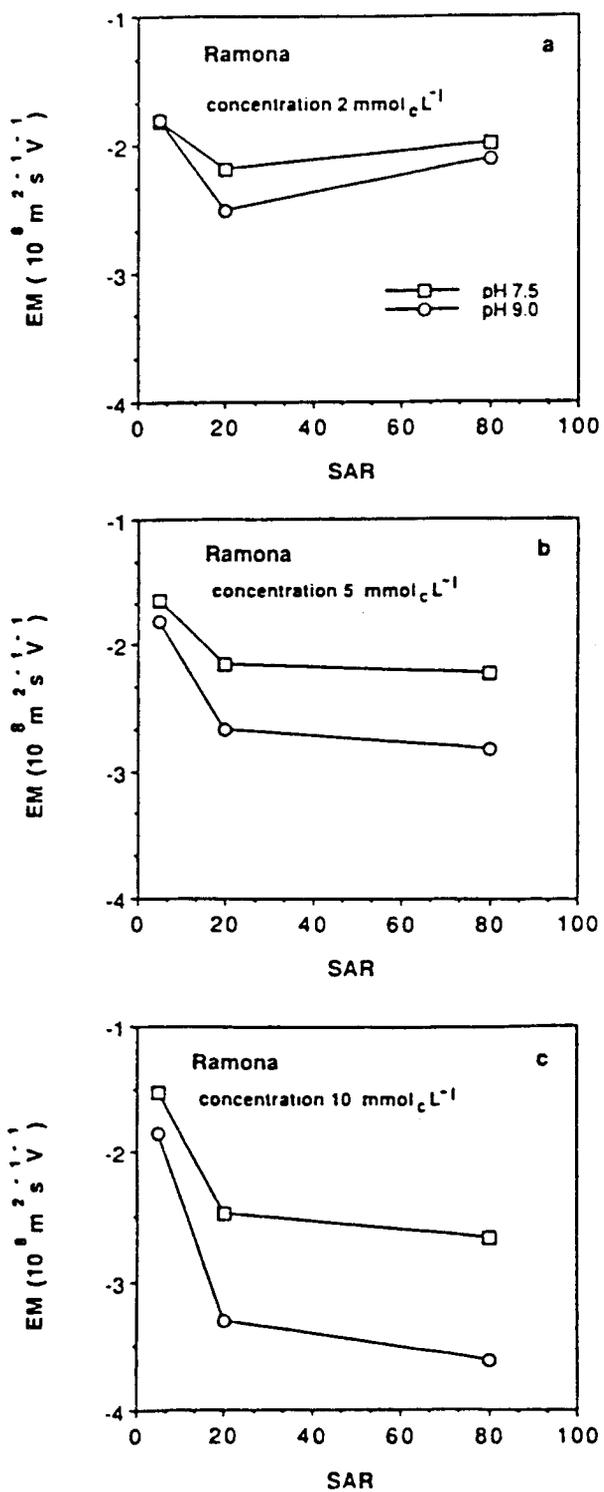


Figura 6.- Movilidad electroforética en relación con SAR, pH y concentración salina para la arcilla del suelo Ramona.

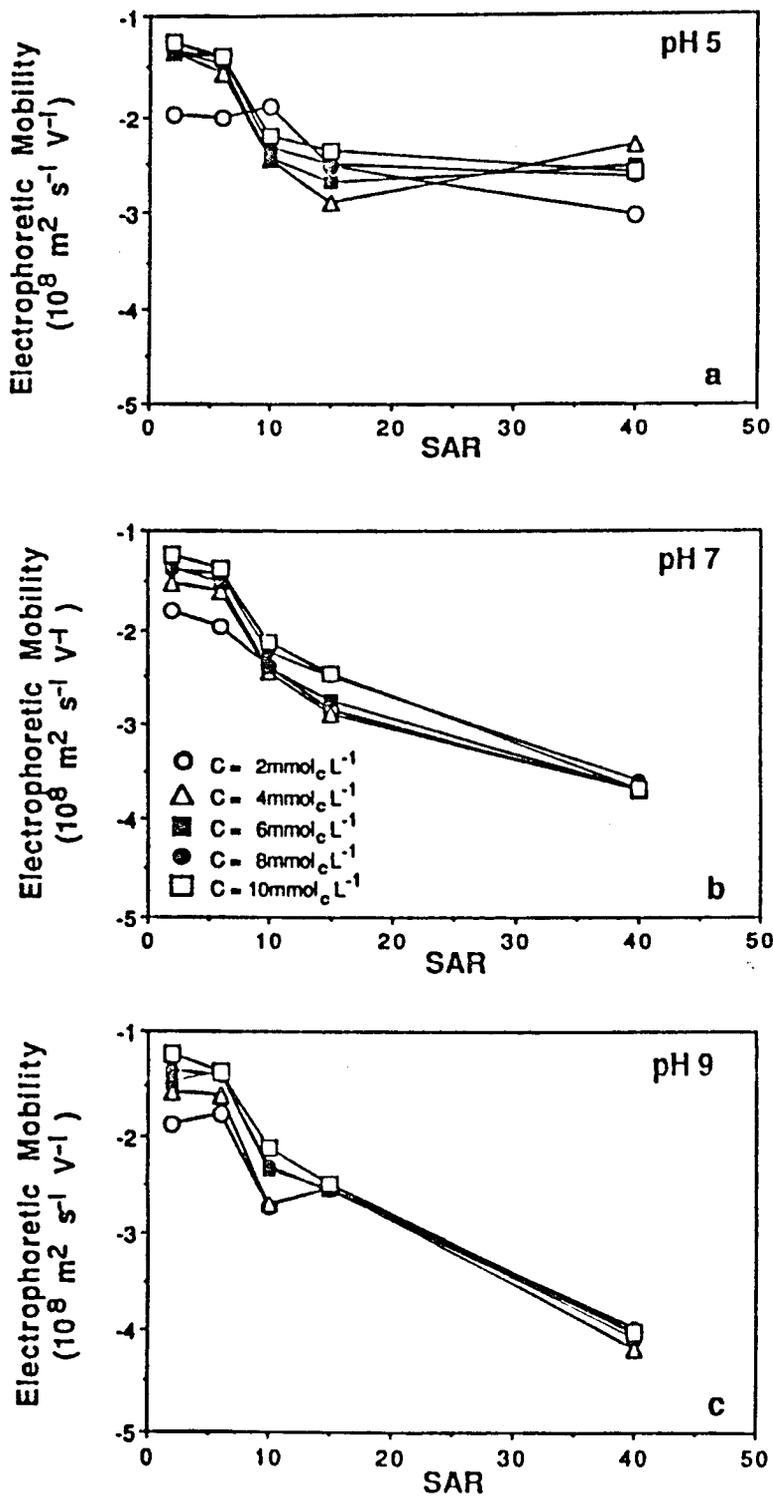


Figura 7.- Movilidad electroforética en relación con SAR, pH y concentración salina para la Silver Hill Iilita.

DISCUSIÓN

Test de **Dispersión**

Cambios en pH de 6.0 a 9,0 produjeron generalmente un cambio en CCC Comparable al producido por un aumento en el SAR de 20 a 80 (Figs. 1,2 y 3). Esta sensibilidad de CCC al pH es comparable a la observada por Suárez et al. (1984). Los suelos Ramona y Cuenca del Ebro mostraron un fuerte efecto del SAR en CCC. El contenido en mica para todos los suelos fue >90% de fracción de arcilla Cuenca del Ebro y Clarence contienen mica dioctaédrica, mientras que Ramona es una mezcla de di y trioctaédrica. De estos datos podemos deducir que la mineralogía de arcilla por si sola no puede explicar el distinto comportamiento frente a la dispersión demostrada por estos suelos.

El suelo de la Cuenca del Ebro demostró ser mas inestable que los otros suelos que no son calcáreos. Estas diferencias se deben atribuir probablemente a otros factores distintos del hecho de que el suelo tiene CaCO_3 . Nuestras observaciones están basadas en soluciones en equilibrio con calcita, lo que significa que no se produjo disolución o precipitación de Ca o HCO_3 que alterase el SAR o el pH de los experimentos.

Como se ha indicado anteriormente el poder dispersante de pH se puso de manifiesto cuando el SAR superó un valor situado alrededor de 20. La explicación de este efecto cooperativo entre el SAR y el pH puede estar relacionado con el agrupamiento de la partícula coloidales (dominios) en suspensión y de la distribución de los cationes en dichos dominios. Para corroborar este punto se procedió a la medida del tamaño de partículas en suspensiones de diferentes SAR y pH Asimismo se procedió a la medida de la movilidad electroforetica de las partículas en estas mismas suspensiones.

Tamaño de los Dominios de Illita

Los resultados obtenidos del tamaño de partícula para Silver Hill Illita en suspensión a distinta concentración salina, SAR y pH indican la presencia de dominios bajo ciertas circunstancias. Las partículas de illita apenas forman dominios cuando la concentración salina es baja. Esta observación puede estar relacionada con el efecto “spillover” o de apantallamiento (Secor and Radke, 1985). Según esta teoría, a bajas concentraciones salinas, las fuerzas electrostáticas negativas provenientes de las caras está muy expandida cubriendo la región de los bordes. En estas condiciones la partícula exhibe cargas negativas en todos los puntos a su alrededor y los enlaces cara-borde no están favorecidos. Además, enlaces cara-cara a bajas concentraciones salinas no son probables porque las fuerzas atractivas de van der Waals decrecen exponencialmente con la distancia mientras que las repulsivas se extienden a mayores distancias (van Olphen, 1977).

Como muestra la Fig. 4 incrementos en SAR de 2 a 15 produjeron una reducción importante en el tamaño de las partículas, por encima de SAR 15 no se produjeron cambios sustanciales del tamaño de las partículas en suspensión, el hecho de que el pH no afectó el tamaño de las partículas cuando SAR > 15 parece indicar presencia de partículas individuales.

La ruptura de las asociaciones de partículas o dominios coincide con el valor de SAR encontrado a través del test de dispersión a partir del cual el pH comienza a ser un factor importante en el estado de dispersión de las arcillas, ver apartado anterior.

Movilidad Electroforetica

La distribución de los iones de Ca y Na en el dominio de las arcillas afecta el potencial eléctrico en la interfase entre la partícula y la solución. A través de medidas de ME podemos obtener información acerca de la distribución de estos iones en el dominio. De las Figs. 5, 6 y 7 se puede observar un rápido aumento en la ME de las partículas cuando el SAR aumenta en el rango de 2 a 15, el pH no tuvo un efecto apreciable en este rango de SAR, a partir de SAR 15 la ME no cambió cuando el pH=5 pero siguió aumentando cuando el pH aumentó a 7 y 9 (Fig. 7).

La interpretación del rápido incremento de la ME de las partículas cuando el SAR tiene valores entre 2 y 15 viene dada por el efecto de absorción selectiva de los cationes en el dominio o “demixing

effect". Este efecto fue observado por Bar-On et al. (1970) para arcillas montmorilloníticas, según esta teoría los iones Ca tienen preferencia para ubicarse entre las partículas de arcilla en el interior del cuasi-cristal mientras que los iones Na lo hacen en la superficie externa. Cuando se aumenta el SAR, un aumento de Na en el sistema produce un aumento de cationes Na en el plano exterior de cuasi-cristal aumentando su ME muy rápidamente. Una vez que todas las posiciones externas están saturadas con iones Na, incrementos de SAR provocan sustituciones del Ca del interior del cuasi-cristal por Na. Las repulsiones entre partículas debido a la presencia del sodio provocan eventualmente la ruptura de cuasi-cristal a un nivel de sodio que corresponde tanto en el caso de montmorillonitas como de illitas con $SAR \approx 15$. En estas circunstancias, $SAR \approx 15$, es cuando se ha detectado la disminución del tamaño de partículas y cuando se ha puesto de manifiesto el efecto del pH en la dispersión (ver apartados anteriores).

La ME en el rango de SAR 15-40 no cambió el pH=5. Sin embargo, la ME mostró un incremento considerable, en el mismo rango de SAR, cuando el pH=7.0 y cuando el pH=9.0. Si asumimos que a $SAR > 15$ tenemos predominantemente partículas individuales, y si consideramos que el pH no afectó la ME de las partículas a SAR=45, podemos concluir que las partículas individuales son más sensibles que los dominios a los cambios de pH. Esta observación está posiblemente relacionada con la ordenación de las partículas en el dominio. Opuestamente a la ordenación paralela de las láminas de montmorillonita en los cuasi-cristales, las partículas de illita se agrupan en una forma menos ordenada y por lo tanto las cargas en la superficie externa están compuestas de un mayor número de cargas permanentes (Fig. 8) (Lebron et al., 1993).

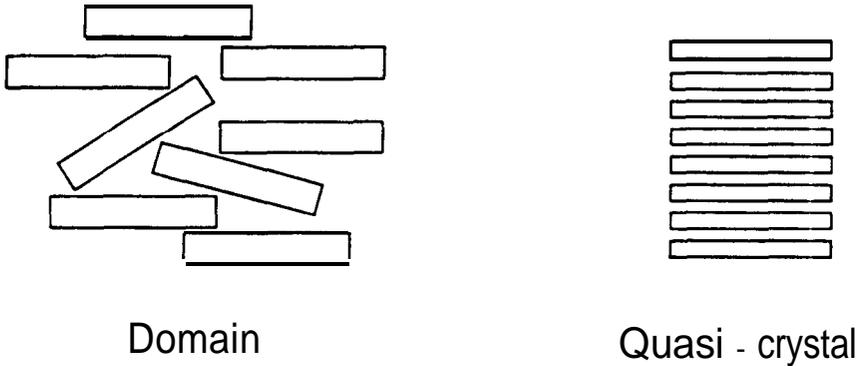


Figura 8.- Representación hipotética de los dominios de mica y los cuasi-cristales de montmorillonita basada en medidas de espectroscopia de correlación fotónica.

CONCLUSIONES

El pH no tuvo un efecto significativo en el estado de dispersión de arcillas illíticas cuando $SAR < 15$, a partir de este valor, el pH es un parametro decisivo para definir el estado de floculación o dispersión en arcillas micaceas.

El tamaño de las partículas en suspensión sufrió un drástico descenso cuando el SAR aumentó de 5 a 10. Un efecto de ubicación selectiva de los cationes en los dominios de illita ha sido determinado a través de datos de movilidad electroforética al igual que para los tactoides de montmorillonita.

No se ha encontrado efecto de pH en la ME de arcillas micaceas cuando $SAR < 15$. Cuando $SAR > 15$ el pH aumenta la ME por un factor de 2. La importancia relativa de las cargas variables en las partículas individuales es mayor que cuando están asociadas en dominios.

BIBLIOGRAFÍA

- AYERS, RS., and WESCOTT, 1985. Water quality for agriculture. Irrig. Drain. Pap. n° 29. FAO, Rome.
- BAR-ON, P.I. SHAINBERG, and I. MICHAELI. 1970. The electrophoretic mobility of Na/Ca montmorillonite particles. J. Colloid Interface Sci. 33:471-472.
- GOLBERG, S. and RA GLAUBIG, 1987. Effects of saturating cation, pH, and aluminium and iron oxide on the flocculation of kaolinite and montmorillonite. Clays Clay Miner, 3X20-227.
- JACKSON, ML., CM. LIM, and L.W. ZELAZNY. 1986. oxides, Hydroxides, and aluminosilicates, p. 101-150. In A Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monogr. 9 ASA and SSSA, Madison, WI.
- LEBRON, I., and D.L. SUAREZ 1992a. Electrophoretic mobility of illite and micaceous soil clays. Soil Sci. Soc. Am J. 56:1106-1115.
- LEBRON, I., and D.L. SUAREZ. 1992b. Variations in soil stability within and among soil types. Soil Sci. Soc. Am J. 56:1412-1421.
- LEBRON, I., D.L. SUAREZ, C. AMRHEIN. and J.E. STRONG. 1993. Size of mica domains and distribution of the adsorbed Na-Ca ions. Clays and Clay Minerals. 41:380-388.
- PRATT, P.F., and D.L. SUAREZ. 1989. Irrigation water quality assessment. p. 220-230. In K.K. Tanji (ed.), Agricultural Salinity Assessment and Management American Society of Civil Engineers, New York, N. Y.
- QUIRK, J.P. and RK SCHOFIELD. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. J. Soil Sci. 6:163-178.

- RHOADES, J.D. 1982. Reclamation and management of salt-affected soil after drainage. Proc. of the First Annual Western Provincial Conf on Rationalization of Water and Soil Res. and Management. Lethbridge, Alberta, Canada, Nov. 27-Dec. 2, pp. 123-197.
- SECOR, RB. and CJ. RADKE. 1985. Spillover of the diffuse double layer on montmorillonite particles. J. Colloid Interface Sci. 103:237-224.
- SHINBERG, I., and J. LETEY. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 52:1-57.
- SUAREZ, D. L. 1977. Ion activity products of calcium carbonate in waters below the rootzone. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:310-315.
- SUAREZ, D.L., J. D. RHOADES, R LAVADO, and CM GRIEVE. 1984. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:50-55.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agric. Handbook 60. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- VAN OLPHEN, M 1977. An introduction to clay colloid chemistry. 2nd. ed. Wiley New York, N.Y.

Tabla 1.- Composición y mineralogía de los suelos

Suelo	Distribución del tamaño de partículas			Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Materia Orgánica	CaO ₃	Mineralogía
	arcilla	limo	arena					
	<2µm	50-2µm	>50µm					
	←----- g Kg ⁻¹ ----->							
Ebro Basin	257	692	51	19	4	1	400	Mica dioctahedral
Romana	231	222	547	8	1	1	none	Mica di+trioctahedral
Clarence	680	265	55	18	3	3	none	Mica dioctahedral

Tabla 2.- Caracterización de los suelos

Suelo	Profundidad cm	Distribución del tamaño de partículas			Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C _{orgánico}	CaCO ₃
		arcilla(<2 μm)	limo(2-50 μm)	arena(>50 μm)				
		kg kg ⁻¹			g kg ⁻¹			
Suelo Barrio Basin								
1	0-30	0.257	0.692	0.051	19.4	3.8	1.3	406
5	0-30	0.406	0.517	0.077	18.8	4.4	4.2	387
10	0-30	0.305	0.648	0.047	20.9	4.2	4.1	395
12	0-30	0.285	0.668	0.047	19.9	4.5	3.4	385
17	0-30	0.388	0.590	0.022	23.6	4.5	3.9	331
18	0-30	0.172	0.711	0.117	15.9	3.5	3.9	363
19	0-30	0.308	0.647	0.044	20.6	4.3	3.9	349
2532	0-30	0.631	0.360	0.047	25.5	7.0	1.6	320
Media		0.344	0.604	0.057	20.6	4.5	3.3	367

Tabla 2.- Caracterización de los suelos. Continuación.

Suelo	Profundidad cm	Distribución del tamaño de partículas			Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C _{orgánico}	CaCO ₃
		arcilla(<2 μm)	limo(2-50 μm)	arena(>50 μm)				
		kg kg ⁻¹			g kg ⁻¹			
Suelo Ramona								
1A	0-20	0.148	0.313	0.540	7.5	0.8	12.1	ninguno
1B	20-40	0.231	0.222	0.548	8.0	0.9	4.2	ninguno
2A	0-20	0.126	0.214	0.660	6.8	0.7	6.8	ninguno
2B	20-40	0.141	0.262	0.596	8.0	0.8	4.3	ninguno
3A	0-20	0.088	0.214	0.698	4.9	0.7	8.7	ninguno
3B	20-40	0.125	0.153	0.722	5.8	0.8	2.0	ninguno
4A	0-20	0.158	0.146	0.696	9.0	0.9	2.0	ninguno
4B	20-40	0.152	0.147	0.701	9.2	0.8	1.2	ninguno
5A	0-20	0.186	0.228	0.586	8.9	0.8	4.3	ninguno
5B	20-40	0.199	0.325	0.476	10.7	1.0	2.1	ninguno
6	0-20	0.180	0.248	0.573	10.8	0.9	2.3	ninguno
7A	0-20	0.183	0.112	0.704	5.9	0.6	4.2	ninguno
7B	20-40	0.159	0.195	0.646	6.3	0.7	3.5	ninguno
8A	0-20	0.175	0.273	0.552	9.0	0.9	17.0	ninguno
8B	20-40	0.155	0.287	0.558	8.1	0.7	11.4	ninguno
9	0-20	0.204	0.260	0.536	10.6	0.9	1.8	ninguno
Media		0.163	0.225	0.612	8.09	0.8	5.5	

Tabla 2.- Caracterización de los suelos. Caracterización.

Suelo	Profundidad cm	Distribución del tamaño de partículas			Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C _{orgánico}	CaCO ₃
		arcilla(<2 μm)	limo(2-50 μm)	arena(>50 μm)				
		kg kg ⁻¹			g kg ⁻¹			
Suelo Clarence								
1	66-109	0.735	0.207	0.058	20.2	3.0	4.5	ninguno
2	50-79	0.689	0.242	0.069	15.5	2.3	3.3	ninguno
3	41-76	0.660	0.296	0.044	16.2	2.2	3.0	ninguno
4	33-66	0.796	0.187	0.017	13.8	2.5	3.4	ninguno
5	25-51	0.762	0.215	0.023	15.7	3.1	5.3	ninguno
6	41-61	0.635	0.285	0.080	22.5	3.8	4.7	ninguno
7	56-91	0.618	0.348	0.034	17.1	2.8	3.2	ninguno
8	41-61	0.750	0.237	0.013	13.7	2.7	3.5	ninguno
9	41-69	0.680	0.265	0.055	17.6	3.3	3.0	ninguno
10	41-66	0.678	0.264	0.057	18.6	3.5	1.1	ninguno
Media		0.700	0.255	0.045	17.1	2.9	3.5	