

EFFECTO DE LOS COMPONENTES DE LA SALINIDAD EN LA DISPERSIÓN DEL SUELO GLEY NODULAR FERRUGINOSO

Lázara Otero, Luis Rivero, Juan Miguel Pérez, Tania La Guardia

Instituto de Suelos, Cuba

INTRODUCCION

La dispersión tiene una alta dependencia con el contenido y composición arcillosa, la riqueza orgánica, los iones adsorbidos y solubles, que determinan la coagulación o la defloculación de las partículas fundamentales, además se corresponde con la estabilidad hídrica de los agregados del suelo (Otero 1993). En el caso de suelos afectados por salinidad, la relación entre la presión que ejerce el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) respecto a la concentración de la solución externa, determina las dimensiones de la doble capa eléctrica de los coloides, responsable de la floculación estable o de la dispersión de los suelos y de su permeabilidad a partir de un umbral de concentración de electrolitos disueltos (Quirck 2003). El PSI y la concentración de electrolitos (C) de la solución, juegan un significativo papel en la determinación de las propiedades físicas; entre éstas la respuesta a la dispersión y sellado de la arcilla del suelo, aunque hay estudios referente a los efectos de la sodicidad sobre la estabilidad de los agregados que han mostrado resultados inconsistentes (Levy *et al.* 2003). El objetivo de este trabajo fue determinar el papel diferenciado de los componentes de la salinidad sobre la dispersión o floculación de un suelo Gley Nodular Ferruginoso (Gleysol petrogléyico), con cultivo de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante los años 1997 al 2001, en la empresa de semilla de arroz "Corojal", situada en el municipio Artemisa, entre las coordenadas 22° 37' - 22° 40' de latitud Norte y 82° 45' - 82° 50' de longitud Oeste, en la llanura Sur Habana - Pinar del Río, en el Occidente de la República de Cuba. Las precipitaciones medias de la época de primavera y frío durante los años de estudio fueron 1129,2 y 331,4 mm respectivamente y las temperaturas promedios en las estaciones de primavera y frío fueron 26,7 y 22,9°C, respectivamente.

El suelo es un Gleysol petrogléyico (IUSS 2007), desarrollado a partir de sedimentos binarios con un horizonte superior de textura ligera, sustentado por una capa arcillosa subyacente, el cual presenta propiedades gléyicas a menos de 50 cm de profundidad, acompañadas de un horizonte nodular ferruginoso.

Se analizaron 49 muestras adquiridas en el momento de las cosechas de los campos de arroz, en dieciocho puntos representativos, muestreados cada 20 cm, hasta los 60 cm de profundidad, cuya caracterización general fue publicada por Otero *et al.* 2006a. Acorde a dicha información, la capacidad de intercambio catiónico media del suelo está en el rango 22,26 – 25,56 cmol (+).kg⁻¹, que la evalúa como mediana, el contenido orgánico medio de la capa 0 – 20 cm es 2,61 +/- 0,81 %, que valora al suelo de bajo a mediano contenido de materia orgánica y la textura media es limo arcillosa (Ministerio de la Agricultura 1984). La salinidad global (Otero *et al.* 2011) de las muestras en la capa de 0 – 60 cm, reporta como débilmente salinos y ligeramente sódicos al 6,25%, medianamente salino y ligeramente sódicos el 25%, medianamente salinos y medianamente sódicos el 12,5%, salinos y ligeramente sódicos el 18,75%, salinos y medianamente sódicos el 31,25% y al 6,25% como fuertemente salinos y sódicos.

Conjuntamente, la salinidad específica (Otero *et al.* 2011) define once categorizaciones de comportamientos, predominando el fuerte riesgo de sodicidad, con diferentes gradaciones de salinización.

Fue determinada la influencia cuantitativa del % Na⁺ (PSI), conductividad eléctrica, fuerza iónica total (It) y fuerza iónica libre (II), sobre la dispersión de los suelos en diferentes intervalos de conductividad eléctrica y de la relación $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$ del total de los iones solubles, mediante ecuaciones lineales de regresión múltiple entre las propiedades. Los niveles de conductividad eléctrica considerados fueron: 1 - 2 dS.m⁻¹, 2,01 - 4 dS.m⁻¹ y 4,01 - 6 dS.m⁻¹, mientras que las gradaciones analizadas de $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$ total estuvieron comprendidas de 1 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0,5}, > 7 (mmol.L⁻¹)^{0,5}, 2 - 4 (mmol.L⁻¹)^{0,5}, 4,01- 6 (mmol.L⁻¹)^{0,5}, 1 - 3 (mmol.L⁻¹)^{0,5}, 3,01 - 5 (mmol.L⁻¹)^{0,5} y 5,01-7 (mmol.L⁻¹)^{0,5}.

Las fuerzas iónicas total y libre (It e II), especies iónicas e indicadores de la evaluación de la salinidad específica se obtuvieron del procesamiento de los cationes e iones solubles obtenidos en la relación suelo: agua 1:5 a través del software "Calc Con de II e IP" (Otero *et al.* 2006 b).

El Na⁺ cambiante se determinó por el método Schatchabell (Instituto de Normalización 2000), la textura y la microestructura por Kachinsky (Kaurichev *et al.* 1984), el coeficiente de dispersión (Kd) por la relación porcentual entre las partículas < 0,002 mm obtenidas en la determinación de la microestructura y la textura respectivamente, la materia orgánica por Walkey Black (Jackson 1964) y el pH por potenciometría (Instituto de Normalización 1999). La conductividad eléctrica (CE) fue obtenida en la relación suelo: agua 1:5 (Jackson 1964), esta fue transformada a conductividad eléctrica en el extracto de saturación por coeficiente propio para ese suelo.

La composición arcillosa predominante fue comprobada mediante el cálculo matemático del intercambio específico de las fracciones adsorbentes del suelo (Otero *et al.* 2006a). El criterio de evaluación de la constante de dispersión (Kd) de los suelos, fue el citado por Rivero (1985). Los estadígrafos de tendencia central de las propiedades evaluadas en las muestras en los intervalos de CE y de $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$ aparecen en los Cuadros 1 y 2, respectivamente.

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de la constante de dispersión del suelo Gleysol petrogléyico y los indicadores de salinidad considerados por los rangos de conductividad eléctrica.

Propiedad	Rangos dS.m ⁻¹	Media	Desviación estándar	Error estándar	Número de Muestras
% dispersión (Kd)	1 – 2	45,58	13,39	4,46	9
	2,01 – 4	36,25	10,96	2,19	25
	4,01 – 6	40,64	12,16	3,37	13
% de Na ⁺ inter-cambiable (PSI)	1 – 2	4,4	1,54	0,51	9
	2,01 – 4	7,33	2,63	0,53	25
	4,01 – 6	9,21	1,99	0,55	13
Fuerza iónica total (It) mol.L ⁻¹	1 – 2	0,0038	0,0016	0,0005	9
	2,01 – 4	0,0036	0,0021	0,0004	25
	4,01 – 6	0,0055	0,0026	0,0007	13
Fuerza iónica libre (II) mol.L ⁻¹	1 – 2	0,0033	0,0011	0,0008	9
	2,01 – 4	0,0034	0,0019	0,0009	25
	4,01 – 6	0,0052	0,0025	0,0007	13
Conductividad eléctrica (CE) dS.m ⁻¹	1 – 2	1,78	0,19	0,06	9
	2,01 – 4	3,09	0,68	0,13	25
	4,01 – 6	4,51	0,43	0,12	13

Iones libres (%)	1 – 2	99,16	0,29	0,096	9
	2,01 – 4	99,44	0,40	0,08	25
	4,01 – 6	99,44	0,40	0,11	13
Iones pares (%)	1 – 2	0,84	0,29	0,096	9
	2,01 – 4	0,56	0,40	0,08	25
	4,01 – 6	0,56	0,40	0,11	13

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de la constante de dispersión y los componentes de salinidad del suelo Gleysol petrogléyico en los intervalos de $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$ estudiados.

Rangos de $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$	Propiedad	Media	Desviación estándar	Error estándar	N	Propiedad	Media	Desviación estándar	Error estándar
2 – 4	% de dispersión (Kd)	39,89	8,59	1,92	20	Fuerza iónica libre (II) $mol.L^{-1}$	0,0038	0,0017	0,0009
4,01 – 6		39,91	13,58	3,20	18		0,0046	0,0025	0,0005
1 – 3		38,79	12,97	3,35	15		0,0032	0,0018	0,0005
3,01 – 5		44,17	10,69	2,39	20		0,0048	0,0019	0,0004
5,01 – 7		32,17	11,56	4,09	8		0,0035	0,0024	0,0008
2 – 4		% de Na^+ intercambiable (PSI)	6,17	2,46	0,55		20	Conductividad eléctrica (CE) $dS.m^{-1}$	2,31
4,01 – 6	8,51		2,15	0,51	18	3,99	0,61		0,14
1 – 3	4,85		2,69	0,69	15	2,35	0,68		0,18
3,01 – 5	7,87		1,91	0,43	20	3,27	1,10		0,24
5,01 – 7	9,35		1,53	0,54	8	4,15	0,52		0,18
2 – 4	Fuerza iónica total (It) $mol.L^{-1}$		0,0041	0,0018	0,0004	20	$aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$ $(mol.L^{-1})^{0,5}$		2,83
4,01 – 6		0,0049	0,0026	0,0006	18	4,95		0,53	0,13
1 – 3		0,0035	0,0020	0,0005	15	2,35		0,42	0,11
3,01 – 5		0,0052	0,0019	0,0004	20	4,11		0,71	0,16
5,01 – 7		0,0032	0,0027	0,0009	8	5,86		0,60	0,21

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo estudiado presenta como promedio mediana dispersión, con valores particulares de alta dispersión (39,19+/- 11,83), dado por el efecto combinado de varios factores como contenido de materia orgánica, composición arcillosa e iones. A nivel poblacional, se pierde el aporte de los indicadores globales de salinización y sodicidad (% Na⁺ y CE) a la dispersión del suelo (Otero et al. 2012).

Influencia del estado de los electrolitos solubles y el Na⁺ intercambiable sobre la dispersión del suelo en rangos de la conductividad eléctrica.

Algunas de las ecuaciones obtenidas son presentadas a continuación:

$$\begin{aligned} & \text{C E} = 1 - 2 \text{ dS.m}^{-1} \\ \text{Kd} &= - 3,9438\% \text{ Na}^+ + 8612,2961 \text{ It} + 34,6069 \\ \text{R}^2 &= 0,52^{**} \quad (3) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{C E} = 2,01 - 4 \text{ dS.m}^{-1} \\ \text{Kd} &= 0,5135\% \text{ Na}^+ + 4078,9542 \text{ It} + 17,6776 \\ \text{R}^2 &= 0,66^{***} \quad (5) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{C E} = 4,01 - 6 \text{ dS.m}^{-1} \\ \text{Kd} &= 0,3358\% \text{ Na}^+ + 4562,7065 \text{ It} + 18,2396 \\ \text{R}^2 &= 0,66^{***} \quad (6) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{C E} = 4,01 - 6 \text{ dS.m}^{-1} \\ \text{Kd} &= -1,7121\% \text{ Na}^+ + 4171,1640 \text{ It} + 33,5643 \\ \text{R}^2 &= 0,64^{***} \quad (7) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{C E} = 4,01 - 6 \text{ dS.m}^{-1} \\ \text{Kd} &= -1,7443\% \text{ Na}^+ + 4295,1687 \text{ It} + 34,3381 \\ \text{R}^2 &= 0,61^{***} \quad (8) \end{aligned}$$

Leyenda 0,10^{***} 0,05^{**} 0,01^{***} significación

Las ecuaciones de ajustes entre la constante de dispersión (Kd), % Na⁺, conductividad eléctrica y fuerzas iónicas total y libre de la disolución 1:5, en los rangos de C E 1 - 2, 2,01 - 4 y 4,01 - 6 dS.m⁻¹, mostraron que la fuerza iónica del total de los iones tiende a favorecer la dispersión, mientras que la fuerza iónica de los iones totalmente disociados, la incrementa.

La mayor dispersión del suelo ocurre dentro del intervalo de Conductividad eléctrica 1- 2 dS.m⁻¹, a pesar de la tendencia presentada por la conductividad eléctrica, de compensar el efecto dispersivo del sodio cambiante en este intervalo. En el intervalo de CE 2,01 - 4 dS.m⁻¹, el % Na⁺ actúa a favor de la dispersión del suelo, representando la aportada por el Na⁺ el 6,79%, si se obvia la presencia del apareamiento de los iones y el 10,39% si se considera la fuerza iónica aportada por todas las especies iónicas presentes en la solución del suelo.

Bajo las condiciones de estudio, es en este intervalo de conductividad eléctrica (CE), en el que se puede alcanzar la concentración crítica de coagulación para mejorar las condiciones físicas e hidro físicas del suelo (Madero *et al.* 2008).

En el rango de CE = 4,01- 6 dS.m⁻¹, es más evidente el efecto de los iones solubles sobre la dispersión del suelo, dada la influencia de la composición iónica específica y del incremento de la concentración de iones solubles, por lo que la influencia de los iones sobre esta propiedad, se explica a través del efecto de concentración con el aumento de la salinización en el deterioro de otros factores que actúan a favor de la degradación y en contra de la preservación de la estabilidad del suelo.

Influencia del estado de los electrolitos solubles y el Na⁺ intercambiable sobre la dispersión del suelo en rangos de aNa⁺.(aCa²⁺)^{0,5}

Se verificó acción dispersante del sodio, combinado con la fuerza iónica total en niveles de aNa⁺.(aCa²⁺)^{0,5} t de 2 - 4 (mmol.L⁻¹)^{0,5} 4,01 - 6 (mmol.L⁻¹)^{0,5} y 5,01 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0,5}, por lo que en estos intervalos, el efecto de ambas propiedades, es añadida en contra de la

coagulación del medio. En los dos primeros intervalos es indiscutible la influencia del sodio a favor del grosor de la doble capa difusa, respecto a la acción del contenido total de todos los electrolitos (Cuadro 4). Con el aumento de las relaciones $aNa^+ \cdot (aCa^{2+})^{-0,5}$, aumenta la contribución dispersiva del Na^+ cambiante al suelo (Figura 1), se obtiene el mayor aporte de esta base adsorbida en el rango de 5,01 - 7 ($mmol \cdot L^{-1}$)^{0,5}, que coincide con tener las menores fuerzas iónicas, por la prevalencia de las mayores concentraciones en iones sodio, que por ser monovalentes, las cargas aportan menos a esta propiedad, lo cual revela la importancia no solo del contenido total de los electrolitos, sino también de la composición cualitativa. Se obtuvo en el rango $aNa^+ \cdot (aCa^{2+})^{-0,5}$ total 5,01 - 7 ($mmol \cdot L^{-1}$)^{0,5}, que la correlación entre el PSI y la constante de dispersión del suelo fue de 0,82 ($p = 0,05$).

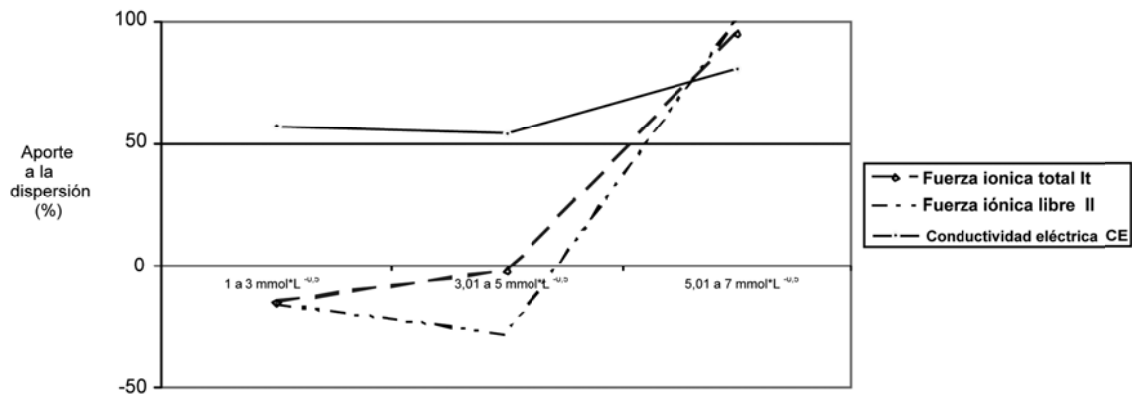


Figura 1. Comportamiento del efecto dispersivo del % Na^+ del suelo Gleysol petrogléyico a niveles de $aNa^+ \cdot (aCa^{2+})^{-0,5}$, acorde a las ecuaciones en que intervienen I_t , I_f y la CE.

Empresa de semilla de arroz "Corojal", Artemisa, Cuba.

El aporte relativo de los factores no considerados a la dispersión del suelo, aumentó con la disminución de la relación de actividades $aNa^+ \cdot (aCa^{2+})^{-0,5}$, contrario a la contribución del Na^+ cambiante (Otero et al 2012). Por este análisis, también la manifestación del Na^+ intercambiable en la dispersión de los suelos, coincide en el rango de conductividad eléctrica entre 2 y 4 $dS \cdot m^{-1}$ (Cuadro 1), como se vio en el análisis efectuado por los intervalos de conductividad eléctrica, en el cual existe menor influencia de otros factores ajenos a la salinidad, sobre la dispersión del suelo.

Los resultados generales recomiendan mantener las concentraciones de electrolitos dentro de la relación de actividad $aNa^+ \cdot (aCa^{2+})^{-0,5}$ entre 1 - 3 ($mmol \cdot L^{-1}$)^{0,5} y la conductividad eléctrica entre 2 - 4 $dS \cdot m^{-1}$ para lograr minimizar la dispersión del suelo, lo cual debe lograrse mediante la introducción de iones calcio con las prácticas de manejo.

REFERENCIAS

- Instituto de Normalización. Norma cubana: Calidad del suelo. Determinación de pH (NC ISO 103 90: 1999). Ciudad de la Habana, Cuba. 7 p. 1999.
- Instituto de Normalización. Norma cubana: Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo (NC 65: 2000). Ciudad de la Habana, Cuba. 9 p. 2000.
- IUSS (Grupo de trabajo WRB). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre recursos mundiales de suelos No 103. FAO. Roma. 117 p. 2007.
- Jackson, ML. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 662 p. 1964.
- Kaurichev, I; Panov, N; Stratonovich, M; Grechim, I; Savich, V; Ganzhara, N; Mershin, A. Prácticas de Edafología. MIR, Moscú, 279 p. 1984.
- Levy, GJ; Mamedov, AI; Goldstein, D. Sodcity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils 1. Soil Science 168(8):552-562. 2003.

Madero, E; Cuastumal, C; Bravo, A. Concentración ideal de electrolitos en la superficie de suelos de los municipios de Palmira, El Cerrito y Guacarí en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 57(3). Disponible en [http:// Concentracion-ideal-de-electrolitos-en.html](http://Concentracion-ideal-de-electrolitos-en.html). 2008.

Ministerio de la Agricultura. Dirección General de Suelos y Fertilizantes. Manual de interpretación de los índices Físico – Químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba. 136 p. 1984.

Otero, L. Particularidades del intercambio catiónico de los suelos oscuros plásticos de la provincia Granma relacionado con su manejo. Tesis Ph. D. Ciudad de la Habana, Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instituto de Suelos. 100 p. 1993.

Otero, L; Gálvez, V; Navarro, N; Díaz, G; Rivero, L; Vantour, A. Contribución de las fracciones adsorbentes al intercambio catiónico de suelos arroceros de la llanura Sur Habana – Pinar del Río. *Terra Latinoamericana* 24(1):9-15. 2006a.

Otero, L; Curbelo, R; Francisco, A; Cintra, M. Programa de cómputo para estimar las especies iónicas solubles en la disolución suelo: solución 1: 5, de los suelos con salinidad. *Centro Agrícola* 33(1):67-68. 2006b.

Otero, L; Morales, R; Vento, M; Sánchez, I; Cintra, M; Rivero, L. Salinidad del suelo: un problema que incumbe a todos. *Revista Agricultura Orgánica*, Año 17(1):33-34. 2011.

Otero, G.L.M., Gálvez, V.V.A, Navarro, G.N.O., Rivero, R.L.B., Pérez, J.J.M., La Guardia, M.T. Influencia de electrolitos, especies iónicas y sodio cambiante en la dispersión del suelo. *Agronomía mesoamericana* 23(1):189-200. 2012.

Quirck, JP. Comments on "Diffuse double-layer models, lange-range forces and ordering of clay colloids." *Soil Science Society of America Journal* 67: 1960-1961. 2003.

Rivero, L. 1985. Régimen hídrico de los suelos Ferralíticos Rojos típicos de la región Jovellanos. Tesis Ph. D. Ciudad de la Habana, Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instituto de Suelos. 135 p. 1985.