



Agronomía Mesoamericana
ISSN: 1021-7444
pccmca@cariari.ucr.ac.cr
Universidad de Costa Rica
Costa Rica

Otero-Gómez, Lázara María; Gálvez-Varcalcer, Vicente Armando; Navarro-Gómez, Norys Obdulia; Rivero-Ramos, Luis Beltrán; Pérez-Jiménez, Juan Miguel; La Guardia-Madrazo, Tania
INFLUENCIA DE ELECTROLITOS, ESPECIES IÓNICAS Y SODIO CAMBIABLE EN LA DISPERSIÓN DEL SUELO
Agronomía Mesoamericana, vol. 23, núm. 1, enero-junio, 2012, pp. 189-200
Universidad de Costa Rica
Alajuela, Costa Rica

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43723963020>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

COMUNICACIÓN CORTA

INFLUENCIA DE ELECTROLITOS, ESPECIES IÓNICAS Y SODIO CAMBIABLE EN LA DISPERSIÓN DEL SUELO¹

Lázara María Otero-Gómez², Vicente Armando Gálvez-Varcalcer², Norys Obdulia Navarro-Gómez², Luis Beltrán Rivero-Ramos², Juan Miguel Pérez-Jiménez², Tania La Guardia-Madrazo²

RESUMEN

Influencia de electrolitos, especies iónicas y sodio cambiable en la dispersión del suelo. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto dispersante de la salinidad en un suelo Gleysol petrogléyico. El estudio se efectuó en la empresa de semilla de arroz Coroja en Artemisa, Pinar del Río, Cuba, con cultivo de arroz. El efecto dispersante de la salinidad fue determinado a partir de la información de las ecuaciones de regresión lineal múltiples obtenidas entre el coeficiente de dispersión de los suelos con el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), la conductividad eléctrica (CE) y las fuerzas iónicas que aportan el total de los iones y los iones libres, durante los años 1997 al 2001, para aclarar la contribución de los indicadores de salinidad % Na⁺ (PSI), fuerza iónica del total de los iones (It), fuerza iónica de los iones libres (II), conductividad eléctrica y otros factores no considerados, a la dispersión de los suelos. La alta dispersión media de estos suelos, encubre el efecto de la acumulación de los electrolitos de contrarrestarla, manifestando el sodio cambiable propiedades dispersivas en los rangos de Conductividad eléctrica 2,01 - 4 dS.m⁻¹ y de aNa⁺.(aCa²⁺)^{0,5} total 5,01 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0,5}.

Palabras claves: Salinidad, conductividad eléctrica, fuerzas iónicas.

ABSTRACT

Influence of electrolites, ionic species and exchangeable sodium on soil dispersion. The objective of this work was to determine the dispersing effect of salinity in a Gleysol petrogleyic soil of Artemisa, Pinar del Río, Cuba cropped with rice. The dispersing effect was determined from multiple lineal regresions obtained from the dispersion coefficient of the soils with the exchangeable sodium percentage (PSI), electric conductivity (EC) and ionic strength that provide the total and free ions during the years 1997 to 2001, to discern the contribution of the salinity indicators % Na⁺ (PSI), total ionic strength (It), free ionic strength (II), electrical conductivity, and others un-considered factors to the dispersion of the soils. High average dispersion of these soils masked the effect of electrolyte accumulation, counteracting it, with exchangeable sodium showing dispersing effect in electric conductivity ranges of 2,01 - 4 dS.m⁻¹ and aNa⁺.(aCa²⁺)^{0,5} total 5,01 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0,5}.

Key words: Salinity, electric conductivity, ionic strength.



¹ Recibido: 7 de setiembre, 2010. Aceptado: 12 de marzo 2012.

² Instituto de Suelos del MINAG. Antigua Carretera de Vento km 8^{1/2} AP 8022. Capdevila, Boyeros, CP 10800. Ciudad de la Habana. Cuba. Teléfono 6451166; Telefax 6453946. Autor para correspondencia: Lázara Otero. programas@minag.cu; bcalero@minag.cu; secsmuniz@ceniai.inf.cu

INTRODUCCIÓN

La dispersión de los suelos, es una propiedad considerada en la evaluación de la degradación física de los mismos. Esta se obtiene de la relación porcentual entre el contenido de micro agregados y de la fracción granulométrica del diámetro de la arcilla, por lo que está íntimamente ligada con el estado coloidal de los suelos (Quirck 2003). Esta propiedad tiene una alta dependencia con el contenido y composición arcillosa, la riqueza orgánica, los iones adsorbidos y solubles, que determinan la coagulación o la desfloculación de las partículas fundamentales, además que se corresponde con la estabilidad hídrica de los agregados del suelo (Otero 1993). También puede ser provocada por condiciones de estrés químico, mecánico y de humectación (Amezketa *et al.* 2003). La dispersión del suelo puede ser una de las causas del lavado y transporte de los coloides del suelo y con ello producirse el movimiento al ambiente de sustancias fuertemente adsorbidas a éstos, como metales pesados y ciertos pesticidas (Lae-gdsmand *et al.* 2005).

En el caso de suelos afectados por salinidad, la relación entre la presión que ejerce el Porciento 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). Al respecto Ward y Carter (2004) obtuvieron que la magnitud de la dispersión en los suelos depende de algunas propiedades que incluyen la relación de adsorción de sodio, conductividad eléctrica, densidad de volumen, partículas arcillosas, materia orgánica, relación de cargas entre los iones cloruros y sulfatos, respecto a la suma de las cargas de los iones sodio y calcio en la solución del suelo.

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 mecanismo de dilatación de los coloides del suelo causado por el sodio de cambio puede afectar a la estructura, debido al aumento del espesor de la capa de agua ligada a las partículas, haciendo que las

mismas se separen entre sí, causando la dispersión de las arcillas (Lopes *et al.* 1998).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto dispersante de la salinidad en un suelo Gleysol petrogléyico.

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 en Artemisa, 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 área experimental es de 148 ha que representan el 8,3% del área total de la empresa y es representativa de la problemática existente con la salinidad en parte de dicho establecimiento, que es la ubicación de algunas de sus áreas de producción por debajo de la cota 6 msnm, uso de agua de mala calidad en el riego en algunos campos y la elevación del manto freático. Las prácticas culturales fueron realizadas por la propia empresa.

El suelo es un Gleysol petrogléyico (IUSS 2007) desarrollados 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 la cosecha de los campos 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 evaluación de la salinidad reportó el dominio de la Salinización en el suelo, que puede presentarse como componente único de salinidad, con riesgo de sodicidad

y acompañada por sodicidad, pues 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 que son los siguientes: No salinos con fuerte riesgo de sodicidad al 6,25%, no salinos con sodificación el 18,75%, medianamente salinos con débil riesgo de sodicidad el 12,50%, medianamente salinos con mediano riesgo de sodicidad el 6,25%, medianamente salinos con fuerte riesgo de sodicidad el 12,50%, medianamente salinos con sodificación el 6,25%, salinos con débil riesgo de sodicidad el 6,25%, salinos con fuerte riesgo de sodicidad el 6,25%, fuertemente salinos con mediano riesgo de sodicidad el 6,25%, fuertemente salinos con fuerte riesgo de sodicidad el 12,50% y muy fuertemente salinos con sodificación al 6,25%.

Fue determinada la influencia cuantitativa del % Na^+ (PSI), conductividad eléctrica, fuerza iónica total (It) y fuerza iónica libre (Il), sobre la dispersión de los suelos en diferentes intervalos de conductividad eléctrica y de la relación $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{-0.5}$ 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 $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{-0.5}$ total estuvieron comprendidas de 1 - 7 ($\text{mmol.L}^{-1})^{-0.5}$, > 7 ($\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$, 2 - 4 ($\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$, 4,01- 6 ($\text{mmol.L}^{-1})^{-0.5}$, 1 - 3 ($\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$, 3,01 - 5 ($\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$ y 5,01-7 ($\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$.

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 que se basa en la utilización del acetato de amonio pH 8,5 para el desplazamiento de las bases adsorbidas y la posterior lectura de la concentración del Na^+ por espectrofotometría de emisión (Instituto de Normalización 2000). La textura y la microestructura fueron determinadas 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), el pH fue medido 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) que considera valores de $Kd < 20$ sin dispersión, $20 < Kd < 40$ es Mediana dispersión y $Kd > 40$ Alta dispersión. Los estadígrafos de tendencia central de las propiedades evaluadas en la totalidad de las muestras aparecen en el Cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo estudiado presenta mediana dispersión media con valores particulares con alta dispersión (Cuadro 1), dada por el efecto combinado de varios factores como contenido de materia orgánica, composición arcillosa e iones. A nivel de toda la población, la relación entre la constante de dispersión (K_d) con el porcentaje de sodio intercambiable, pH, porcentaje de arcilla, porcentaje de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y la fuerza iónica total (It), se ajustó a la ecuación 1:

$$Kd = -1,68035\% \text{ Na}^+ + 2,04709 \text{ pH} - 0,26738\% \text{ arcilla} - 5,89047\% \text{ MO} - 1,04462 \text{ CE} + 3815,79381 \text{ It} + 45,32281$$

$$R^2 = 0.64^{***} \quad (1)$$

Leyenda *** 0,01 significación

Esta ecuación revela que a nivel poblacional, se pierde el aporte de los indicadores globales de salinización y sodicidad (% Na^+ y CE) a la dispersión del suelo. Los signos de dichos componentes señalan que los comportamientos medios contribuyen a la floculación, además se observa la propensión coagulante

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de las propiedades del suelo Gleysol petrogléyico. Empresa de semilla de arroz "Coroja", Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

Propiedades	Media	Desviación estándar	Error estándar	Número de Muestras
% Kd (constante de dispersión)	39,19	11,83	1,69	49
% Na ⁺	7,57	3,33	0,48	49
pH	6,38	1,05	0,15	49
% arcilla	38,45	7,64	1,09	49
% MO (Materia orgánica)	1,61	0,97	0,14	49
CE (dS.m ⁻¹) (Conductividad eléctrica)	3,27	1,33	0,19	49
It (mol.L ⁻¹) (Fuerza iónica total)	0,0041	0,0026	0,0004	49

de la materia orgánica y las tendencias dispersantes del pH y la fuerza iónica del total de los iones solubles; así como de otros factores no considerados, revelados por el alto peso del término independiente en la ecuación. En los otros agentes no cuantificados, pudieran incluirse la concentración particular de terceros iones adsorbidos y relaciones inter catiónicas entre el Ca²⁺ y el Na⁺ (Otero 1993), así como otros integrantes de la composición granulométrica y la presencia de sesquióxidos (Villafaña 2000). En la profundidad en que se desarrolla el sistema radicular del arroz, la arcilla predominante es del tipo 1:1 y la incidencia de las variables de manejo y el cultivo intensivo han influenciado en la interacción materia orgánica: arcilla, que puede limitar el efecto de la materia orgánica en contra de la dispersión del suelo (Otero *et al.* 2006a).

La estabilidad de la caolinita también está influenciada por los valores de pH y de las fuerzas iónicas, Kretzschmar *et al.* (1997) obtuvieron que las adiciones de ácido húmico contribuyen al aumento de su seguridad y que la adsorción del ácido húmico por dicha arcilla es debido a la carga superficial neta negativa que se establece por encima de pH 4,8.

En el 82% de las muestras de la población objeto de estudio, se presentan valores de pH mayores que 5, sin embargo coexisten una complejidad de factores que inciden en la dispersión del suelo, por lo que el efecto coagulante o desfloculante de la salinidad en oposición o en adición a las propiedades dispersivas intrínsecas del suelo, estará en dependencia de la fuerza iónica y de la naturaleza de las especies iónicas presentes. Para despejar esta incógnita se efectuó el análisis del aporte de los

electrolitos y del sodio cambiante, en diferentes intervalos o rangos de indicadores de la salinidad de los suelos.

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

De la totalidad de las muestras, el 18,36% presentaron conductividad eléctrica entre 1 - 2 dS.m⁻¹, el 51,02% de 2,01 - 4 dS.m⁻¹, el 26,53% de 4,01 - 6 dS.m⁻¹ y el 4,08% presentaron valores de la Conductividad eléctrica mayor de 6 dS.m⁻¹. Considerando esos intervalos de la conductividad eléctrica, se obtuvieron las ecuaciones ajustadas siguientes:

$$CE = 1 - 2 \text{ dS.m}^{-1}$$

$$Kd = -3,7349\% \text{ Na}^+ + 4739,6516 \text{ It} + 43,8966 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,20 \quad \text{NS}$$

$$Kd = -3,9438\% \text{ Na}^+ + 8612,2961 \text{ II} + 34,6069 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,52^{**}$$

$$Kd = 2,0812\% \text{ Na}^+ - 3254,3364 \text{ CE} + 132,0420 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,35 \quad \text{NS}$$

$$CE = 2,01 - 4 \text{ dS.m}^{-1} \quad (5)$$

$$Kd = 0,5135\% \text{ Na}^+ + 4078,9542 \text{ It} + 17,6776$$

$$R^2 = 0,66^{***}$$

$$Kd = 0,3358\% \text{ Na}^+ + 4562,7065 \text{ II} + 18,2396 \quad (6)$$

$$R^2 = 0,66^{***}$$

$$CE = 4,01 - 6 \text{ dS.m}^{-1}$$

$$Kd = -1,7121\% \text{ Na}^+ + 4171,1640 \text{ It} + 33,5643 \\ R^2 = 0,64^{***} \quad (7)$$

$$Kd = -1,7443\% \text{ Na}^+ + 4295,1687 \text{ II} + 34,3381 \\ R^2 = 0,61^{***} \quad (8)$$

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 CE 1 - 2, 2,01 - 4 y 4,01 - 6 dS.m⁻¹ (ecuaciones 2,3,4,5,6,7,8), 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.

Se observa en el intervalo 1 - 2 dS.m⁻¹, que es destacado el peso de los otros factores no considerados en la dispersión (ecuaciones 2, 3, 4), característico de las propiedades específicas de los suelos estudiados, en el cual se obtuvo la mayor inestabilidad de la micro estructura (Cuadro 2), que determina que el valor de la constante de dispersión (Kd) sea evaluada de Alta.

Amezqueta y Aragues (1995) obtuvieron en la dispersión de suelos arcillosos la influencia de variables no controladas independientes a la concentración y composición de los electrolitos y el pH. En este menor intervalo de conductividad eléctrica (CE), el

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de la constante de dispersión del suelo Gleysol petrogléyico y los indicadores de salinidad considerados por los rangos de conductividad eléctrica. Empresa de semilla de arroz "Coroja", Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

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 ⁺ intercambiable (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

incremento de la dispersión del suelo puede provocar que la masa del suelo fluya por la acción del agua ante un bajo contenido orgánico (Suárez y Suárez 2005).

En el Cuadro 3 se confirma que parte del efecto que origina la fuerza iónica de los iones libres en la dispersión del suelo es compensado por la fuerza de todos los iones. Esto indica influencia de algunos iones pares a favor de la floculación. El valor de la correlación obtenido entre los iones pares de carga +1 con la constante de dispersión en este intervalo de conductividad eléctrica ($r= 0,69$, $p = 0,05$), los descartan de ejercer esta acción, a la vez que señala insuficiente concentración de iones calcio en la solución del suelo, que es una de las causas de las propiedades dispersivas de los suelos (Suárez y Suárez 2005).

Esta disposición coincide con la mayor dispersión del suelo de $1-2 \text{ dS.m}^{-1}$, 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 $2,01 - 4 \text{ dS.m}^{-1}$, 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 (Cuadro 3).

El valor de K_d infiere que la doble capa difusa es menos gruesa en este intervalo que en el anterior, en que precisamente la fuerzas iónicas (total y libre), aportan menos a la dispersión (Cuadro 2). Bajo las condiciones de estudio, es en este intervalo de

Cuadro 3. Aporte del porciento de sodio intercambiable (PSI) (% de Na^+), Fuerzas iónicas (I_t e I_{II}) en mol.L^{-1} y conductividad eléctrica (CE) en dS.m^{-1} , a la dispersión del suelo Gleysol petroglélico, por intervalos de conductividad eléctrica. Empresa de semilla de arroz "Coroal", Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

CE	Porciento de sodio intercambiable (% Na^+)			Aporte a la dispersión					
	Mínimo	Máximo	Media	% contrario a la dispersión			% favorable a la dispersión		
				Fuerza iónica total (I _t)	Fuerza iónica libre (I _{II})	Conduct. eléctrica (CE)	Fuerza iónica total (I _t)	Fuerza iónica libre (I _{II})	Conduct. eléctrica (CE)
1 - 2	1,15	6,08	4,40	NS	38,06	-	-	-	NS
2,01 - 4	2,51	12,89	7,33	-	-	-	10,39	6,79	-
4,01 - 6	7,21	11,20	9,21	36,96	39,50	-	-	-	-
CE	Fuerza iónica total (I _t)			Aporte a la dispersión					
	Mínimo	Máximo	Media	% contrario a la dispersión			% favorable a la dispersión		
1 - 2	0,0013	0,0061	0,0038						
2,01 - 4	0,0011	0,0071	0,0036				40,85		
4,01 - 6	0,0021	0,0091	0,0055				53,58		
CE	Fuerza iónica libre (I _{II})			Aporte a la dispersión					
	Mínimo	Máximo	Media	% contrario a la dispersión			% favorable a la dispersión		
1 - 2	0,0013	0,0038	0,0033				62,15		
2,01 - 4	0,0011	0,0068	0,0034				42,89		
4,01 - 6	0,0020	0,0084	0,0052				55,05		
CE	Conductividad eléctrica (CE)			Aporte a la dispersión					
	Mínimo	Máximo	Media	% contrario a la dispersión			% favorable a la dispersión		
1 - 2	1,32	1,95	1,79	NS			-		
2,01 - 4	2,03	3,90	3,12	-			-		
4,01 - 6	4,05	5,30	4,52	-			-		

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).

La fuerza iónica de los electrolitos no logró contrarrestar los efectos aditivos de la sodicidad a la dispersión del suelo como consecuencia de la influencia de la naturaleza de las especies iónicas disueltas; la poca diferencia en el aporte de ambas fuerzas iónicas a la dispersión de los suelos y el débil valor de la correlación entre la constante de dispersión con los pares de carga -1 ($r = 0,37$ $p > 0,05$), indican que éstos tienen poca incidencia en el efecto de la exclusión negativa de los aniones.

El peso del resto de los factores no considerados como materia orgánica, granulometría, pH, sesquioxídos, etc, disminuye respecto al intervalo de CE 1 - 2 $dS.m^{-1}$, pues no sobrepasa el 50% de la responsabilidad en la dispersión de los suelos (ecuaciones 5 y 6).

En el rango de $CE = 4,01 - 6 dS.m^{-1}$, aunque no se aprecia efecto dispersante del sodio cambiante (ecuaciones 7 y 8), la presencia del apareamiento iónico no ejerce influencia en dicho comportamiento (Cuadro 3).

En este intervalo 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, como el estado energético del agua, contenido y calidad del humus y RAS entre otros que provoca el aumento de la dispersión (Flores *et al.* 1998).

Influencia del estado de los electrolitos solubles y el Na^+ intercambiable sobre la dispersión del suelo en rangos de $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5}$

Todas las muestras analizadas presentaron relaciones $aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5} > 1$, que indica que existe una condición real de acumulación de sodio en la disolución, cuyos valores oscilaron entre 1,15 y 21,51 ($mmol.L^{-1})^{0,5}$). El 87,7% de las muestras presentaron valores de este indicador de sodicidad entre 1-7 ($mmol.L^{-1})^{0,5}$ y el 12,3% presentaron valores > 7 ($mmol.L^{-1})^{0,5}$, que indican diferentes grados de afectación por solonetización (Krupsky *et al.* 1983).

Deduciendo en función de rangos de concentraciones activas del sodio soluble, respecto a las concentraciones activas del calcio, las ecuaciones ajustadas fueron:

$$\begin{aligned} aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5} &t 1 - 7 (mmol.L^{-1})^{0,5} \\ Kd &= -0,8293\% Na^+ + 4179,9037 It + 27,9847 \\ R^2 &= 0,50^{**} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Kd &= -1,1006\% Na^+ + 4752,1464 II + 28,8869 \\ R^2 &= 0,51^{**} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5} &> 7 (mmol.L^{-1})^{0,5} \\ Kd &= 1,6154\% Na^+ + 2593,3079 It + 38,0111 \\ R^2 &= 0,64 \text{ NS} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Kd &= -0,8956\% Na^+ + 1819,9911 II + 34,4018 \\ R^2 &= 0,47 \text{ NS} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} Kd &= 0,49816\% Na^+ + 22,6885 CE + 25,6244 \\ R^2 &= 0,40 \text{ NS} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5} &t 2 - 4 (mmol.L^{-1})^{0,5} \\ Kd &= 0,0364 \% Na^+ + 2825,7148 It + 33,4088 \\ R^2 &= 0,38^{**} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Kd &= -0,1147\% Na^+ + 3146,2126 II + 28,7788 \\ R^2 &= 0,37^{**} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5} &t 4,01 - 6 (mmol.L^{-1})^{0,5} \\ Kd &= 0,0808\% Na^+ + 4360,0563 It + 17,6894 \\ R^2 &= 0,73^{***} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} Kd &= -0,7770\% Na^+ + 5186,4060 II + 22,6341 \\ R^2 &= 0,73^{***} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} Kd &= 3,50997\% Na^+ - 33,4415 CE + 12,2510 \\ R^2 &= 0,29^{**} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} aNa^+.(aCa^{2+})^{-0,5} &t 1 - 3 (mmol.L^{-1})^{0,5} \\ Kd &= -1,2636\% Na^+ + 3284,4249 It + 33,4088 \\ R^2 &= 0,32^* \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} Kd &= -1,3155\% Na^+ + 3982,34643 II + 32,3012 \\ R^2 &= 0,36^* \end{aligned} \quad (19)$$

$$Kd = 3,0406\% Na^+ - 26,3688 CE + 21,6729$$

$$R^2 = 0,28^* \quad (20)$$

$$\begin{aligned} a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} \text{ t} & 3,01 - 5 \text{ (mmol.L}^{-1})^{0.5} \\ Kd & = -0,1425\% \text{ Na}^+ + 4276,9556 \text{ It} + 23,2597 \\ R^2 & = 0,58^{***} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} Kd & = -1,6302\% \text{ Na}^+ + 5590,6895 \text{ II} + 30,3482 \\ R^2 & = 0,57^{***} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} Kd & = 3,04055\% \text{ Na}^+ - 0,4345 \text{ CE} + 21,6729 \\ R^2 & = 0,28^{**} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} \text{ t} & 5,01 - 7 \text{ (mmol.L}^{-1})^{0.5} \\ Kd & = 3,97315\% \text{ Na}^+ + 2081,3524 \text{ It} - 12,5373 \\ R^2 & = 0,82^{**} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} Kd & = 4,06903\% \text{ Na}^+ + 2214,4760 \text{ II} - 13,5854 \\ R^2 & = 0,81^{**} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} Kd & = 5,12115\% \text{ Na}^+ + 443,9105 \text{ CE} - 46,0550 \\ R^2 & = 0,76^{**} \end{aligned} \quad (26)$$

Leyenda * 0,10 ** 0,05 *** 0,01 significación

Las ecuaciones obtenidas en el rango $> 7 \text{ mmol.L}^{-0.5}$, no fueron significativas. Los signos de los miembros en el resto de las ecuaciones, ratifican

el efecto de las fuerzas iónicas total y libre (It, II), a favor de la dispersión. Al considerar el efecto de los indicadores de salinidad sobre la dispersión, por los intervalos de la relación $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} \text{ t}$, se obtiene que el resultado del PSI es dispersante, respecto a la acción electrostática de los iones solubles (Otero *et al.* 2008).

En los intervalos de conductividad eléctrica 4,01 – 6 dS.m^{-1} y en los de $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} \text{ t}$ 1 – 3 y 3,01 – 5 $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$, se obtiene la acción de la conductividad eléctrica en contrarrestar el efecto dispersante del Na^+ intercambiable (ecuaciones 17, 20, 23), mientras que de 5,01 – 7 $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$ adiciona su efecto dispersante al del PSI (ecuación 26). Al respecto Villafaña (2000) propuso mediante una ecuación de regresión que relaciona valores de conductividad eléctrica y del RAS, distinguir la dispersión de los suelos por causas atribuibles y no atribuibles al sodio.

Se verifica acción dispersante del sodio, combinado con la fuerza iónica total en niveles de $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} \text{ t}$ de 2 – 4 $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$ 4,01 – 6 $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$ y 5,01 – 7 $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$ (ecuaciones 13, 15 y 24) 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). De 5,01 a 7 $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$

Cuadro 4. Parámetros estadísticos de la constante de dispersión y los componentes de salinidad del suelo Gleysol petrogleyico en los intervalos de $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ estudiados. Empresa de semilla de arroz "Coroal", Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

Rangos de $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} \text{ t}$	Propiedad	Media	Desvia- ción es- tándar	Error están- dar	N	Propiedad	Media	Desvia- ción es- tándar	Error están- dar	N
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	20
4,01 – 6		39,91	13,58	3,20	18		0,0046	0,0025	0,0005	18
1 – 3		38,79	12,97	3,35	15		0,0032	0,0018	0,0005	15
3,01 – 5		44,17	10,69	2,39	20		0,0048	0,0019	0,0004	20
5,01 – 7		32,17	11,56	4,09	8		0,0035	0,0024	0,0008	8
2 – 4	% de Na^+ intercambiable (PSI)	6,17	2,46	0,55	20	Conductividad eléctrica (CE) dS.m^{-1}	2,31	0,82	0,18	20
4,01 – 6		8,51	2,15	0,51	18		3,99	0,61	0,14	18
1 – 3		4,85	2,69	0,69	15		2,35	0,68	0,18	15
3,01 – 5		7,87	1,91	0,43	20		3,27	1,10	0,24	20
5,01 – 7		9,35	1,53	0,54	8		4,15	0,52	0,18	8
2 – 4	Fuerza iónica total (It) mol.L ⁻¹	0,0041	0,0018	0,0004	20	$a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{0.5} (\text{mol.L}^{-1})^{0.5}$	2,83	0,47	0,10	20
4,01 – 6		0,0049	0,0026	0,0006	18		4,95	0,53	0,13	18
1 – 3		0,0035	0,0020	0,0005	15		2,35	0,42	0,11	15
3,01 – 5		0,0052	0,0019	0,0004	20		4,11	0,71	0,16	20
5,01 – 7		0,0036	0,0027	0,0009	8		5,86	0,60	0,21	8

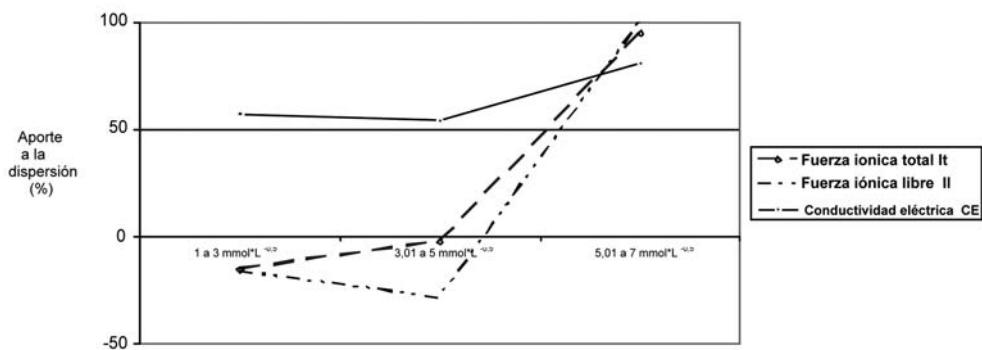


Figura 1. Comportamiento del efecto dispersivo del % Na⁺ del suelo Gleysol petrogléyico a niveles de aNa⁺ (aCa²⁺)^{0.5}, acorde a las ecuaciones en que intervienen It, II y la CE. Empresa de semilla de arroz 'Corojal', Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

aunque el sodio ejerce mayor papel dispersante (Figura 1), la concentración y composición de los electrolitos compensa su acción sobre la dispersión del suelo que disminuye su valor absoluto (Cuadro 4).

Con el aumento de las relaciones aNa⁺.(aCa²⁺)^{0.5} t, 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.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, si no también de la composición cualitativa. Se obtuvo en el rango aNa⁺.(aCa²⁺)^{0.5} total 5,01 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0.5}, que la correlación entre el PSI y la constante de dispersión del suelo fue de 0,82 (p = 0,05).

Acorde a este resultado Ward y Carter (2004), obtuvieron dependencias y propusieron valores críticos del RAS Na⁺.(0,5(Ca²⁺+Mg²⁺))^{0.5}, como alternativa para la identificación y manejo de suelos dispersivos.

El aporte relativo de los factores no considerados a la dispersión del suelo, aumentó con la disminución de la relación de actividades aNa⁺.(aCa²⁺)^{0.5} t, contrario a la contribución del Na⁺ cambiante (Figura 2). 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.m⁻¹ (Cuadro 5), como se vio en el análisis efectuado por los intervalos de conductividad eléctrica.

Los resultados demuestran la conveniencia de que la interpretación del efecto de la salinidad sobre la dispersión de este suelo con propiedades dispersivas, sea por rangos de concentración de los indicadores

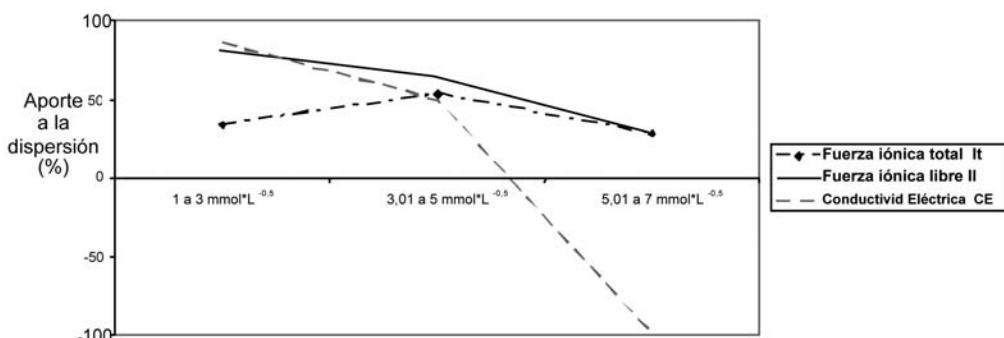


Figura 2. Participación de los factores no considerados en la dispersión de del suelo Gleysol petrogléyico por intervalos de aNa⁺.(aCa²⁺)^{0.5} en las ecuaciones en que intervienen CE, It e II. Empresa de semilla de arroz 'Corojal' Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

Cuadro 5. Parámetros estadísticos de las concentraciones porcentuales de los iones apareados según la naturaleza de las cargas por rangos de $a\text{Na}^+.(a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ del suelo Gleysol petrogélico. Empresa de semilla de arroz "Coroja", Artemisa, Pinar del Río, Cuba. 1997-2001.

Rangos de $a\text{Na}^+.(a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ (mmol.L ⁻¹) ^{0.5}	Carga 0			Cargas -1			Carga +1			N		
	Media	Desv	Error	N	Media	Desv	Error	N	Media	Desv	Error	
2 - 4	0,179	0,223	0,025	80	0,035	0,034	0,005	40	0,013	0,014	0,002	80
4,01 - 6	0,152	0,192	0,023	71	0,043	0,052	0,009	36	0,008	0,013	0,002	72
2 - 6	0,166	0,209	0,017	151	0,039	0,043	0,005	76	0,011	0,014	0,001	152
Diferencia significativa	0 y -1	t = 7,1998**			0 y +1	t = 9,1328**			-1 y +1	t = 5,5139**		
1 - 3	0,179	0,226	0,029	60	0,034	0,029	0,005	30	0,014	0,018	0,002	60
3,01 - 5	0,161	0,197	0,022	79	0,036	0,042	0,007	40	0,011	0,013	0,002	80
5,01 - 7	0,130	0,180	0,032	32	0,049	0,058	0,014	16	0,006	0,013	0,002	32
1 - 7	0,161	0,204	0,016	171	0,038	0,042	0,004	86	0,011	0,015	0,011	172
Diferencia significativa	0 y -1	t = 7,6050**			0 y +1	t = 9,6160**			-1 y +1	t = 5,8411**		

Leyenda ** 0,01 significación.

conductividad eléctrica (CE) y relación de actividades ($a\text{Na}^+.(a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ t).

El análisis de los intervalos comprendidos entre 1 - 5 (mmol.L⁻¹)^{0.5} y 4,01 - 6 (mmol.L⁻¹)^{0.5}, respecto a la fuerza iónica de los iones disociados II (ecuaciones 14, 16, 19 y 22), revela que el Na^+ es atraído hacia el coloide, por lo cual no se manifiesta efecto dispersante; sin embargo frente a la fuerza iónica del total de los iones (libres + pares), adiciona su efecto dispersante a la de las condiciones del suelo (Figura 1). Esto indica que los pares con carga 0 detectados que fueron NaHCO_3^0 , CaSO_4^0 , MgSO_4^0 y NaCl^0 , no intervienen significativamente en la coagulación del medio, lo cual fue ratificado por la correlación de signo positivo detectado entre K_d y la suma de los iones apareados de carga 0 en el intervalo 4,01 - 6 (mmol.L⁻¹)^{0.5}, que fue de 0,56 ($p = 0,05$).

Los resultados del Cuadro 5 indican que existieron diferencias en las concentraciones porcentuales de las cargas de los pares iónicos formados, que el intervalo $a\text{Na}^+.(a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ total de 5,01 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0.5} fue el de más escasa formación de iones binarios con carga 0 y +1 y de más abundante formación de los pares de carga -1, que se adicionan a la acción dispersante del Na^+ adsorbido.

En los intervalos de CE entre 2,01 - 4 dS.m⁻¹ o de $a\text{Na}^+.(a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ de 5,01 - 7 (mmol.L⁻¹)^{0.5} del suelo Gleysol petrogélico estudiado, la presencia de salinidad disminuyó el protagonismo de otras propiedades individuales de los suelos en el deterioro de la estabilidad de la micro estructura, en este intervalo se reduce la dispersión de los suelos, que revela el predominio de salinización sobre el papel dispersante del sodio cambiante (sodicidad) en dichos rangos. Se corrobora que la salinidad en esta área está caracterizada por la acumulación de electrolitos, coincidiendo con la evaluación inicial de los suelos que reporta fundamentalmente procesos de salinización, también que el estado de los iones solubles ejerce influencia en las manifestaciones coloidales de los mismos, en dependencia de los intervalos de concentración considerados.

Los resultados generales recomiendan mantener las concentraciones de electrolitos dentro de la relación de actividad $a\text{Na}^+.(a\text{Ca}^{2+})^{0.5}$ entre 1 - 3 (mmol.L⁻¹)^{0.5} y la conductividad eléctrica entre 2 - 4 dS.m⁻¹ para lograr minimizar la dispersión del suelo, lo cual debe lograrse mediante la introducción de iones calcio con las prácticas de manejo. Otero *et al.* (2005) publicaron los resultados satisfactorios obtenidos con

el uso del cieno residual de la fábrica de acetileno, como mejorador aportador de calcio en áreas afectadas por salinización y sodicidad de esta empresa arrocera.

Barreto *et al.* (2003) recomendaron que al definir medidas de prevención y recuperación de suelos afectados por sales es de primordial importancia la relación existente entre el contenido salino y el del sodio, con las propiedades que determinan la eficiencia del drenaje dada la influencia en la reducción de la conductividad hidráulica con el aumento de la sodicidad que genera efectos dispersivos de las partículas del suelo.

Además de las medidas para disminuir los efectos de la salinidad sobre el suelo y el cultivo, debe tenerse en cuenta que la dispersión generada por el contenido de sodio intercambiable en el suelo, puede desencadenar procesos erosivos, pues como expuso Kretzschmar *et al.* (1997), con la dispersión de las arcillas, se facilita su traslocación al medio ambiente conjuntamente con otros compuestos adsorbidos. Otros autores como Summa *et al.* (2006), explicaron las manifestaciones del encostramiento generado por la dispersión en suelos caoliníticos bajo diferentes condiciones de exposición a la erosión, a través de la caracterización de indicadores de salinidad de los suelos, obteniendo que el porcentaje de sodio intercambiable efectuó una mejor caracterización del fenómeno que el soluble, debido a que en los procesos erosivos además de la exposición morfológica, geográfica y mineralógica intervienen los procesos de intercambio catiónico de los suelos.

Con el análisis de la salinidad del suelo Gleysol petrogléyico por intervalos de la conductividad eléctrica y de la relación de actividad, $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{-0.5}$ se demostró el efecto particularizado de la sodicidad, composición y concentración de los electrolitos, en contrarrestar o contribuir a la dispersión del suelo. Se recomienda que la interpretación de los efectos de la salinidad y del manejo sobre la dispersión de este suelo, así como de otros suelos con propiedades intrínsecas dispersivas sea analizada por rangos de los indicadores conductividad eléctrica y relación de actividad $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{-0.5}$ teniendo en cuenta las particularidades de las especies iónicas.

En este suelo la conductividad eléctrica entre 2 – 4 dS.m^{-1} y la relación $a\text{Na}^+ \cdot (a\text{Ca}^{2+})^{-0.5}$ 1 - 3 ($\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$, logran la menor dispersión del suelo, por lo que se sugiere con las prácticas de manejo ajustar las concentraciones de electrolitos mediante la presencia de iones calcio, que contribuyen además a disminuir la sodicidad del suelo.

LITERATURA CITADA

- Amezketa, E; Aragues, R. 1995. Flocculation-dispersion behaviour of arid-zone soil clays as affected by electrolyte concentration and composition. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 10(1):11-112.
- Amezketa, E; Aragues, R; Carranza, R; Urgel, B. 2003. Chemical, spontaneous and mechanical dispersion of clays in arid-zone soils. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1(4):95-107.
- Barreto, F; Guerra, H; Gheyi, H. 2003. Conductividad hidráulica en un suelo aluvial en respuesta al porcentaje de sodio intercambiable. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambi.* 7(2):403-407.
- Instituto de Normalización. 1999. Norma cubana: Calidad del suelo. Determinación de pH (NC ISO 103 90: 1999). Ciudad de la Habana, Cuba. 7 p.
- Instituto de Normalización. 2000. 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.
- IUSS (Grupo de trabajo WRB).2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre recursos mundiales de suelos No 103. FAO. Roma. 117 p.
- Flores, A; Gálvez, V; Hernández, O; López, G; Obregón, A; Orellana, R; Otero, L; Valdés, M. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Editorial Colima, México. 137 p.
- Jackson, ML. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 662 p.
- Kaurichev, I; Panov, N; Stratovich, M; Grechim, I; Savich, V; Ganzhara, N; Mershin, A. 1984. Prácticas de Edafología. MIR, Moscú, 279 p.
- Kretzschmar, R; Hesterberg, D; Sticher, H. 1997. Effects of adsorbed humic acid on surface charge and flocculation of kaolinite. *Soil Science Society of America Journal* 61(1):101-108.
- Krupsky, NK; Chausova, LA; Alexandrova, AN. 1983. Levels of sodium and calcium activity and their correlation in low sodium solonetz soils. *Soviet Soil Science* 15(5):75-83.
- Laegdsmand, M; De Jonge, LW; Moldrup, P. 2005. Leaching of colloids and dissolved organic matter from columns packed with natural soil aggregates. *Soil Science* 170(1):13-27.
- Levy, GJ; Mamedov, AI; Goldstein, D. 2003. Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils 1. *Soil Science* 168(8):552-562.

- Lopes, PRC; Gisbert, JM; Gómez, LD; Oliveira, CAV. 1998. Efecto de dosis de ácido polimaleico en la estabilidad estructural de suelos salinos. *Edafología* 5:11-28.
- Madero, E; Cuastumal, C; Bravo, A. 2008. 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>
- Ministerio de la Agricultura. Dirección General de Suelos y Fertilizantes. 1984. Manual de interpretación de los índices Físico – Químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de la Habana, Cuba. 136 p.
- Otero, L. 1993. 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.
- Otero, L; Gálvez, V; Navarro, N; Rivero, L; Pérez, E; Pérez, JM. 2005. Uso del cieno residual de la fábrica de acetileno como mejorador aportador de calcio, en suelos Gley Nodular ferruginosos con cultivo de arroz. *Alimentaria* 365:46-50.
- Otero, L; Gálvez, V; Navarro, N; Díaz, G; Rivero, L; Vantour, A. 2006a. 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.
- Otero, L; Curbelo, R; Francisco, A; Cintra, M. 2006b. 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.
- Otero, L; Francisco, A; Gálvez, V; Morales, R; Sánchez, I; Labaut, M; Vento, M; Cintra, M.; Rivero, L. 2008. Caracterización y evaluación de la salinidad. Disponible en <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5420/salinidad.pdf>
- Otero, L; Morales, R; Vento, M; Sánchez, I; Cintra, M; Rivero, L. 2011. Salinidad del suelo: un problema que incumbe a todos. *Revista Agricultura Orgánica* Año 17(1):33-34.
- Quirek, JP. 2003. Comments on "Difuse double-layer models, lange-range forces and ordering of clay colloids." *Soil Science Society of America Journal* 67: 1960-1961.
- 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.
- Suarez, N; Suarez, J. 2005. Caracterización, análisis y diagnóstico de los flujos de lodos y detritos en la Cuenca de la Quebrada Angulito en Girón Santander. Disponible en <http://www.218-3 FlujosQuebradaAngulitoGiron2005/>
- Summa, V; Tateo, F; Medici, L; Giannossi, L. 2006. The role of mineralogy, geochemistry and grain size in badland development in Pisticci (Basilicata, southern Italy). *Earth Surface Processes and Landforms* 32(7):980-997.
- Villaflaño, R. 2000. Calificación de los Suelos por sales y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras. *Agronomía Tropical* 50(4):645-658.
- Ward, PA; Carter, BJ. 2004. Dispersion of saline and non-saline natric mollisols and alfisols. *Soil Science*. 169(8):554-566.