

Efecto de diferentes suspensiones de cardón dato, cardón lefaria, tuna española y PAM sobre algunas propiedades físicas de un suelo de Quibor-Lara¹

Effect of different concentrations of cactus dato, cactus lefaria, spanish tuna and PAM over some properties of a Quibor-Lara soil

M. Henríquez R.², F. Montero², O. Rodríguez² y A. Hernández³

Resumen

Se evaluó el efecto de suspensiones de tres acondicionadores naturales (AN), sobre algunas propiedades físicas que afectan el movimiento del agua en un suelo Vertic Haplocambids arcilloso muy fino, colectado en Quibor, Estado Lara. Se prepararon suspensiones a partir de cardón de dato (CD), (*Lemaireocereus griseus*); cardón de lefaria (CL), (*Cereus deficiens*) y de tuna española (TE), (*Opuntia ficus-indica*), en concentraciones de 32.000, 16.000, 8.000 y 4.000 mg L⁻¹. También se utilizó una poliacrilamida sintética (PAM) en concentración de 10 mg L⁻¹ como referencia y agua proveniente de tuberías, como testigo. A todos los tratamientos se les midió la densidad (g L⁻¹) de partículas de suelo en suspensión (DPS), a los 120 segundos de haber sido agitados en un cilindro aforado de 1 L; la profundidad de penetración del agua (PPA), utilizando mini canales preparados para este fin y la conductividad hidráulica (CH), en un permeámetro de carga constante. Los resultados demostraron que algunos tratamientos con las suspensiones de las plantas utilizadas, disminuyen la DPS, incrementan la CH y permiten la penetración del agua a una mayor profundidad. Se sugiere que estos cambios se deben a la formación de flóculos promovidos por los AN y la PAM, los cuales le confieren al suelo una microestructura más permeable de la costra deposicional. **Palabras clave:** *Lemaireocereus griseus*, *Cereus deficiens*, *Opuntia ficus-indica*, dispersión, infiltración.

Recibido el 12-3-1999 ● Aceptado el 22-5-1999

1. Trabajo financiado por UCLA-CDCHT en la UISNMP

2. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Decanato de Agronomía. Departamento de Química y Suelo. Apartado 400. Lara-Venezuela. mhenriq@reacciun.ve, orodrigu@telcel.net.ve

3 UCLA Decanato de Agronomía. Departamento de Ciencias Biológicas

Abstract

An experiment was performed in a very fine clayey Vertic Haplocambids from Quibor, Lara State, in order to evaluate the effect of three natural conditioners (NC) on some physical properties that affect soil water movement. Suspensions of three plants named as dato cactus (CD), (*Lemnaireocereus griseus*); lefaria cactus (CL), (*Cereus deficiens*) and spanish tuna (TE), (*Opuntia ficus-indica*), in concentrations of 32.000, 16.000, 8.000 and 4.000 mg L⁻¹ were prepared. A synthetic poliacrilamide (PAM) in concentration of 10 mg L⁻¹ and a control were also prepared. Particle density in suspension (g L⁻¹), in a 1-liter cylinder at 120 seconds after shaking was measured. Depth of water penetration in miniflumes, using the same treatments was also measured. The hydraulic conductivity of the soil using the same treatments was measured in a constant charge permeameter. Results show that some of the NC treatments increased the density of suspended soil particles the HC and allows a deeper water penetration. It is suggested that these changes are due to the formation of floccules, promoted by the NC and PAM, which confers a more permeable microstructure to the soil depositional crust.

Key words: *Lemnaireocereus griseus*, *Cereus deficiens*, *Opuntia ficus-indica*, dispersion, infiltration.

Introducción

La dispersión de las arcillas es el proceso contrario al de floculación y es el mecanismo que puede causar la formación de una costra o sello en la superficie de los suelos. El término costra generalmente es utilizado para definir la capa superficial endurecida, densa y de reducida permeabilidad, formada bajo condiciones de suelo seco. Por el contrario, se le llama sello, a la capa superficial de reducida permeabilidad, en condiciones de suelo húmedo. Ambos se originan por la decantación de partículas en suspensión, en la medida que el agua penetra en el suelo (1).

El flujo del agua de riego en el surco aplica fuerzas cortantes al suelo superficial, lo cual contribuye a la separación de las fracciones de tamaño

de partículas y al desplazamiento turbulento de estas. Cuando la velocidad del flujo aumenta, las fuerzas cortantes también aumentan y eventualmente exceden lo que se denomina *Esfuerzo Cortante*, el cual es la cantidad de energía requerida para vencer las fuerzas cohesivas que mantienen unidas las partículas del suelo (2, 3). El agua al infiltrarse lleva en suspensión los sedimentos, los cuales se van a depositar en la superficie del surco de riego, para formar una capa compacta de reducida porosidad y espesor variable que es conocida como costra deposicional, la cual restringe marcadamente la penetración del agua y la aireación del suelo, así como también impide, la emergencia de plántulas en los

semilleros de campo (2, 8, 9, 10, 11, 12).

De acuerdo con Shainberg y Singer (10), cuando el agua fluye en las estructuras de conducción como surcos, acequias, cárcavas y quebradas, produce un flujo turbulento con un alto poder de abrasión y arrastre erosivo, que contribuye al desmantelamiento del suelo aguas arriba y su posterior sedimentación aguas abajo, en los lugares donde el agua reduce la velocidad. Estos sedimentos que decantan y se depositan de manera paralela a la superficie del suelo, forman un sello y posteriormente una costra deposicional superficial, de estructura laminar, que reduce la permeabilidad del suelo al agua y al aire, llegando a generar un ambiente anaeróbico en la zona radical, lo cual se traduce en pérdidas económicas por disminución de la productividad.

Shainberg y Rodríguez (9), indican que en los suelos de las regiones áridas y semiáridas, como ocurre en la Depresión de Quibor, Lara-Venezuela, la estructura es inestable, siendo el mecanismo de sellado el más determinante en la reducción de los rendimientos, porque la disminución en la tasa de infiltración causa ineficiencia en el uso del agua de riego. Por su parte, Ramírez et al (8), señalan que en Quibor, el proceso de sellado de la superficie del suelo fue determinante en la disminución de la tasa de infiltración, lo cual causó una reducción de la eficiencia del uso del agua de riego y ocasionó un aumento de erosión en los surcos, cuyos sólidos fueron arrastrados en suspensión (predominantemente limo y arcillas),

para ser depositados en la superficie aguas abajo del surco formando una costra deposicional, la cual controló la tasa de infiltración. Así, Shainberg y Rodríguez (9), señalan los siguientes cuatro factores, como causantes de la condición de inestabilidad de los suelos de Quibor:

1. Composición mineralógica con presencia de gran cantidad de illita, una arcilla muy dispersiva y montmorillonita, arcilla expansiva que en presencia de la anterior, genera una combinación con un elevado grado de inestabilidad estructural.

2. Textura fina con alto contenido de limo.

3. Bajo contenido de materia orgánica.

4. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 5 a 10, suficiente para generar dispersividad.

Southard et al (12), estudiando el efecto de la concentración de sales sobre la micromorfología de la costra deposicional, demostraron que las partículas de arcilla floculadas (coloides floculados), se depositaban en una orientación al azar, formando una estructura abierta, sin alguna dirección definida. Esta floculación de los coloides se debe a fenómenos electrocinéticos, que generan la atracción entre las cargas positivas en los bordes y las cargas negativas del espacio interlaminar de las arcillas, formando enlaces denominados borde-cara y una micro estructura que han denominado de *castillo de naipes* (10, 11, 12). Por otro lado, la floculación generalmente involucra un proceso por medio del cual las partículas coloidales se unen entre sí, en masas más voluminosas que el límite del tamaño

de los coloides (flóculos), con lo cual pierden el movimiento browniano y su posibilidad de mantenerse en suspensión indefinidamente.

De acuerdo con Sumner, (14), los factores que fundamentalmente afectan la floculación son:

a) La concentración total de electrolitos (CTE): si la CTE es menor que la concentración de floculación crítica (CFC), las arcillas se dispersan espontáneamente a altos valores relativos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), mientras que a valores bajos relativos del PSI, requiere la aplicación de energía para que la dispersión ocurra.

b) La doble capa difusa: el que los coloides del suelo floculen o no, depende de la condición de la doble capa. Si el potencial Zeta es alto, lo cual indica una doble capa extensa, los coloides son difíciles de flocular. Para que se efectúe la floculación no es necesario disminuir el potencial Zeta hasta cero, si no hasta el punto en que las partículas puedan vencer la barrera de energía de repulsión (3, 14).

Para reducir estos problemas de dispersión, encostramiento y permeabilidad reducida, se utilizan enmiendas y acondicionadores con el fin de incrementar la floculación de las partículas del suelo, estabilizar la estructura y consecuentemente, mejorar la porosidad y la infiltración del agua. En cuanto a los acondicionadores, estos pueden ser naturales (AN) o sintéticos.

Entre los AN tenemos los polímeros de tipo: ácido poliurónicos, ácidos alginicos, polisacáridos y el humus (4, 5, 15). De los polímeros sintéticos el más utilizado es la

poliacrilamida (PAM), un polímero de alto peso molecular que aumenta las fuerzas cohesivas entre las partículas del suelo en una capa delgada de la superficie, lo cual favorece la disminución de la erosión, con lo cual se forma una costra deposicional más delgada y con estructura abierta y más porosa, que favorece la emergencia de las semillas (2, 4, 8, 9, 10, 11, 12). Entre los polímeros naturales se encuentran los polisacáridos, los cuales son mucilagos asociados con las raíces en general y con la estructura de las células del parénquima acuífero, que contiene el jugo celular de carácter mucilaginoso de plantas como el cardón de dato (CD), el cardón de lefaria (CL) y la tuna española (TE) entre otras (4, 17).

Se ha reportado que los mucilagos producen un efecto similar a la PAM (17). Cárdenas *et al.*, citados por Gardiner *et al* (4), corroboraron que el mucilago del cactus forma grandes polisacáridos parecidos a las pectinas solubles en agua y sugirieron que por promover la floculación, podrían funcionar como clarificadores del agua. En Venezuela esa suposición de Cárdenas parece confirmarse, porque los agricultores tradicionalmente han utilizado los cardones para clarificar el agua de lagunas. No obstante, Gardiner *et al* (4), reporta que el efecto de los extractos de cactus no había sido estudiado, para el momento de la publicación de su artículo.

Con base a lo señalado se ha propuesto como objetivo de este trabajo, evaluar el efecto de tres tipos de AN preparados a base de cactus, sobre la profundidad de penetración del agua en el suelo (PPA), la conductividad

hidráulica (CH) y la floculación de las partículas a través de la densidad de partículas de suelo (DPS) en suspensión, en un suelo Vertic Haplocambids ubicado en Quibor, con

la finalidad de identificar el efecto de la aplicación de los AN sobre algunas propiedades físicas que pudieren afectar el movimiento del agua.

Materiales y métodos

El suelo utilizado en el experimento fue colectado en la finca "La Caimana", del sector denominado Ojo de Agua Abajo, ubicado en la depresión de Quibor Estado Lara. El suelo se ha desarrollado sobre sedimentos lacustrinos calcáreos y de acuerdo a Pérez et al (7), pertenece a la serie Ojo de Agua, cuyo perfil representativo fue clasificado como Vertic Haplocambids arcilloso muy fino, mixto, no ácido, isohipertérmico. La Serie Ojo de Agua pertenece a una cubeta de decantación, con relieve plano y pendiente entre 0,2 y 0,5 %. El horizonte de 0-27 cm de la calicata número 11, considerada como la representativa del suelo bajo estudio, presenta entre sus principales características: una textura arcillosa que varía entre 53 y 60 %, CH entre 0,09 y 0,16 cm.h⁻¹; un contenido de calcio, magnesio y sodio, en extracto acuoso, de 8,0; 2,8 y 36 cmol⁽⁺⁾.kg, respectivamente; pH de 7,1, conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación de 8,36 dS.m⁻¹ y relación de adsorción de sodio (RAS) de 15,49. En general, los suelos de Quibor son considerados salinos, con alto contenido de sodio intercambiable al igual que el RAS, el cual presenta valores mayores de 3 y contenidos de limo que superan el 30 % (7). Estos suelos han sido reportados como suelos

altamente dispersivos por diversos autores (2, 8, 9).

Las suspensiones de cactus utilizados en el ensayo se prepararon a partir de cardón de dato (CD), (*Lemaireocereus griseus* Haw); cardón de lefaria (CL), (*Cereus deficiens*) y tuna española (TE), (*Opuntia ficus-indica*, Shee). Estas son plantas suculentas que contienen células parenquimáticas normalmente grandes, donde se almacena agua y contienen una gran vacuola de pared fina, con jugo celular de carácter mucilaginoso. Además, estas plantas tienen una capa delgada de citoplasma, la cual carece de cloroplastos o contiene muy pocos (13).

Para determinar el efecto de las diferentes concentraciones de cactus sobre la floculación del suelo y medir la densidad de partículas en suspensión, se procedió de la siguiente manera. A las plantas se les despojó tanto de la corteza como de la médula y se licuó la parte carnosa (parénquima acuífero) entre ambas, hasta lograr un tamaño de partículas muy fino, para luego preparar concentraciones de 32.000, 16.000, 8.000 y 4.000 mg L⁻¹ de cada cactus. Estas suspensiones constituyen lo que se ha denominado en este trabajo como Acondicionadores Naturales (AN). También se utilizó la PAM, producto comercializado en Vene-

zuela con el nombre de Magnifloc[®], a una concentración de 10 mg kg⁻¹. Considerando que la efectividad de la PAM para mejorar la infiltración, la conductividad hidráulica y la floculación del suelo, ha sido establecida por varios investigadores (1, 2, 5, 11), ese producto es utilizado en este trabajo como una referencia para calibrar el efecto de las concentraciones de cactus. Por último, fue utilizada el agua de las tuberías (C.E. de 0,7–0,72 dS m⁻¹) de los laboratorios del departamento de Suelos de la UCLA, como testigo de comparación.

Las evaluaciones para cada suspensión de CD, CL y TE así como para la PAM y para el agua de tubería, se realizaron en cilindros graduados de 1.000 mL, a los cuales se les agregó 50 g de suelo y agua hasta enrasar. Para evaluar cada uno de los cactus en sus diferentes concentraciones, se utilizaron seis cilindros graduados de 1.000 mL, tres de los cuales se enrasaron con agua destilada y tres con agua proveniente de las tuberías del laboratorio. Las pruebas en los cilindros que contenían agua de tubería, fueron efectuadas con la finalidad de evaluar si esa agua de tubería, podría causar algún efecto sobre la floculación del suelo que pudiera invalidar el experimento. Seguidamente, se agitó el contenido de los cilindros y se le midió la densidad de partículas en suspensión (DPS) en g L⁻¹, y su conductividad eléctrica (CE) en dS m⁻¹ a los 120 segundos. Una prueba similar a las anteriores, pero sin adición de acondicionadores, se realizó sólo con el agua procedente de

las tuberías del laboratorio, para ser utilizado como testigo, a fin de determinar el efecto comparativo entre esta agua y la de las diferentes concentraciones de cactus sobre la floculación.

Para determinar la profundidad de penetración del agua en el perfil (PPA), se hizo pasar a las suspensiones de CD, CL y TE en concentraciones de 32.000, 16.000, 8.000 y 4.000 mg L⁻¹, sobre el suelo contenido en un minicanal. Estos minicanales construidos en lamina de hierro, poseen un depósito de 50 cm de largo, 7 cm de ancho y 12 cm de profundidad, prolongado en ambos extremos con una extensión de 50 cm de largo en forma de V (10). Simultáneamente, en un tanque de 500 L, se prepararon las diferentes concentraciones de cactus y se aplicaron con un caudal de riego que osciló entre 0,035 y 0,037 L s⁻¹ durante 30 minutos, en uno de los extremos del minicanal, cuyo depósito había sido rellenado previamente con el suelo bajo estudio.

Las mismas suspensiones de cactus y en las concentraciones mencionadas, fueron utilizadas sobre el mismo suelo, para evaluar su CH en un permeámetro de carga constante (6). El volumen total del efluente (VE) que atravesó el suelo colocado en el permeámetro fue recogido y se determinó el VE por unidad de tiempo. Los resultados fueron analizados al nivel del 5 % mediante la prueba de medias con un modelo totalmente aleatorizado, con tres repeticiones, utilizando la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestran los valores de DPS en las dos fuentes de agua, independientemente de las concentraciones y los tipos de cactus utilizados. Los resultados revelan que no hay diferencias significativas entre las DPS medidas en las diferentes fuentes de agua, es decir, agua destilada y agua de tubería, este resultado confirma que cualquiera de los tipos de agua puede ser utilizado, sin que ello introduzca cambios significativos en la floculación o dispersión de las partículas del suelo evaluado.

Esta similitud en la DPS se consideró como asociada a un aumento de la concentración de los electrolitos en solución, causada por las suspensiones de cactus añadidas (cuadro 2), con lo cual se logró aumentar la concentración de la solución, por encima del valor de CFC en ambos tipos de agua, lo cual originó una floculación y una suspensión de partículas en cantidades similares en los dos tipos de agua.

Esa incorporación de electrolitos a las diferentes soluciones preparadas, pudiera explicarse a través del aporte de distintos ácidos orgánicos y electrolitos que se encuentran específicamente en el citoplasma y la vacuola de las células que componen los tejidos de los cactus (13) y que quedan libres una vez que estos son licuados. Adicionalmente, los AN suministran una sustancia mucilaginoso que por su alto peso molecular y su efecto agregante, contribuye con la formación de esos flóculos. Como consecuencia de lo

reportado en la discusión anterior, para este tipo de experimento se puede recomendar el uso del agua procedente de las tuberías del laboratorio, por ser más barata, facilitar la manipulación de los ensayos y porque se trabajaría en condiciones más similares a la realidad.

En el cuadro 3, se muestra el efecto ponderado sobre la PPA, la CH, la DPS y el VE, ejercido por las diferentes concentraciones de los AN estudiados, independientemente del tipo de acondicionador. Estos resultados evidencian que, a partir de la concentración de 4.000 mg L^{-1} , hay diferencias significativas entre las distintas concentraciones y el testigo para todas las variables evaluadas y se aprecia que cuando se utilizan concentraciones iguales o superiores a 4.000 mg L^{-1} , todas las soluciones de riego evaluadas, promueven una mayor PPA, CH, VE y una menor DPS. Por estas razones, el uso de cualquiera de los AN probados, utilizados a la menor concentración ensayada sería lo más recomendable, dado que la respuesta al nivel de la concentración más baja, hace más viable la utilización de estos cactus en un manejo agronómico.

Según Gardiner et al (4), la persistencia del efecto del extracto de cactus sobre las propiedades del suelo es desconocida, como también son desconocidos los ingredientes activos específicos y los mecanismos por los cuales ello funciona, pero sugiere que las propiedades de floculación de la PAM y el extracto de cactus, pudieran funcionar de manera similar. De modo

Cuadro 1. Efecto del tipo de agua utilizada en la dilución de los acondicionadores naturales y la poliacrilamida (PAM) con respecto a la densidad de partículas en suspensión (DPS) en la solución del suelo.

Tipo de agua	DPS los 120 segundos (g L ⁻¹)
Agua de chorro + Acondicionadores naturales	17,583 a
Agua destilada + Acondicionadores naturales	16,750 a
C.V. (%)	10,25

Cuadro 2. Conductividad eléctrica (CE) de los diferentes tipos de agua, medida antes y después de agregarle los acondicionadores naturales (AN).

Acondicionador	Concentración (mg L ⁻¹)	CE después de aplicados los AN (dS m ⁻¹)	
		Agua de tubería	Agua destilada
Cardón de Dato	32.000	1,8	1,4
	16.000	1,8	1,4
	8.000	1,8	1,0
	4.000	1,8	1,0
Cardón de Lefaria	32.000	2,0	1,8
	16.000	1,8	1,4
	8.000	1,8	1,4
	4.000	1,8	1,2
Tuna Española	32.000	2,06	1,6
	16.000	2,13	1,4
	8.000	1,80	1,2
	4.000	1,46	1,2
		CE antes de aplicar los AN (dS m ⁻¹)	
		0,7 – 0,72	0,002 – 0,004

Cuadro 3. Efecto ponderado de las diferentes concentraciones de AN sobre algunas características físicas.

Concentraciones (mg L ⁻¹)	PPA (cm)	CH (cm h ⁻¹)	DPS a los 120 s (g L ⁻¹)	VE (mL h ⁻¹)
32.000	4,111 a	0,114 a	11,94 a	2,836 a
16.000	3,989 a	0,108 a	15,22 b	2,683 a
8.000	4,000 a	0,063 b	18,22 c	1,582 b
4.000	3,233 b	0,057 b	23,28 d	1,417 b
Testigo	2,933 c	0,038 c	42,67 e	0,960 c
C.V. (%)	13,48	6,16	10,25	

1/Medias entre columnas mostrando diferentes letras son significativamente diferentes al nivel del 5% de acuerdo a prueba de rangos múltiples de Duncan.

PPA= Profundidad de penetración del agua.

CH= Conductividad hidráulica.

DPS= Densidad de partículas en suspensión.

VE= Volumen total de efluente.

que, por extensión de lo citado por Gardiner et al (4), se pudiera explicar el efecto del CD, del CD y de la TE, sobre las propiedades evaluadas.

Aún cuando Gardiner et al (4), indican que no se han reportado explicaciones satisfactorias al mecanismo de actuación de los extractos de cactus, los resultados sugieren que los mucílagos sintetizados por los cactus, son polisacáridos en cuya estructura están presentes grupos NH_2 , COOH y OH , los cuales al disociarse en presencia de agua, dejan cargas libres que funcionan como puentes o agentes enlazantes directos con las arcillas. Tisdall y Oades (15), al describir los microagregados, indican que la materia orgánica que une sus partículas, está constituida por agentes enlazantes persistentes, entre los cuales se encuentran polímeros que pueden ser fuertemente adsorbidos, como algunos polisacáridos y material orgánico estabilizado por asociación con metales.

La mayor PPA del agua en los tratamientos con los AN en relación con el testigo, podría ser explicado sobre la base de una microestructura más permeable de los suelos bajo tratamiento, estructura que estaría formada por partículas de arcilla floculadas en una disposición al azar, a través del mecanismo de los enlaces borde-cara sugeridos y descritos por Lentz al (5) y Southard et al (12). Estos enlaces al azar, generarían una mayor floculación del suelo y propiciarían la formación de una microestructura la cual permitiría un avance mucho mayor del frente de agua con respecto a la profundidad y un aumento de la CH.

Con la finalidad de discriminar el efecto de los diferentes AN a la concentración de 4.000 mg L⁻¹ sobre las variables estudiadas, en el cuadro 4 son mostrados los resultados de esa prueba.

Cuadro 4. Efecto de los AN a concentración de 4.000 mg.L⁻¹, PAM a 10 mg.L⁻¹ y el agua de tubería, sobre algunas características físicas del suelo de Quibor.

Acondicionador	PPA (cm)	CH (cm h ⁻¹)	DPS a los 120 segundos (g L ⁻¹)
CD 4.000	3,433 ab	0,094 a	2,33 a
CL 4.000	3,267 b	0,041 b	31,00 b
TE 4.000	3,000 c	0,035 b	43,00 c
PAM 10	3,633 a	0,101 a	34,67 b
Testigo	2,933 c	0,038 b	2,67 c
CV (%)	4,42	10,79	7,84

1/ Medias en las columnas mostrando diferentes letras, son significativamente diferentes al nivel del 5% de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Duncan.

PPA= Profundidad de penetración del agua.

CH= Conductividad hidráulica.

DPS= Densidad de partículas en suspensión.

En ese cuadro 4 se aprecia que el CD 4.000, el CL 4.000 y la PAM 10, propiciaron un incremento significativo de la PPA con relación al testigo, mas no sucedió así con la TE 4.000.

Con relación a la CH, sólo la PAM 10 y el CD 4.000, permitieron un aumento significativo en la CH con respecto al testigo (cuadro 4).

Con relación a la DPS, el cuadro 4 revela que el CD 4.000 y el CL 4.000 propiciaron una DPS significativamente menor que la del testigo. El efecto de la TE sobre la misma variable fue similar al del testigo. La DPS conseguida con CD 4.000, fue significativamente menor que la obtenida con la PAM 10 y la conseguida con el tratamiento CL 4.000 fue similar a la de la PAM 10.

Estos resultados mostrados en el cuadro 4, indican que entre los AN a la concentración de 4.000 mg L⁻¹, el CD

4.000, fue el mejor acondicionador al propiciar la mayor PPA, la mayor CH y la menor DPS.

Los efectos logrados por el PAM sobre las variables estudiadas han sido suficientemente explicados (5, 11). No obstante, el mayor incremento en la PPA y la CH propiciado por el CD, así como la menor DPS alcanzada con la aplicación del CD a la concentración de 4.000 mg.L⁻¹, pudieran explicarse sobre la base de la mayor capacidad de secreción de mucílago del CD. Torres y Sanabria (16), han reportado que el cardón de dato tiene de 2 a 17 cavidades secretoras del mucílago, el cardón de lefaria de 6 a 8 y la tuna española de 1 a 2.

En concordancia con lo expuesto, se sugiere que el contenido de mucílago y la adición de electrolitos a la suspensión es mayor con la aplicación del CD, lo cual daría origen a flóculos de mayor tamaño y por consiguiente a

una precipitación más rápida de los mismos.

Conclusiones

Todas las soluciones de cactus evaluadas, promueven condiciones favorables en el suelo tratado, debido a que con su aplicación en el agua de riego, se obtiene una mayor PPA, CH, VE y una menor DPS que con el agua de riego utilizada por el productor.

El uso de cualquiera de los AN probados, utilizados a la menor concentración ensayada (4.000 mg L^{-1}), sería lo más recomendable, dado que la respuesta al nivel de la concentración

más baja, la hace más económicamente viable.

Entre los AN probados a la concentración de 4.000 mg L^{-1} , el CD 4.000, fue el mejor acondicionador al propiciar la mayor PPA, la mayor CH y la menor DPS, razón por la cual puede concluirse que podría ser el más recomendable de utilizar.

Recomendaciones

Aún cuando los ingredientes activos específicos y los mecanismos de funcionamiento son desconocidos, se postula que los compuestos por los que está formado el mucílago generan floculación y formación de

microagregados. Este postulado debe ser corroborado a través de estudios dirigidos específicamente a identificar los compuestos y su verdadera acción en los procesos observados.

Literatura citada

1. Bresson, L. M. 1995. A review of physical management for crusting control. En: Australian cropping systems. Research opportunities. Aust. J. Soil Res. 33: 195-209.
2. Francisco, D., O. Rodríguez y N. Ortiz. 1994. Efecto de poliacrilamidas aniónicas en los sedimentos del agua de riego y en la emergencia de la cebolla. Mem. VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, Colombia. p. 105.
3. Gavande, S. A. 1973. Física de suelos, principios y aplicaciones. Edit. Limusa-Wiley. México.
4. Gardiner, D., F. Peter y T. Carr. 1999. Cactus extract increases water infiltration rates in two soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 30:1713-1719.
5. Lentz, R., I. Shainberg, R. Sojka y D. Carter. 1992. Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1926-1932.
6. Plá, S. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de los suelos en condiciones tropicales. Alcance. Rev. Fac. de Agron. UCV. No. 32. Venezuela.
7. Pérez, J., R. Schargel, J. Gómez y C. Ohep. 1995. Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del Valle de Quibor. SHYQCA-UCLA. Barquisimeto, Venezuela.

8. Ramírez, H., O. Rodríguez e I. Shainberg. 1999. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. *Soil Sci.* 164:351-357.
9. Shainberg, I. y O. Rodríguez. 1993. Reporte sobre la gira de estudio al Valle de Quíbor. Informe realizado para el SHYQ C.A. Barquisimeto, Venezuela.
10. Shainberg, I. y M. J. Singer. 1985. Effect of electrolytic concentration on the hydraulic properties of depositional crust. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1260-1263.
11. Shainberg, I., D. N. Warrington y P. Rengassamy. 1990. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing. *Soil Sci.* 149:301-307.
12. Southard, R., I. Shainberg y M. J. Singer. 1988. Influence of electrolyte concentration on the micromorphology of artificial depositional crust. *Soil Sci.* 145:278-288.
13. Strasburger, E., F. Noll, H. Schenck y A. F. W. Schimper. 1970. *Tratado de Botánica*. Ed. Marín. España.
14. Sumner, R. E. 1993. Sodic soils: New perspectives. *Aust. J. Soil Res.* 31:683-750.
15. Tisdall, J. M. y J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stables-aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
16. Torres, A. y M. E. Sanabria, 1999. Informe preliminar sobre el estudio anatómico de algunas plantas suculentas de la Depresión de Quíbor. Lara, Venezuela. UCLA, Agronomía. Informe interno.
17. Wallace, A. 1986. A polysaccharide (Guar) as a soil conditioner. *Soil Sci.* 141:371-373.