INVESTIGACIÓN

VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO CON ADICIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS[1]

Changes in soil physical properties over time after the addition of organic amendments[1]

Oscar Seguel S.[2 *], Víctor García de Cortázar G. de C.[2] y Manuel Casanova P.[2]

A B S T R A C T

The present study had the objective of evaluating the potential of a biofertilizer and bovine manure as agents to improve soil physical properties. The applied biofertilizer came from residues produced by a Batch biodigestor and the manure came from a dairy. A soil amendment was made in plots of 6 x 3 m with four treatments and three replicates. The treatments, in a volumetric ratio, were: control without amendment; soil:biofertilizer mixture on a 3:1 ratio. Soil:biofertilizer mixture on a 1:1 ratio; soil:manure mixture on a 1:1 ratio. In the second year, the plots were divided in two, leaving subplots of 6 x 1.5 m, one of which had a second amendment with the same organic material and the same ratio. The effects of the treatments were evaluated at one month, one year and two years after the first application. The soil parameters evaluated were: bulk density, specific weight, water retention, water infiltration rate and aggregate stability. A cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) plantation was established as a test plant. The application of organic material in great volume provoked a decrease on soil bulk density in the short run; consequently, total porosity increased, particularly the coarse pores (reflected in the pF curve). The specific weight and available water were not different between treatments, while the water infiltration rate increased with amendments. There was an increase in the aggregate stability in the short term, but with successive applications the effect disappeared. Finally, the biofertilizer applications promoted cactus growth of shoots and production of DM.

Key words: aggregate stability, biofertilizer, manure, soil physical properties.

R E S U M E N

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la potencialidad del bioabono y el estiércol de bovino como agente mejorador de las propiedades físicas del suelo. El bioabono aplicado provino de un biodigestor tipo Batch, mientras que el estiércol provino de una lechería. El acondicionamiento del suelo fue realizado en parcelas de 6 x 3 m, con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos, en mezcla volumétrica, fueron: testigo sin acondicionar, mezcla de suelo:bioabono en relación 3:1, mezcla suelo:bioabono en relación 1:1 y mezcla suelo:estiércol en relación 1:1. En el segundo año, las parcelas fueron divididas en dos, generando subparcelas de 6 x 1,5 m, una de las cuales tuvo un segundo acondicionamiento con el mismo material y proporción. Las evaluaciones se realizaron un mes, un año y dos años después de la primera aplicación orgánica. Las propiedades de suelo evaluadas fueron: densidad aparente, densidad real, retención de agua, velocidad de infiltración y estabilidad de agregados. Se estableció un cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) como planta indicadora. Las aplicaciones de materia orgánica en grandes volúmenes provocaron en el corto plazo una disminución de la densidad aparente; consecuentemente, aumentó la porosidad total, especialmente los poros gruesos (reflejados en la curva pF). La densidad real y el agua aprovechable no presentaron diferencias entre tratamientos, mientras que la infiltración de agua aumentó con la aplicación de enmiendas. Hubo un incremento de la estabilidad de agregados en el corto plazo, pero con aplicaciones sucesivas el efecto desapareció. Finalmente, las aplicaciones de bioabono promovieron el desarrollo de brotes y la producción de MS de la tuna.

Palabras clave: estabilidad de agregados, bioabono, estiércol, propiedades físicas de suelo.

[1] Recepción de originales: 13 de agosto de 2002 (reenviado).
Trabajo financiado por Proyecto FONDECYT 1940390.
[2] Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Casilla 567, Valdivia, Chile. E-mail: oscarseguel@uach.cl
*Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) como componente natural del suelo, corresponde a la mezcla heterogénea de residuos de flora y fauna en vías de descomposición, y materiales húmicos polimerizados. Niveles adecuados de MO en el suelo promueven la formación de macroporos y, consecuentemente, mejoran la tasa de infiltración, además de facilitar la labranza y permitir una adecuada aireación del suelo (Kemper y Rosenau, 1986; Brady y Weil, 2000). Por estas razones, frente a niveles bajos de MO se recomienda la incorporación de residuos orgánicos, los que producirán cambios físicos y químicos favorables para el suelo.

La densidad aparente (Db) es una de las propiedades más determinantes de las características de permeabilidad y aireación del suelo, y su persistencia en el tiempo es reflejo de la estabilidad de los agregados (EA). Así, diversos autores coinciden en señalar que aplicaciones de MO al suelo provocan una disminución de la Db, como consecuencia de un aumento de la macroporosidad (Kehr, 1983; Letey, 1985; Novoa *et al.*, 1991; Kay *et al.*, 1997). Además, de esta menor Db se obtienen incrementos notables en la infiltración del agua (Bruce *et al.*, 1992; Le Bissonnais y Arrouays, 1997) y un mayor contenido de agua aprovechable del suelo (Hudson, 1994).

La EA es definida como la persistencia de los agregados frente a determinadas fuerzas destructivas, sean éstos factores climáticos, de presión por tráfico u otros (Kemper y Rosenau, 1986; Kay y Angers, 2000). Está determinada por el tipo y contenido de arcilla, los iones asociados al complejo de intercambio, los óxidos de Fe y Al, la Db, el número de contactos entre partículas, la tensión de agua y los niveles de MO (Thompson y Troeh, 1982; Horn, 1993; Hartge, 2000), y su persistencia en el tiempo posee efectos ambientales en la conservación del suelo y el rendimiento de los cultivos (Olson *et al.*, 1999; Brady y Weil, 2000).

A pesar de todas estas ventajas aparentes, existe también un sinnúmero de investigaciones que no concuerdan plenamente con los resultados antes mencionados. Al respecto, en un estudio de la zona sur de Chile (Kehr, 1983) se compararon los efectos del estiércol, la cal y un acondicionador sintético sobre las propiedades físicas de un suelo, determinando ventajas del estiércol al producir un aumento en la macroporosidad (mejor aireación e infiltración), con formación de agregados de mayor tamaño, pero sin diferencias significativas respecto a los agentes químicos. Otro estudio (Caviedes y Vergara, 1988) en la zona central de Chile, concluyó que las aplicaciones de bioabono y compost no afectan la Db y la infiltración acumulada respecto a un testigo, y recomiendan estos productos sólo como fuente de nutrientes para una mayor producción de biomasa.

Por otra parte, Novoa *et al.* (1991), en aplicaciones de estiércol versus fertilización química equivalente, obtuvieron una menor Db en el tratamiento con estiércol, pero no encontraron diferencias significativas en la retención de agua expresada en base a volumen. Estos mismos autores concluyeron que la aplicación de estiércol no tiene un beneficio que se refleje en los rendimientos de los cultivos, lo que es comparable a resultados de Chamy (1993), quien trabajando con bioabono, concluyó que la principal ventaja de la aplicación de MO al suelo está dada por su efecto acondicionador, siendo secundario su valor como fertilizante.

Los resultados obtenidos en trabajos con enmiendas orgánicas varían dependiendo del tipo y grado de descomposición del material utilizado (Tisdall y Oades, 1982; Kay y Angers, 2000). Un rastrojo fresco de cosecha no tendrá la misma velocidad de descomposición, ni los mismos efectos que un aporte de estiércol fresco o algún residuo orgánico previamente estabilizado, como lo es el bioabono. Monier (1965, citado por Kay y Angers, 2000) señaló que los últimos productos de transformación de la MO del suelo (sustancias húmicas) tienen un efecto pequeño pero a largo plazo en la estabilidad de agregados, mientras que residuos frescos, cuya descomposición genera polisacáridos como productos secundarios, poseen un efecto mayor sobre la estabilidad, pero en el corto plazo. Sin embargo, otros autores concluyeron

que los residuos frescos o descompuestos tienen un efecto variable sobre la estabilidad de los agregados (Gupta *et al*., 1987; Rawitz *et al*., 1994; Zhang y Hartge, 1995).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del bioabono y el estiércol fresco sobre algunas propiedades físicas del suelo, mediante aplicaciones sucesivas, teniendo como planta indicadora un cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). Se espera que el estiércol, por ser un material orgánico menos estable, tenga efectos inmediatos y de mayor magnitud que el bioabono.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Región Metropolitana, en la Estación Experimental Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (33º 40' lat. S, 70º 38' long. O), en un suelo de la Serie Santiago (familia franca gruesa, sobre arenosa esqueletal, mixta, térmica, Entic Haploxeroll). El ensayo de terreno se extendió desde enero de 1995 a marzo de 1997. Los análisis físicos y químicos se realizaron en los laboratorios de Riego y Reciclaje Orgánico de dicha Facultad.

Las unidades experimentales, distribuidas en bloques completos al azar, consistieron en parcelas de 6 x 3 m, en cuyo centro se plantó, en el verano de 1995, una hilera de cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), distanciados a 0,5 m. A ambos costados de las plantas, que no hacen aportes significativos de MO al suelo, se acondicionó volumétricamente, en fajas de 0,3 m de ancho y 0,3 m de profundidad, aplicando diferentes dosis de materiales orgánicos: bioabono y estiércol de bovino. El bioabono fue el resultado de una mezcla en iguales proporciones de rastrojo de trigo (*Triticum aestivum* L.) y estiércol fresco de bovino, proveniente de un digestor tipo Batch, donde se realizó una fermentación anaeróbica durante tres meses con drenaje de líquidos. El estiércol provino de un patio de alimentación con piso de tierra de una lechería, y se extrajo el material acumulado durante dos meses.

Para el acondicionamiento se harnearon ambos materiales secos al aire a un tamaño menor a 0,5 cm; se procedió a retirar todo el suelo de las fajas, se ejecutó la mezcla en el exterior con cubos de 5 L, se mezcló el material con el suelo y finalmente se reincorporó al sitio. El suelo sobrante fue retirado del ensayo. En el caso del testigo se provocó una disturbación similar a la experimentada por los otros tratamientos. Al cabo de un año, en el verano de 1996, se efectuó un segundo acondicionamiento, pero sólo a un costado de la línea de plantas (lado sur). Los tratamientos fueron los siguientes: testigo, suelo sin acondicionador (T0); relación suelo:bioabono = 3:1 (B1); relación suelo:bioabono = 1:1 (B2); y relación suelo:estiércol = 1:1 (E1). Se indica con "n" los ensayos con aplicación durante un año, y con "s" los ensayos con dos años consecutivos.

Cada tratamiento contó con tres repeticiones. Se regó permanentemente por surcos, ubicados en el lado externo de la zona disturbada, con el propósito de inundar la zona acondicionada. Las evaluaciones, principalmente físicas, se realizaron al tiempo cero (después del acondicionamiento de 1995) y dos años después, en marzo de 1997, tanto para los tratamientos con un único acondicionamiento inicial (lado norte, tratamientos n) como para los con acondicionamiento en 1995 y 1996 (lado sur, tratamientos s). La excepción la constituyó la estabilidad de agregados (EA), que fue evaluada, tanto en el lado norte como en el lado sur, en enero de 1996 (al cabo de un año del primer acondicionamiento, previo al segundo acondicionamiento de las fajas del lado sur) y al cabo de dos años (enero de 1997).

La EA se determinó mediante el método de la relación de dispersión (RD) (Dermott, 1967, citado por Berryman *et al.*, 1982), que evalúa la estabilidad de los microagregados y su variación en función del manejo; se basa en la metodología del hidrómetro de Bouyoucos, lo que lo hace sencillo de implementar. En este análisis se tomaron muestras (tres repeticiones) de suelo de entre 5 y 20 cm de profundidad de los sectores acondicionados, cada una de las cuales se separó en dos submuestras. De cada submuestra se

seleccionaron 50 g de agregados de entre 1 y 2 mm, mediante tamizaje del suelo seco al aire; una de las submuestras fue sometida a una dispersión suave en 300 mL de agua destilada, mientras que la contramuestra se sometió a una dispersión drástica con agua destilada y 10 mL de oxalato de sodio. Las muestras se dejaron reposar una noche, y al día siguiente la muestra dispersada drásticamente fue agitada durante 10 min adicionales en un vaso metálico. Finalmente, en probeta enrasada a 1.000 mL de agua destilada, a ambas muestras se les determinó la densidad mediante hidrómetro y la temperatura a los 40 s desde que comienza el proceso de decantación. Así, mediante las fórmulas del método del hidrómetro de Bouyoucos, se expresa la densidad como contenido de arcilla más limo.

La RD se estima mediante la relación porcentual entre el contenido de limo más arcilla obtenidos por la dispersión suave y limo más arcilla totales, dado por la contramuestra con dispersión drástica. Para obtener el valor numérico de RD se utiliza la fórmula:

$$RD = 100 - [(L + A)ds / (L + A)dd] 100$$

donde:
(L + A)ds = (% de limo + % de arcilla) con dispersión suave.
(L + A)dd = (% de limo + % de arcilla) con dispersión drástica.
Valores altos de RD indican mayor EA que los valores bajos.

Aparte de la EA, los análisis físicos realizados fueron: densidad aparente (Db), por el método del cilindro y del terrón; densidad real con picnómetro, sin eliminación de MO; retención de agua, con muestras no disturbadas, a través del plato y olla de presión; y velocidad de infiltración mediante cilindro infiltrómetro; todas las metodologías se encuentran descritas en Klute (1986). Los cilindros utilizados para la Db fueron de 85 cm^3, mientras que para la retención de agua se utilizaron cilindros de 40 cm^3, con relación alto:diámetro de 1:2 y 2:5, respectivamente.

Finalmente, se midió el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la tuna a través del número de brotes, precocidad de brotación y rendimiento de MS en el primer año del ensayo (enero de 1996). Los resultados fueron sometidos a ANDEVA, y cuando fue necesario se aplicó la prueba de comparación múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$), en cuyo caso los parámetros porcentuales fueron transformados a grados Bliss.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para efectos prácticos, si bien se aplicaron residuos orgánicos, Bohn *et al.* (1993) señalaron que al cabo de 40 a 180 días existe una importante mineralización de los residuos, disminuyendo a partir de este momento las tasas de descomposición. Como la mayoría de las evaluaciones se concentraron al cabo de un año o más desde el acondicionamiento, en el presente artículo se habla en forma general de MO del suelo. La Figura 1 presenta los resultados de Db para el método del cilindro, indicando los valores en el año cero (un mes y dos riegos después del primer acondicionamiento) y al segundo año, tanto para los tratamientos con dos aplicaciones como para aquellos con una única aplicación inicial.

Sólo las aplicaciones de elevadas cantidades de MO presentan diferencias significativas que se mantienen en el tiempo; por otra parte, para aplicaciones sucesivas, sólo el estiércol mantuvo una condición mejoradora y permanente. Esta situación refleja que el bioabono, a pesar de ser un material estabilizado por fermentación anaeróbica, no es un acondicionador persistente en el tiempo, y probablemente sufre cambios importantes por descomposición al pasar a formar parte de un sistema aeróbico. Por otra parte, el estiércol presentó una mayor persistencia en el tiempo, a pesar de ser teóricamente un material de mayor tasa de descomposición que el bioabono. Sin embargo, este comportamiento también puede deberse a la mayor compresibilidad de los materiales altamente humificados respecto a aquellos más frescos (Zhang y Hartge, 1995).

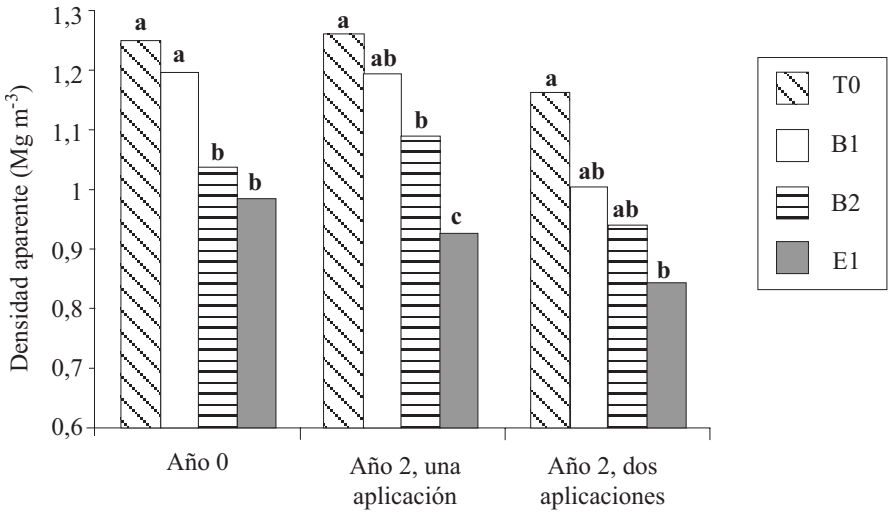

Figura 1. Valores de densidad aparente (Mg m^{-3}) según método del cilindro, al inicio y dos años después de iniciado el ensayo.

Figure 1. Bulk density values (Mg m^{-3}) by core method, at the beginning and two years after the start of the trial.

T0: testigo; B1: suelo:bioabono = 3:1; B2: suelo:bioabono = 1:1; E1: suelo:estiércol = 1:1.
Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada año (Duncan, P < 0,05).

El testigo (T0) del año 2 con "dos aplicaciones" tuvo una Db menor como efecto de la disturbación a la que fue sometido en el año 1996, lo que significa que al cabo de un año no se había asentado al nivel del control con una aplicación. La Db por el método del terrón no arrojó diferencias significativas, debido a que la alteración por el acondicionado no permitió la formación de macroestructura al cabo de dos años. Como consecuencia, es posible que el muestreo de terrones haya considerado agregados que no estuvieron en íntimo contacto con los materiales acondicionadores.

Los resultados de las mediciones de densidad real, si bien tuvieron una tendencia a disminuir con las aplicaciones orgánicas, no presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo (datos no presentados). En general, el método del picnómetro presenta una gran variabilidad para los tratamientos con altos contenidos de MO (Blake y Hartge, 1986), y sólo las aplicaciones continuas de estiércol permiten obtener tendencias claras en el tiempo. La densidad real de los materiales puros fue de 1,85 y 1,95 Mg m^{-3} para el estiércol y el bioabono, respectivamente, valores que resultaron mayores a los señalados por Skopp (2000), en torno a 1,0 Mg m^{-3}, pero dentro del rango de 1,4 a 2,0 Mg m^{-3} indicado para suelos orgánicos (de Boodt, 1975; Das, 1997), por lo que no se descarta que en la recolección y manejo de los sustratos orgánicos existió contaminación con materiales minerales.

En cuanto a las características de retención de agua, la Figura 2 presenta las curvas para los distintos tratamientos. Como puede verse, existe un importante aumento de la porosidad mayor a 30 mm, resultado de la menor Db y mejor estructura. También existe un pequeño incremento de la porosidad muy fina (< 2 μm), debido a la contribución de porosidad fina de los materiales orgánicos. La tendencia fue similar en una segunda aplicación anual. Para el rango de agua disponible, en general a altas presiones (> 1.000 kPa) las diferencias entre tratamientos desaparecieron.

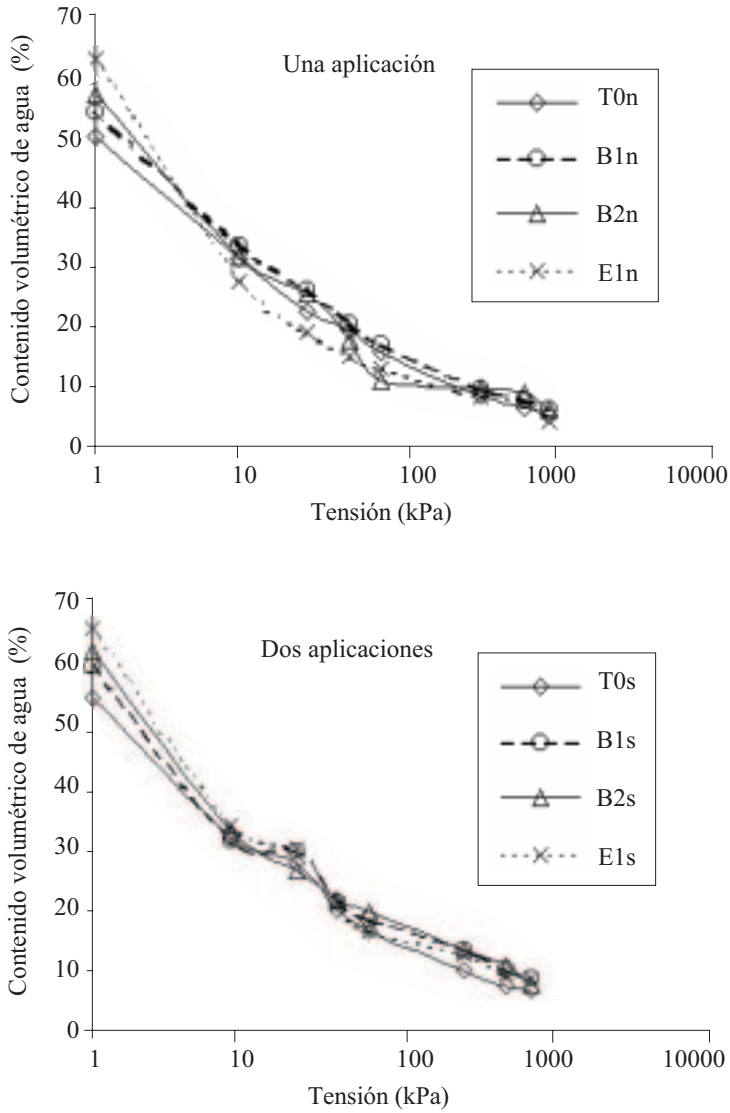

Figura 2. Curvas características de agua del suelo, expresadas en forma volumétrica, dos años después de realizar una (n) o dos (s) aplicaciones de materia orgánica. Muestras no disturbadas.

Figure 2. Soil water retention curve, in volumetric terms, two years after one (n) or two (s) organic matter applications. No disturbed samples.

T0: testigo; B1: suelo:bioabono = 3:1; B2: suelo:bioabono = 1:1; E1: suelo:estiércol = 1:1; n: una aplicación; s: dos aplicaciones.

En términos gravimétricos, las aplicaciones de MO promovieron un incremento de retención de agua en toda la curva, pero debido a la menor Db generada en dichos tratamientos, la disponibilidad de agua fue similar (Cuadro 1), sin diferencias significativas entre los tratamientos. Dependiendo de la intensidad del acondicionamiento, existió un ligero incremento en la disponibilidad y retención de agua cuando se realizaron dos aplicaciones de MO, especialmente a bajas presiones (Figura 2, Cuadro 1). El aumento se verificó también en el control, lo cual probablemente indica que existió una cantidad de MO aportada por la descomposición de la raíz de la tuna.

Cuadro 1. Agua aprovechable para los tratamientos con una y dos aplicaciones de materia orgánica al cabo de dos años desde la primera aplicación. No existieron diferencias estadísticas significativas.

Table 1. Available water for the treatments with one and two organic matter applications two years after first application. There were no statistical differences.

Tratamiento	Agua aprovechable (Porcentaje volumétrico)
T0n	16,9
B1n	17,3
B2n	16,2
E1n	12,7
T0s	18,9
B1s	19,1
B2s	18,2
E1s	16,7

T0: testigo
B1: suelo:bioabono = 3:1
B2: suelo: bioabono = 1:1
E1: suelo:estiércol = 1:1
n: una aplicación.
s: dos aplicaciones.

En concordancia con lo señalado por Novoa *et al.* (1991), no existieron diferencias significativas, tanto entre tratamientos como entre número de aplicaciones de acondicionador, debido principalmente a la menor Db generada por efecto de la incorporación de MO. Más aún, el tratamiento con estiércol (E1n) presentó valores de agua aprovechable menores que el testigo.

El principal efecto de los residuos orgánicos probablemente se encuentre en la mayor cantidad de macroporos, lo que favorecería una mejor aireación e infiltración de agua. La Figura 3 presenta los volúmenes de poros mayores a 30 μm, incluyendo el año cero, que correspondió a la evaluación un mes después del primer acondicionamiento. Se puede apreciar la mayor macroporosidad en los tratamientos acondicionados con mayores contenidos de materiales orgánicos. En cuanto a la intensidad de acondicionamiento, también existió un efecto positivo al acondicionar durante dos años consecutivos, esto a pesar de la menor densidad real inducida por la aplicación de MO.

Estos resultados no concuerdan con los de Lal *et al.* (1997) y Kay *et al.* (1997), quienes señalaron que con el aumento de los contenidos de carbono orgánico del suelo aumenta la porosidad menor a 30 μm (Figuras 2 y 3). Sin embargo, Anderson *et al.* (1990) encontraron un aumento de la porosidad gruesa (> 25 μm) cuando se realizan aplicaciones anuales de estiércol; la porosidad menor a 25 μm no sufriría cambios cuando en los suelos dominan arcillas expandibles.

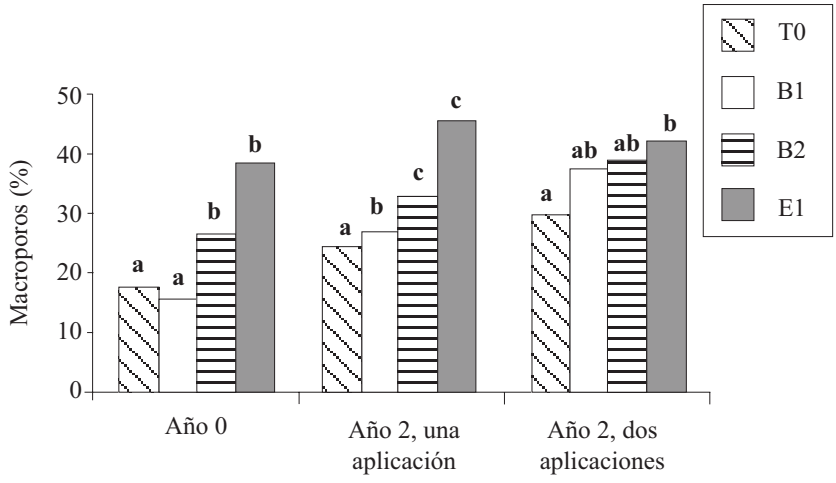

Figura 3. Porcentaje de poros >30 μm al inicio y dos años después de iniciado el ensayo.
Figure 3. Percentage of porosity >30 μm at the beginning and two years after the start of the trial.
T0: testigo; B1: suelo:bioabono = 3:1; B2: suelo:bioabono = 1:1; E1: suelo:estiércol = 1:1
Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada año (Duncan, P < 0,05).

El testigo aumentó su porosidad gruesa debido a que fue alterado al comienzo de cada año como parte de la metodología de los tratamientos; sin embargo, tampoco hay que descartar el efecto de las raíces de la tuna. Por otra parte, la mayor porosidad explica la mayor infiltración acumulada en los tratamientos orgánicos. En la Figura 4 se presentan los datos de la evaluación del año uno, antes de la segunda aplicación de MO. La mayor tasa de infiltración fue producto de la mayor estabilidad de los macroporos, debido a la depositación de MO en las paredes de éstos; mientras menor sea el contenido de MO, mayor será el riesgo de colapso de la estructura al regar el suelo (Mitchell *et al*., 1995; Le Bissonnais y Arrouays, 1997), ya que se pierde el efecto de la hidrofobicidad generada por la MO (Ellies *et al*., 1996).

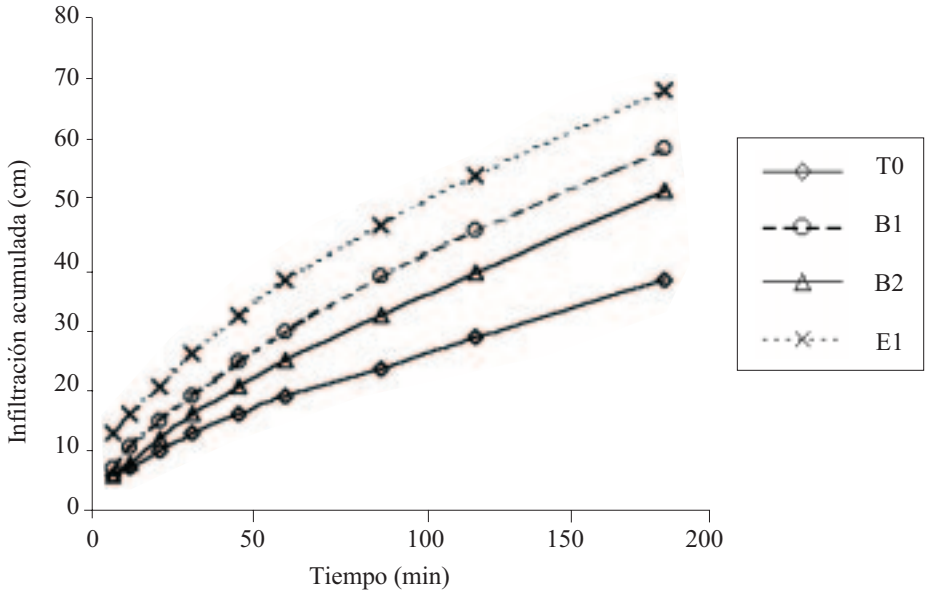

Figura 4. Infiltración acumulada (cm) evaluada después del primer año de acondicionamiento.
Figure 4. Accumulated infiltration (cm) evaluated after the first year of the conditioning.
T0: testigo; B1: suelo:bioabono = 3:1; B2: suelo:bioabono = 1:1; E1: suelo:estiércol = 1:1

En cuanto a la EA, en la Figura 5 se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas al cabo de un año de la primera aplicación (año 1, enero de 1996 y previo al segundo acondicionamiento) y al cabo de dos años de esta primera aplicación. Al comparar los tratamientos en la evaluación del año 1, se aprecia una gran respuesta del suelo ante un manejo que altera fuertemente sus características estructurales; al cabo de un año de acondicionar, la recuperación del tratamiento con estiércol fue significativamente superior respecto al testigo, esto debido al mayor aporte de polisacáridos, que favorecen más eficientemente la unión de partículas, como resultado de la descomposición de los materiales frescos (Havlin *et al*., 1999).

La EA se ve favorecida en el mediano y corto plazo por las aplicaciones de MO (Figura 5). Sin embargo, las diferencias entre tratamientos sólo fueron estadísticamente significativas entre el tratamiento con estiércol y el testigo; con aplicaciones anuales de grandes cantidades de MO (dos aplicaciones) las diferencias desaparecen. La menor respuesta a la aplicación de bioabono puede estar dada por el tamaño de agregado que se evaluó (1-2 mm), ya que Tisdall y Oades (1982) señalaron que, dependiendo del grado de descomposición del residuo, el efecto estabilizante de las partículas se produce sobre distintos tamaños de agregados. Al respecto, es necesario corroborar los resultados y otros ensayos similares con metodologías alternativas de estabilidad.

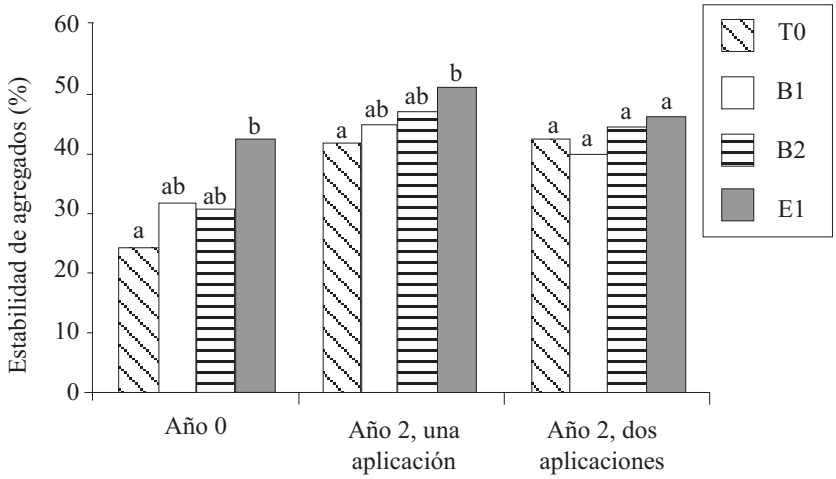

Figura 5. Estabilidad de agregados para 1er y 2º año en términos de porcentaje gravimétrico de suelo que soportó la dispersión aplicada según el método de Dermott.

Figure 5. Aggregate stability for the 1st and 2nd year in terms of gravimetric percentage of soil that withstood the dispersion applied by the Dermott method.

T0: testigo; B1: suelo:bioabono = 3:1; B2: suelo:bioabono = 1:1; E1: suelo:estiércol = 1:1
Letras distintas indican diferencias significativas dentro de cada año (Duncan, P < 0,05).

En relación al desarrollo de la tuna, todos los tratamientos orgánicos mejoraron la brotación y la producción de MS, en especial el bioabono (Cuadro 2).

A pesar de los cambios positivos que genera el estiércol sobre las propiedades físicas, su efecto en el desarrollo de la tuna se vio enmascarado por las propiedades químicas, teniendo el bioabono los mejores resultados. Si el ensayo no hubiese considerado riegos continuos, el resultado en el desarrollo de la tuna debiese haber reflejado ventajas para las aplicaciones de estiércol.

Cuadro 2. Algunas propiedades químicas del suelo, número promedio de brotes y producción de materia seca (g, promedio por planta) a un año del inicio del ensayo.

Table 2. Some soil chemical characteristics, average shoot number and dry matter production (g, average per plant) at one year from the start of the trial.

Tratamiento	CE (dS m^{-1})	N (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	Número de brotes	Producción de materia seca (g)
T0	1,5	238	110	4,75 a	169,10 a
B1	1,7	518	325	10,83 b	456,53 b c
B2	2,0	938	740	12,50 b	598,55 c
E1	5,0	798	420	9,33 b	373,66 b

T0: testigo; B1: suelo:bioabono = 3:1; B2: suelo: bioabono = 1:1; E1: suelo:estiércol = 1:1
CE: Conductividad eléctrica.

CONCLUSIONES

- La aplicación de materia orgánica (MO) en grandes volúmenes favoreció las propiedades físicas del suelo, especialmente cuando se acondicionó con estiércol. Los resultados más importantes correspondieron a la disminución de la densidad aparente, con un aumento de la porosidad gruesa. El riego enmascaró parte de estos beneficios, prevaleciendo las características químicas favorecidas por el biofertilizante sobre el desarrollo de la tuna.
- El acondicionamiento con MO no generó un efecto importante sobre la retención de agua del suelo, pero la infiltración de agua mejoró respecto al tratamiento testigo.
- El tratamiento con estiércol, un año después de la aplicación, tuvo una recuperación significativa de la estabilidad de los agregados, evaluada por el método de la relación de dispersión. El efecto tendió a desaparecer en el segundo año y con las aplicaciones sucesivas.

LITERATURA CITADA

Anderson, S.H., C.J. Gantzer, and J.R. Brown. 1990. Soil physical properties after 100 years of continuous cultivation. J. Soil Water Conserv. 45:117-121.

Berryman, C., D. Davies, C. Evans, M. Harrod, A. Hughes, R. Skinner, R. Swain, and D. Soane. 1982. Techniques for measuring soil physical properties. 116 p. Formerly Advisory Paper Nº18. Reference Book 441. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Swedish.

Blake, G.R., and K.H. Hartge. 1986. Particle density. p. 363-375. Vol.1. *In* Klute, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2nd ed. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, USA.

Bohn, H., B. Mcneal, and G. O'connor. 1993. Química del suelo. 370 p. M. Sánchez (trad.). Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, Balderas, México.

Brady, N.C., and R.R. Weil. 2000. Elements of the nature and properties of soils. 559 p. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Bruce, R., G. Langdale, L. West, and W. Miller. 1992. Soil surface modification by biomass inputs affecting rainfall infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1614-1620.

Caviedes, L., y M. Vergara. 1988. Efecto de los residuos de la biodigestión anaeróbica y aeróbica sobre algunas propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. 96 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile.

Chamy, J. 1993. Efecto de sustratos acondicionados con bioabono sobre la morfología de las raíces y parte aérea del kiwi. 92 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile.

Das, B.M. 1997. Soil mechanic laboratory manual. 278 p. Engineering Press, Austin, Texas, USA.

De Boodt, M. 1975. Caracteres physiques et disponibilité en eau des substrats. Annales de Gembloux 81:59-72.

Ellies, A., R. Grez, y C. Ramírez. 1996. Efecto de la materia orgánica sobre la capacidad de humectación y las propiedades estructurales de algunos suelos de la zona centro sur de Chile. Agro Sur 24:48-58.

Gupta, S.C., E.C. Schneider, W.E. Larson, and A. Hadas. 1987. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:207-212.

Hartge, K.H. 2000. The effect of soil deformation on physical soil properties. A discourse on the common background. p. 32-43. *In* Horn, R., J.J.H. van den Akker, and J. Arvidsson (eds.). Subsoil compaction. Distribution, processes and consequences. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany.

Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale, and W. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 499 p. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Horn, R. 1993. Mechanical properties of structured unsaturated soils. Soil Tech. 6:47-75.

Hudson, B. 1994. Soil organic matter and available water capacity. J. Soil Water Conserv. 49:189-194.

Kay, B.D., and D.A. Angers. 2000. Soil structure. p. 229-276. *In* Sumner, M. (ed.). Handbook of soil science. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA.

Kay, B.D., A.P. Da Silva, and J.A. Baldock. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic C content: predictions using pedotransfer functions. Can. J. Soil Sci. 77:655-667.

Kehr, E. 1983. Efecto de diferentes enmiendas sobre la evolución de las propiedades físico-hídricas de un suelo arcilloso. 67 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile.

Kemper, W., and R. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. p. 425-442. Vol. 1. *In* Klute, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Klute, A. (ed.). 1986. Methods of soil analysis. 188 p. Vol.1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Lal, R., A.A. Mahboubi, and N.R. Fausey. 1997. Long-term tillage and rotation effects on properties of a Central Ohio soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:517-522.

Le Bissonnais, Y., and D. Arrouays. 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. Eur. J. Soil Sci. 48: 39-48.

Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Adv. Soil Sci. 1:277-294.

Mitchell, A.R., T.R. Ellsworth, and B.D. Meek. 1995. Effect of root systems on preferential flow in swelling soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26:2655-2666.

Novoa, R., M. Martínez, y E. Letelier. 1991. Comparación de un sistema de fertilización mineral con uno de fertilización orgánica, en una rotación trigo-fréjol. Agricultura Técnica (Chile) 51:1-8.

Olson, K.R., D.L. Mokma, R. Lal, T.E. Schumacher, and M.J. Lindstrom. 1999. Erosion impacts on crop yield for selected soils of the North Central United States. p. 259-283. *In* Lal, R. (ed.). Soil quality and soil erosion. Soil and Water Conservation Society. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Rawitz, E.A., A. Hadas, H. Etkin, and M. Margolin. 1994. Short-term variations of soil physical properties as a function of the amounts and C/N ratio of decomposing cotton residues. II. Soil compressibility, water retention and hydraulic conductivity. Soil Tillage Res. 32:199-212.

Skopp, J.M. 2000. Physical properties of primary particles. p. 3-17. *In* Sumner, M. (ed.). Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Thompson, L., y F. Troeh. 1982. Los suelos y su fertilidad. 649 p. 4ª ed. Ediciones RIALP, Barcelona, España.

Tisdall, J.M., and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates. J. Soil Sci. 33:141-163.

Zhang, H.Q., and K.H. Hartge. 1995. Mechanical properties of soils as influenced by the incorporation of organic matter. p. 93-108. *In* Hartge, K.H., and B.A. Stewart (eds.). Soil structure. Its development and function. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.