

EFFECTO DEL APORTE DE ENMIENDAS ORGÁNICAS SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS E HIDROLÓGICAS DE UN SUELO URBANO DEGRADADO

GABRIELA CIVEIRA & RAÚL S. LAVADO

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires Av. San Martín 4453, C1417DSE Buenos Aires. Argentina.
E-mail: lavado@agro.uba.ar

Recibido: 31/03/06

Aceptado: 23/08/06

RESUMEN

Los suelos de las áreas urbanas y suburbanas suelen sufrir la pérdida del horizonte superficial, con grave deterioro en sus propiedades hidráulicas y físicas. Para remediar esta situación es necesario el aporte de grandes cantidades de materia orgánica, usualmente residuos orgánicos. Aun no está claro si la aplicación de esos residuos en superficie es más eficiente que su mezcla y enterramiento, para mejorar las propiedades de los suelos. Se estudió el efecto del agregado de diferentes mezclas basadas en biosólidos, sobre las llamadas "áreas de flujo preferencial" (AFP) y otras propiedades físicas e hidrológicas de la masa subsuperficial de un suelo disturbado.

Se llevó a cabo un experimento en columnas, rellenas con el horizonte Bt de un Argiudol típico y tratamientos basados en el agregado superficial o semienterrado de mezclas de aserrín y biosólido, arena y biosólido y compost de biosólido. Se cuantificaron AFP, densidad aparente, contenido de humedad, tasa de infiltración básica y se calcularon la porosidad total y el índice de expansión-contracción.

El horizonte Bt presentó el menor porcentaje de AFP. Los tratamientos con agregado de compost y mezclas de biosólido con arena o aserrín presentaron mayor porcentaje de AFP. La densidad aparente disminuyó y la infiltración aumentó con el agregado de enmiendas orgánicas. No se observaron diferencias entre aplicar las enmiendas orgánicas en superficie o incorporadas y mezcladas en la capa superficial.

Palabras clave. Remedación de suelos, residuos orgánicos, biosólidos, áreas de flujo preferencial, infiltración.

ORGANIC MATTER ADDITION EFFECT ON SOME HYDROLOGICAL PROPERTIES IN A DEGRADED URBAN SOIL

ABSTRACT

The soils of urban and suburban areas are very often subjected to the A horizon removal, which cause a strong hydraulic and physical properties degradation. To remediate this problem, the addition of large quantities of organic matter, usually organic residues, is needed. It is still not clear whether or not the surface application of those residues is more efficient than its mix within the topsoils, to improve soil properties. The effects of different mixes based on biosolids on the so called "Preferential flow paths" (PFP) and other hydraulic and physical properties of underlying soil was studied.

An experiment was performed in columns, filled with the Bt horizon of a Typic Argiudoll. Biosolid mixed with sawdust or sand or composted were applied on surface or mixed within topsoil. PFP, bulk density, water content, and water infiltration rate were measured and total porosity and the Shrink-Swelling Index were calculated.

The lower PFP percentage was found in the control (Bt horizon). Treatments receiving compost and biosolid mixes showed significant higher PFP percentage. Bulk density decreased and water infiltration increased after organic materials were applied. The hydraulic and physical properties of underlying soil improved both when organic materials were applied on surface or mixed within the control topsoils.

Key words. Soil remediation, organic residues, biosolids, preferential flow paths, water infiltration.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de las áreas urbanas y suburbanas suelen sufrir una agresión más intensa que la mayoría de los suelos agrícolas. Entre ellas, se destaca la extracción del horizonte superficial. La pérdida del estrato con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, y la exposición de horizontes subsuperficiales altera el ciclo del agua y somete al suelo a procesos de anegamiento en áreas planas o a erosión en áreas con pendiente (Bresson *et al.*, 2001; Larney & Janzen, 1996; Peverly & Gates, 1994).

Para mejorar las propiedades físicas del horizonte subsuperficial expuesto y recuperar las funciones hidrológicas de estos suelos degradados, es necesario el aporte de grandes cantidades de materia orgánica (Larney & Janzen, 1996; Pagliai *et al.*, 1981). Esto significa recrear el horizonte rico en materia orgánica en la capa superior del suelo, modificada por corte y extracción o relleno. Para llevar a cabo este proceso en una escala de tiempo razonable, no se puede contar con las tecnologías de enriquecimiento en materia orgánica utilizadas en la agricultura. Deben efectuarse grandes aportes instantáneos de materia orgánica, por ejemplo mediante el empleo de estiércol, biosólidos (provenientes de barros cloacales), residuos agroindustriales, etc. (Larney & Janzen, 1996). Por lo general, se suelen utilizar mezclas de material orgánico y material inerte, este último de granulometría gruesa (Adriano *et al.*, 1999). El agregado de materia orgánica aumenta la estabilidad estructural (Tisdall & Oades, 1982; Piccolo & Mbagwu, 1990; Sasal *et al.*, 2000), disminuye la densidad aparente (Khaleel *et al.*, 1981; Clapp, *et al.*, 1986; Tester, 1990), mejora las tasas de infiltración de agua y la conductividad hidráulica (Felton *et al.*, 1995). El incremento de la estabilidad y el número de los macro y mesoporos (Pagliai *et al.*, 1981; Pagliai & Antisari, 1993), afecta indirectamente la existencia y el funcionamiento de las llamadas "áreas de flujo preferencial" (AFP). Estas áreas son zonas del suelo donde los macro y mesoporos se encuentran en alta densidad y pueden ser formadas por grietas generadas por ciclos de humedecimiento-secado o por canales de raíces y lombrices (Kosmas *et al.*, 1991). Las AFP están relacionadas con el funcionamiento de las propiedades hidráulicas del suelo (Ritsema *et al.*, 1998; Beven & Germann, 1982). Las AFP establecidas en un suelo recuperado proveen una rápida vía de movimiento del agua de lluvia, mejorando el ciclo del agua y permitiendo que el suelo recuperado actúe en forma similar a como lo hacía el suelo anterior a la pérdida del estrato superficial (Guebert & Gardner, 2001).

Sin embargo, aún no está claramente establecido si la aplicación de residuos orgánicos en forma superficial es más eficiente en mejorar las propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes subsuperficiales, que la

mezcla y el enterramiento de esos residuos. Puede plantearse una similitud con el efecto de la siembra directa, comparado con el efecto de las labranzas. Algunos autores no encontraron diferencias hidrológicas, debido a la forma de aplicación de los residuos (Petersen *et al.*, 2001). Otros, en cambio, observaron la presencia de caminos preferenciales en el flujo vertical del agua en suelo bajo siembra directa (Logsdon *et al.*, 1990; Hangen *et al.*, 2002). De tal forma residuos de cosecha dejados superficialmente se comportan mejor hidrológicamente que los residuos incorporados al suelo (Harris *et al.*, 1993; Shiptalo *et al.*, 2000).

Se trabajó en columnas con el horizonte Bt de un suelo disturbado por la pérdida de los horizontes suprayacentes. En este contexto, nuestro objetivo fue evaluar el efecto del agregado de grandes dosis de biosólidos con distintos materiales acompañantes, aplicados sobre la superficie o incorporados y mezclados en los primeros centímetros, sobre las AFP y otras propiedades físicas e hidrológicas del suelo subyacente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló un diseño completamente aleatorizado con 7 tratamientos y con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: i) Horizonte Bt, únicamente (Bt). Se trató del horizonte Bt de un Argiudol típico ubicado en el gran Buenos Aires, cuya degradación fue causada por la extracción total de los horizontes suprayacentes (A11, A12 y B1) para producir ladrillos; ii) Horizonte Bt con agregado de 10 cm de compost de biosólido sobre la superficie (CoB); iii) Horizonte Bt con agregado de 10 cm de una mezcla de biosólido y aserrín (50/50) sobre la superficie (AS); iv) Horizonte Bt con incorporación y mezclado en los primeros 5 cm de una mezcla de biosólido y aserrín (50/50) (AS5); v) Horizonte Bt con incorporación y mezclado en los primeros 10 cm de una mezcla de biosólido y aserrín (50/50) (AS10); vi) Horizonte Bt con agregado de 10 cm de una mezcla de biosólido y arena (50/50) sobre la superficie (AR); vii) Horizonte Bt con incorporación y mezclado en los primeros 5 cm de una mezcla de biosólido y arena (50/50) (AR5); viii) Horizonte Bt con incorporación y mezclado en los primeros 10 cm de una mezcla de biosólido y arena (50/50) (AR10). Las principales características del horizonte Bt y de los materiales utilizados como enmiendas se describen en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

Se utilizaron columnas de PVC de 15 cm de diámetro y 40 cm de profundidad, las cuales fueron rellenas con 5,5 kg de suelo disturbado y seco. Seguidamente, sobre el horizonte Bt de cada columna, se colocaron las distintas enmiendas en forma superficial o se incorporaron y mezclaron. Para reconstruir la estructura del suelo de las columnas, se llevaron a cabo 3 ciclos de humedecimiento y secado (Lavado & Cairns, 1980), humedeciéndolas por capilaridad y luego dejándolas secar hasta la mitad de la capacidad de campo. Este procedimiento se prolongó por tres meses. Posteriormente, se determinó la infiltración básica en las columnas, adaptando el método propuesto por el USDA (1999). Se vertieron 500 ml de agua sobre la superficie de las columnas

y se contabilizó el tiempo que demoró la película de agua en penetrar en el suelo. Luego se determinó la presencia de áreas de flujo preferencial (AFP) siguiendo el método de la reacción del ion bromuro en presencia de un indicador (Lu & Wu, 2003). Se aplicaron a las columnas 500 ml de solución de 6 g K Br/L agua. Después de 6 horas se pulverizó la suspensión indicadora de Br⁻ (ferrocianuro de potasio+ trioxinitrato de hierro+ nitrato de plata) sobre el suelo. Se trabajó en la base de las columnas (medición de las AFP en forma horizontal) y luego de haber sido cortadas perpendicularmente las mismas (medición de las AFP en forma vertical) se observaron zonas coloreadas con diferente intensidad de azul y zonas no coloreadas. Las zonas coloreadas se debieron a la formación del complejo de azul de prusia derivado de la precipitación y transformación del Ag₂Fe(CN)₆ en AgBr. Siguiendo la propuesta de Dreccer y Lavado (1993), se asumió que la intensidad de coloración estaba relacionada con la densidad de AFP por unidad de área. Se cuantificaron las áreas intensamente coloreadas (alta densidad de AFP), áreas moderadamente coloreadas (baja densidad de AFP) y áreas no coloreadas (sin presencia de AFP). Los porcentajes de las AFP se calcularon según la ecuación de Dreccer y Lavado (1993). Los coeficientes utilizados fueron: 1,00 para las áreas intensamente coloreadas, 0,50 para las áreas moderadamente coloreadas y 0,00 para las áreas sin coloración, o sea sin presencia de AFP. La abundancia de AFP en cada tratamiento se estimó con la ecuación:

$$\text{AFP}(\%) = (0,00 * a) + (0,50 * b) + (1,00 * c) \quad \text{ecuación 1}$$

donde a, b y c representaron las superficies (%) de cada categoría de intensidad de color.

Además, se determinaron i) el contenido de humedad, por diferencia entre peso seco y húmedo; ii) la densidad aparente por el método del cilindro de Blake y Hartge (1986), utilizando la propia columna como indicadora de volumen y el peso del suelo dentro de ésta. Asimismo se obtuvieron dos variables de suelos, dependientes de ésta última, i) la porosidad total mediante la ecuación: Por. Total = 100 (1 - da/dr), donde se consideró que la densidad real fue de 2,65 g/cm³; ii) el índice de expansión-contracción (IEC), que surge de la diferencia entre las densidades aparentes en húmedo y en seco del suelo (Barbosa *et al.*, 1997). Las diferencias entre los tratamientos fueron analizadas estadísticamente mediante análisis de varianza y test LSD de diferencia de medias. Las relaciones entre factores se establecieron utilizando análisis de regresión (regresión simple o regresión por pasos). La intensidad de las relaciones se obtuvo mediante el coeficiente de correlación de Pearson. El procesamiento de datos se efectuó con el programa statistix.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 1 y 2 presentan las características principales del suelo y de las enmiendas orgánicas utilizadas en el experimento. El horizonte Bt del suelo utilizado presentó alta proporción de las fracciones arcilla y limo y bajo contenido de carbono orgánico. La densidad aparente en la columna, luego de la reconstrucción de la estructura fue alta, a la inversa de las enmiendas aplicadas. Como era esperable, las enmiendas poseían alta proporción de carbono orgánico.

Tabla 1. Características principales del horizonte Bt utilizado en el experimento.

Table 1. Used Bt Horizon main characteristics.

Parámetros	Horizonte Bt
Arena (%)	11,4
Limo (%)	43,2
Arcilla (%)	45,4
pH en agua	6,9
CO (g kg ⁻¹)	0,45
DAP (g cm ⁻³)	1,51
Tamaño agregado (mm)	4

CO: Carbono orgánico.

DAP: Densidad aparente.

Tabla 2. Características principales las enmiendas orgánicas utilizadas en el experimento.

Table 2. Used organic ammendments main characteristics.

Parámetros	Enmiendas orgánicas		
	arena/bios.	aserrín/bios.	compost
pH en agua	6,36	6,2	6,5
CO (g kg ⁻¹)	242,6	340,0	261,2
DAP (g cm ⁻³)	0,85	0,63	0,38
Tamaño agregado mm	1	1	4,8

CO: Carbono orgánico.

DAP: Densidad aparente.

Debe tenerse en cuenta que el aporte de enmiendas orgánicas se planteó para estudiar la reconstrucción de un suelo urbano, que ocupa una pequeña superficie, y no suelos de áreas agrícolas extensivas. En ese contexto, la Tabla 3, elaborada a partir de la ecuación 1, presenta el porcentaje de AFP. Las AFP cuantificadas en forma horizontal presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,0001$). En general, el agregado de compost o biosólido con aserrín o arena, ya sea en forma superficial o mezclados, aumentó el porcentaje de las AFP, respecto del horizonte Bt. Las enmiendas analizadas individualmente mostraron que no hubo diferencia significativa debido al tipo de enmienda y a la forma de aplicación ($p>0,05$). En cambio, hubo diferencias significativas al analizar la interacción entre tipo de enmienda y forma de aplicación ($p<0,05$). El tratamiento con biosólido y aserrín en superficie presentó el mayor porcentaje de

AFP en su conjunto. Los tratamientos con compost y biosólido con arena mezclado en los primeros 5cm (AR5) presentaron porcentajes de AFP significativamente mayores que el resto de los tratamientos.

Las AFP medidas en forma vertical fueron afectadas por los tratamientos ($p=0,0001$), en forma semejante a las AFP medidas horizontalmente. El horizonte Bt presentó la menor proporción de AFP en relación a los restantes tratamientos (aprox. 80% de zonas sin presencia de AFP). Nuevamente, el tratamiento con agregado de biosólido y aserrín en forma superficial, presentó el mayor porcentaje de AFP. Estos resultados coinciden con los encontrados por Petersen *et al.* (2001), quienes observaron que

el número de AFP medidas en un suelo franco arenoso con un colorante, fueron mayores bajo residuos aplicados en forma superficial, que cuando se realizó la incorporación de los residuos.

El valor de densidad aparente más alto se determinó en el horizonte Bt (Tabla 4), mientras que el tratamiento con agregado de compost en superficie presentó la menor densidad aparente. Las diferencias fueron significativas ($p=0,0001$). Los valores obtenidos en los tratamientos con biosólido y aserrín se encontraron en posición intermedia. Las mezclas de biosólido y arena mejoraron la densidad aparente sólo en un 10%. No hubo diferencias significativas debido a la forma de incorporación ($p<0,05$). Los

Tabla 3. Porcentaje de AFP en cortes horizontal y vertical de columnas de suelo disturbado. Distintas letras representan diferencias significativas ($p<0,05$).

Table 3. Proportion of PFP, horizontal and vertical cuts. Different letters indicate significant differences ($p<0.05$).

Tratamiento	% AFP horizontal	sin AFP horizontal	% AFP vertical	sin AFP vertical
Bt	26,90e	73,10	18,04f	81,98
CoB	59,29b	40,71	54,08bc	45,92
AS	66,08a	33,92	66,25a	33,75
AS5	50,11b	49,89	42,08e	57,92
AS10	47,02d	52,98	51,66bcd	48,34
AR	54,09c	45,91	45,33de	54,67
AR5	61,04b	38,96	56,91b	43,09
AR10	57,85bc	42,15	48,17cde	51,83

Tabla 4. Densidad aparente, Porosidad total, Índice de Expansión-Constracción (IEC) y contenido de agua de columnas de suelo disturbado. Distintas letras representan diferencias significativas ($p<0,05$).

Table 4. Bulk density, total porosity, Shrink-Swelling Index and water content. Different letters indicate significant differences ($p<0.05$).

Tratamiento	DAP g/cm ³	porosidad %	IEC	contenido agua g/cm ³
Bt	1,53a	42,13d	-0,12b	0,07c
CoB	1,18d	55,34a	-0,05a	0,12b
AS	1,21cd	54,39ab	-0,05a	0,15a
AS5	1,21cd	54,39ab	-0,05a	0,16a
AS10	1,23c	53,70b	-0,07a	0,14ab
AR	1,37b	48,20c	-0,07ab	0,14ab
AR5	1,37b	48,20c	-0,07ab	0,13ab
AR10	1,35b	48,96c	-0,05a	0,12b

DAP: Densidad aparente

IEC: Índice de Expansión-Constracción

menores valores de densidad aparente con el agregado de las enmiendas orgánicas, concuerdan con los resultados obtenidos por García-Orene *et al.* (2004), Vigerust (1983) y Clapp *et al.* (1986).

La porosidad total, dependiente de la densidad aparente, aumentó significativamente en los distintos tratamientos, en relación al horizonte Bt ($p=0,0001$) (Tabla 4). Estos resultados coinciden con lo encontrado por Emerson & McGarry (2003), que al aumentar el contenido de carbono orgánico, el volumen del suelo es mayor debido a un aumento en el número de poros. Los IEC también fueron afectados significativamente por los tratamientos ($p<0,05$). El horizonte Bt presentó el mayor IEC (Tabla 4), mientras que el resto de los tratamientos presentaron valores de IEC menores y no hubo diferencias significativas entre estos. Los IEC cercanos a 0 indican baja degradación, pues son suelos que poseen estructura estable (Barbosa *et al.*, 1997). Los tratamientos con agregado de compost y biosólido con arena o aserrín, aumentaron la ocurrencia de estructuras estables luego de los ciclos de humedecimiento y secado, y por lo tanto disminuyeron los IEC.

Existió una relación significativa entre la densidad aparente y el IEC ($y=-3,76x+1,04$; $R^2: 0,67$, $p<0,05$). Por lo tanto, la mejora en la densidad aparente se debería a la mejora de los IEC del suelo degradado. Este resultado concuerda con lo encontrado por Vigerust (1983) y Clapp *et al.* (1986), quienes observaron que la disminución de la densidad aparente, en suelos enmendados, se debió al aumento en la estabilidad de los agregados. Asimismo, la porosidad total también se relacionó con los IEC ($y=0,6814x+0,15$; $R^2: 0,47$, $p<0,05$): a menor índice, mayor porosidad total.

El contenido de agua fue afectado significativamente por los tratamientos ($p=0,003$). En la Tabla 4 se observa que el horizonte Bt presentó el menor contenido de agua. En cambio los tratamientos con compost, biosólidos y arena o aserrín, presentaron aproximadamente el doble de contenido hídrico, con diferencias entre ellos. Tampoco en este caso se presentaron diferencias debido a la forma de aplicación de la materia orgánica. El contenido de agua se relacionó con la densidad aparente ($y=-0,1821x+0,3407$, $R^2=0,71$, $p<0,05$) y el IEC ($y=0,6814x+0,477$, $R^2=0,477$, $p<0,05$) en forma lineal e inversa. La porosidad total se relacionó lineal y positivamente con el contenido de agua ($y=0,0048x+0,1418$, $R^2=0,717$, $p<0,05$). Como era de esperar, la acumulación de carbono orgánico mejoró entre otras propiedades, a la capacidad de retención del agua (Allison, 1973; Herrick & Wander, 1998).

Las AFP correlacionaron significativamente con la densidad aparente ($p<0,05$) (Tabla 5), a mayor porcentaje de AFP menor densidad aparente. Razonablemente, el resto de las propiedades dependientes de la densidad aparente como el IEC y la porosidad total, también se relacionaron con el porcentaje de AFP. A mayor porosidad total, mayor porcentaje de AFP. El IEC se relacionó negativamente con los porcentajes de AFP. Evidentemente, el agregado de compost y biosólido con arena o aserrín incrementó la estabilidad estructural, disminuyó la densidad aparente y por lo tanto, aumentó el número de macro y mesoporos, favoreciendo la existencia y funcionamiento de las AFP.

La infiltración también fue afectada significativamente por los tratamientos ($p=0,0001$). En la Figura 1 se observa que el horizonte Bt presentó la menor infiltración

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las AFP horizontales y verticales y la densidad aparente, el Índice de Expansión-Contracción, la porosidad total, la infiltración y el contenido de agua de columnas de suelo disturbado.

Table 5. Pearson correlation coefficients (r) between horizontal and vertical PFP and bulk density, Shrink-Swelling Index, total porosity, infiltration and water content.

% AFP	DAP g/cm ³	IEC	Porosidad total %	Infiltración cm/h	Contenido agua g/cm ³
horizontal	-0,63	0,67	0,62	0,42	0,64
valor p	0,009	0,004	0,001	0,04	0,007
vertical	-0,71	0,61	0,71	0,41	0,72
valor p	0,002	0,01	0,002	0,04	0,002

DAP: Densidad aparente

IEC: Índice de Expansión-Contracción

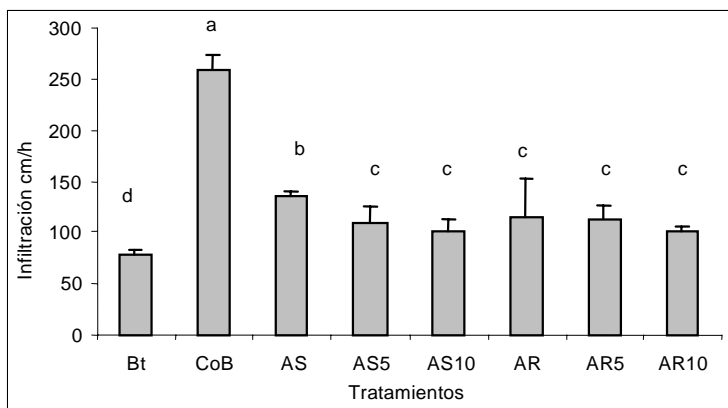


Figura 1. Infiltración básica (cm/h) en columnas de suelo disturbado. Distintas letras representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figure 1. Basic infiltration (cm/h). Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

básica. En cambio, el tratamiento con agregado de compost en superficie presentó la más alta, aproximadamente el doble, que el resto de los tratamientos. En esto pudo haber intervenido el mayor tamaño de partícula y menor densidad aparente que presentó el compost en relación al resto de las enmiendas. El tratamiento con biosólido y aserrín en superficie (AS) fue significativamente mayor al resto de los tratamientos con biosólido y aserrín o arena. La forma de aplicación de las enmiendas afectó significativamente a la velocidad de infiltración ($p < 0,05$), las enmiendas empleadas en forma superficial presentaron mayor tasa de infiltración. Guebert y Gardner (2001) observaron aumentos en la tasa de infiltración luego de la aplicación de enmiendas orgánicas a un suelo.

La infiltración correlacionó positivamente con las AFP (Tabla 5). También previsible, la infiltración se correlacionó negativamente con la densidad aparente y el IEC. La porosidad total se vinculó, en cambio, positivamente a la infiltración (Tabla 6). Estas relaciones muestran, indirectamente, una mejora en la conductividad hidráulica. Para determinar qué variable explicó mejor la tasa de infiltración básica, se utilizó el análisis de regresión por pasos. Se encontró que la densidad aparente fue la variable que más se relacionó con la entrada de agua en el perfil (Tabla 7).

También existió una correlación significativa entre contenido de humedad y las AFP, en ambas mediciones (horizontal y vertical). A mayor número de AFP, mayor contenido de humedad. El análisis de regresión por pasos

Tabla 6. Correlaciones de Pearson (r) entre infiltración y densidad aparente, IEC y porosidad total en columnas de suelo disturbado.

Table 6. Pearson correlations (r) between infiltration and bulk density, Shrink-Swelling Index IEC and total porosity.

	DAP g/cm ³	IEC	porosidad total %
infiltración cm/h	-0,69	-0,48	0,58
valor p	0,02	0,04	0,02

DAP: Densidad aparente

IEC: Índice de Expansión-Contracción

para obtener qué variable afectó en mayor medida a las AFP indicó que en las áreas medidas en forma horizontal la variable que mejor explicó su presencia fue el IEC, en cambio la variable que mejor explicó la existencia de las AFP cuantificadas en forma vertical, fue la densidad aparente (Tabla 7). Esto muestra que la existencia de las AFP está intensamente relacionada a las mejoras en las propiedades físicas del suelo luego del agregado de la enmienda. La ausencia de diferencias entre la aplicación superficial de las enmiendas orgánicas o su mezcla con el suelo sobre las propiedades físicas e hidrológicas puede explicarse por la acción de sustancias húmicas que se desplazaron por las columnas (Piccolo *et al.*, 1996).

Tabla 7. Regresión por pasos para infiltración básica ($Y=mX+b$) y para las Áreas de Flujo Preferencial horizontal y vertical, en columnas de suelo disturbado.

Table 7. Stepwise regression for basic infiltration ($Y=mX+b$) and vertical and horizontal Preferential Flow Paths.

Y	X	m	coeficiente b	valor p	R ²	R ² ajust
infiltración básica cm/h	DAp g/cm ³	-268,13	470,06	0,02	0,33	0,28
%AFP horizontal	IEC	288,61	73,01	0,004	0,45	0,41
%AFP vertical	DAp g/cm ³	-84,13	157,76	0,002	0,49	0,45

DAp: Densidad aparente

IEC: Índice de Expansión-Constracción

CONCLUSIONES

Los distintos tratamientos aplicados en superficie o incorporados y mezclados en la capa superficial, se diferenciaron del horizonte Bt sólo. Estos tratamientos presentaron una evidente mejora en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo subyacente. No hubo una enmienda con efectos concluyentes sobre la mejora en las propiedades del suelo degradado. En algunas de las propiedades se destacó el compost de biosólido y en otras el tratamiento con biosólido y aserrín. Las enmiendas con material inerte fueron menos eficientes en mejorar las características físicas e hidrológicas del horizonte Bt. No se encontraron diferencias en las determinaciones de las AFP en forma horizontal o en forma vertical y la velocidad de infiltración fue mayor cuando se aplicó la enmienda en forma superficial. En el resto de las propiedades no se observaron diferencias entre aplicar las enmiendas orgánicas en superficie o incorporarlas y mezclarlas en la capa superficial.

Estos resultados aportan información útil para el desarrollo de tecnologías de reconstrucción de suelos urbanos degradados utilizando enmiendas orgánicas; no son extrapolables a condiciones de agricultura extensiva, por los volúmenes de residuos requeridos.

BIBLIOGRAFÍA

Adriano, DC; JM Bollag; WT Frankenberger, Jr. & RC Sims (ed.). 1999. Bioremediation of Contaminated Soils. Agronomy Series N° 37. ASA - CSSA - SSSA, Madison, WI, 820 pp.

- Allison, FE. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Amsterdam.
- Barbosa, OA; MA Taboada, MB Rodríguez & DJ Cosentino. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 15: 81-86.
- Beven, K & P Germann. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Research* 18: 1311-1325.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. In: Methods of soil analysis. Part 1 Ed: Klute A. Agronomy 9. ASA-SSSA. Madison, WI, USA.
- Bresson, LM; C Koch; C Le Bissonnais; YE Barriuso & V Lecomte. 2001. Soil Surface Structure Stabilization by Municipal Waste Compost Application. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 65: 1804-1811.
- Clapp, CE; SA Stark; DE Clay & WE Larson. 1986. Sewage sludge organic matter and soil properties. Pp. 209-253. In: Y Chen, Y Avnimelech. (ed.), The role of organic matter in modern agriculture. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Dreccer, MF & RS Lavado. 1993. Influence of cattle trampling on the preferential flow paths in alkaline soils. *Soil Use Manage* 9: 143-148.
- Emerson, WW & D McGarry. 2003. Organic carbon and soil porosity. *Aus. J. Soil Res.* 41: 107-118.
- Felton, GK. 1995. Temporal variation of soil hydraulic properties on municipal solid waste amended mine soils. *Trans. ASAE* 38: 775-782.
- García-Orene, F; C Guerrero; J Mataix-Solera; J Navarro-Pedreño; I Gómez & J Mataix-Beneyto. 2005. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil and Till. Res.* 82: 65-76.
- Guebert, MD & TW Gardner. 2001. Macropore flow on a reclaimed surface mine: infiltration and hillslope hydrology. *Geomorph.* 39: 151-169.

- Hangen, E; U Buczko; O Bens; J Brunotte & RF Huttel. 2002. Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage: influence of spatial distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil Till. Res.* 63: 181-186.
- Harris, GL; KR Howse & TJ Pepper. 1993. Effects of mowing on soil-water and runoff from a drained clay soil. *Agric. Water Mgmt.* 23: 161-180.
- Herrick, J & MM Wander. 1998. Relationship between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition, and soil biological activity. pp.405-425. *In: JMLal; RF Follet; BA Stewart. (ed.), Soil processes and the carbon cycle.* CRC Press, London.
- Khaleel, R; KR Reddy & MR Overcash,. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste application: a review. *J. Environ. Qual.* 10: 133-141.
- Kosmas, C; N Moustakas; C Kallianou & N Yassoglou. 1991. Cracking patterns, bypass flow and nitrate leaching in Greek irrigated soils. *Geoderma* 49: 139-152.
- Lavado, RS & RR Cairns, 1980. Solonchic soil properties and yield of wheat, oats, and barley as affected by deep plowing and ripping. *Soil Till. Res.* 1: 69-79.
- Lamey, FJ & HH Janzen. 1996. Restoration of productivity to desurfaced soil with livestock manure, crop residue and fertilizer amendments. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 88: 921-927.
- Logsdon, SD; RR Allmaras; L Wu; J.B Swan & GW Randall. 1990. Macroporosity and its relation to saturated conductivity under different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1117-1123.
- Lu, J & L Wu. 2003 Visualizing bromide and iodide water tracer in soil profiles by spray methods. *J. Environ. Qual.* 32: 363-367.
- Pagliai, M & V Antisari. 1993. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. *Biores. Technol.* 43: 205-213.
- Pagliai, M; G Guidi; M La Marca; M Giachetti & G Lucamante. 1981. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. *J. Environm. Qual.* 10: 556-561.
- Petersen, CT; HE Jensen; S Hansen & C Bender Koch. 2001. Susceptibility of a sandy loam soil to preferential flow as affected by tillage. *Soil Till. Res.* 58: 81-89.
- Peverly, JH & PB Gates. 1994. Utilization of municipal solid waste and sludge composts in crop production systems. *In: sewage sludge: Land util. Environ. ASA-CSSA-SSSA.*
- Piccolo, A & JSC Mbagwu. 1990. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant Soil* 123: 27-37.
- Piccolo, A; G Pietramellara & JSC Mbagwu. 1996. Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. *Soil Use and Management.* 12: 209-213.
- Shipitalo, MJ; WA Dick & WM Edwards. 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil Till. Res.* 53: 267-183.
- Tester, C. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 827-831.
- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- USDA, 1999. Soil Quality test guide. Soil Quality Institute USDA.
- Vigerust, E & AR Selmer-Olsen. 1983. Basis for metal limits relevant to sludge utilization. Pp 26-42. *In: RD Davis; H Haeni & P L Hermite. (ed.). Factors influencing sludge utilization practices in Europe.* Elsevier Applied Science Publishers Ltd, Barking.