

APLICACIÓN DE UN COMPOST DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A UN SUELO FORESTAL QUEMADO: EVOLUCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, SULFATOS Y CLORUROS.

CÉSAR GUERRERO, IGNACIO GÓMEZ, JORGE MATAIX, CARLOS DÍAZ-CRESPO, RAÚL MORAL

División de Química Agrícola, Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Apdo. 99, 03080 Alicante (España).

Abstract: In this field experiment electric conductivity (E.C.), chlorides and sulphates evolution has been quantified after application of a urban solid refuses compost in a forest soil affected by a wildfire. Variations in E.C. were influenced by elevated contents in soluble salts of the compost (E.C. 1:5 9.3 mS/cm). The salts lavation by rains produce decreases in upper levels (0-15 cm) and increases in lower levels (15-30 cm) of the treated soil. The values in the E.C., chlorides and sulphates were incremented with the application rate. High correlation coefficients between E.C. and sulphates (0.997 ***), and E.C. and chlorides (0.987 ***) has been found.

Key-words: compost, burned soils, electric conductivity, chlorides, sulphates, urban refuses.

Resumen: En este ensayo de campo ha sido cuantificada la evolución de la conductividad eléctrica (C.E.), y los contenidos de cloruros y sulfatos tras la adición de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal afectado por un incendio. El aumento temporal de la C.E. es atribuible a los altos contenidos en sales solubles del compost (C.E. 1:5 9.3 mS/cm). El lavado de sales por las lluvias provocan descensos en los niveles superficiales (0-15 cm) y aumentos en los niveles inferiores (15-30 cm) del suelo tratado. Los valores de C.E., cloruros y sulfatos aumentan con la dosis de aplicación. Han sido encontrados altos coeficientes de correlación entre la C.E. y los sulfatos (0.997 ***), y la C.E. y los cloruros (0.987 ***).

Palabras clave: compost, suelos quemados, conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos, residuos urbanos.

INTRODUCCIÓN.

Los incendios forestales son un fenómeno frecuente en las áreas mediterráneas que conllevan alteraciones importantes de los ecosistemas (García-Fayos, 1987) y particularmente modi-

ficaciones en las propiedades y características de los suelos, en función del tipo e intensidad del fuego (SanRoque *et al*, 1982). Estas modificaciones afectan a características tan importantes como pérdida o incorporación de nutrientes, reducciones del contenido en mate-

ria orgánica (SanRoque *et al.*, 1985), de la capacidad total de cambio (Mangas *et al.*, 1992), del índice de agregación (Moore y Siger, 1990), de la capacidad de retención hídrica e incrementos del pH y conductividad eléctrica (Carballas, 1993) entre otros.

Estas variaciones puede dar lugar a problemas de nutrición y adaptación de especies, al impedir la asimilación de algunos nutrientes, lo que unido a la pérdida de biomasa por efecto del fuego, nos hace considerar a los incendios forestales como un importante factor en la desertificación del área mediterránea.

Las pérdidas en materia orgánica que en muchos casos sufren los suelos tras un incendio forestal, aconseja la restitución de sus niveles mediante la incorporación de materiales de naturaleza orgánica. Por este motivo se están investigando una serie de subproductos orgánicos, como los lodos de las depuradoras y los compost de basuras urbanas, con altos contenidos en materia orgánica. De este modo, en los suelos forestales degradados por un incendio, o sometidos a fuertes tasas de erosión, pueden ser regenerados los niveles de materia orgánica que le devolverían su fertilidad y se mejorarían sus propiedades físicas y químicas.

Pero el uso de estos materiales no está libre de inconvenientes, puesto que suelen presentar cantidades de sales relativamente altas. La aplicación de compost al suelo, especialmente a dosis elevadas, puede elevar el contenido en sales de este medio (Hortenstine y Rothwell, 1972; Guidi *et al.*, 1982; Costa *et al.*, 1991), lo que tendría un efecto adverso sobre la germinación y el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

En este estudio se analiza la influencia de la aplicación de distintas dosis de compost en un suelo forestal quemado, sobre la C.E. y la evolución de los sulfatos y cloruros como principales aniones causantes de los cambios en la misma, a dos profundidades, para estimar la posible movilidad de las sales, originada por procesos de lixiviación.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El experimento fue llevado a cabo en condiciones de campo, sobre un suelo que había sufrido un incendio forestal 6 meses antes. La zona de estudio presentaba muestras de que el incendio afectó al suelo. El estrato de matorrales estaba completamente ausente, estando la superficie del suelo totalmente desnuda, con restos vegetales parcialmente calcinados.

La zona de experimentación se encuentra en Término Municipal de Bocairent, provincia de Valencia. En la Hoja nº 28-32 (820) de Onteniente, de los mapas del Servicio Geográfico del Ejército de Cartografía Militar de España de la Serie L, a escala 1:50.000, se localiza el punto en las coordenadas 305YH009915, en las faldas de unos cerros llamados Altos del Cortijo, de la Sierra de la Solana. Según Rivas-Martínez, esta zona está dentro de la Región Mediterránea en el termotipo Mesomediterráneo, presentando un ombroclima seco e incluso subhúmedo-seco. La temperatura media durante la etapa de experimentación (5/12/94 - 28/11/95) fue de 15,3°C, siendo la media de las máximas de 21,7°C y la media de las mínimas de 8,9°C. Las precipitaciones fueron de 440 mm de lluvia durante el periodo experimental.

Se planeó aplicar 4 tratamientos en función de diferentes dosis de compost. Para cada tratamiento se utilizaron 4 parcelas de 1x2 metros. Los tratamientos fueron los siguientes: B (0 kg/m²), RS1 (0.5 kg/m²), RS2 (1 kg/m²) y RS3 (2 kg/m²). Se realizaron 9 muestreos a diferentes tiempos, a 15, 30, 60, 90, 120, 150, 240, 300 y 360 días de haber realizado la incorporación del residuo. Éste fue aportado de manera manual y sobre la superficie del suelo, y no se procedió a removerlo. En cada uno de los muestreos se efectuó toma de suelo a dos niveles; el nivel superficial de 0 a 15 centímetros y el nivel inferior de 15 a 30 cm. Los tratamientos referentes al primer nivel llevarán el sufijo -s (ej. RS2s), y los inferiores el sufijo -p. Posteriormente se procedía a su secado y tamizado a 2 mm de luz de malla para la realización de análisis.

El residuo orgánico aplicado fue un compost de residuos sólidos urbanos (RSU) procedente de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos de Valdemingómez (Madrid).

La conductividad eléctrica de las muestras fue determinada mediante conductivímetro. Ésta se midió en el sobrenadante obtenido tras la agitación durante 30 minutos del suelo en agua desionizada en relación 1:5 (p/v), tras 1/2 hora de decantación, ajustando la medida a la temperatura standard de 20°C (M.A.P.A., 1986). Los

cloruros solubles y los sulfatos solubles fueron medidos mediante HPLC, en el extracto obtenido de realizar una agitación del suelo con agua en relación 1:5 (p/v), tras una agitación de 1/2 hora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En los 30 primeros días de esta experiencia se observan aumentos de la conductividad eléctrica en los tratamientos que implicaban incor-

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo.

Parámetro	0-15 cm	15-30 cm	Parámetro	0-15 cm	15-30 cm
pH	8.33	8.35	Fe (mg/Kg)	11.9	5.8
C.E. (µS/cm)	160.8	141.0	Mn (mg/kg)	13.5	12.9
CO ₃ ²⁻ (%)	21.51	23.36	Cu (mg/Kg)	0.7	0.7
CO ₃ ²⁻ activa (%)	10.58	10.58	Zn (mg/Kg)	1.13	1.1
NKjeldahl (%)	0.231	0.156	% Arena	44.10	49.06
Mat. Org. (%)	5.02	3.84	% Limo	34.75	46.83
P (mg/kg)	3.6	0.6	% Arcilla	21.15	4.11
Na (g/Kg)	0.11	0.06	Cloruros (mg/kg)	36.1	29.7
K (g/Kg)	0.45	0.35	Nitritos (mg/kg)	7.32	1.8
Ca (g/Kg)	5.31	4.47	Sulfatos (mg/kg)	43.3	34.5
Mg (g/Kg)	0.17	0.14	Nitratos (mg/kg)	58.3	31.8

Tabla 2. Características físico-químicas del compost de RSU.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
pH	5.83	Na total (g/Kg)	4.55
C.E. (µS/cm)	9.31	K total (g/Kg)	5.85
Mat. Org. (%)	34.62	Ca total (g/Kg)	48.13
N Kjeldahl (%)	1.63	Mg total (g/Kg)	4.66
P (g/Kg)	1.18	Fe total (g/Kg)	8.55
Cloruros (g/Kg)	6.82	Mn total (g/kg)	0.132
Nitritos (mg/Kg)	80	Cu total (g/Kg)	0.258
Sulfatos (g/Kg)	8.01	Zn total (g/Kg)	0.285
Amonio (mg/Kg)	20.5	Relación C/N	12.31

poración de compost. El motivo de ello es la presencia de sales solubles en este residuo, puesto que los mayores aumentos se producen en las dosis superiores. La presencia de lluvias débiles junto con la progresiva degradación de la materia orgánica del compost, causa la solubilización de las sales presentes, pero no su lavado en vertical, y con ello, el citado aumento de la C.E. En la tercera toma (60 días) se observa cierta estabilidad, quizás debida a la práctica ausencia de lluvias y a una baja mineralización por condiciones meteorológicas adversas. En el cuarto muestreo (90 días) observamos un fuerte descenso de este parámetro, originado por el lavado ocasionado por precipitaciones altas (40 mm entre el 3º y el 4º muestreo, y 29 mm de ellos en un día). Solamente la dosis mayor presenta diferencias significativas respecto a suelos sin tratar (B). En el 5º muestreo se hace más patente el efecto de lavado de las altas precipitaciones (150 mm), causando un descenso tal que las diferencias de la dosis mayor tiene un bajo nivel de significa-

ción. A los 300 días de la aplicación ya no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. Las muestras analizadas en el nivel inferior apoyan esta hipótesis, puesto que en los primeros 60 días no observamos diferencias significativas entre tratamientos. Posteriormente es cuando se observa la incidencia de las sales lavadas a este nivel.

De los diversos aniones analizados con el fin de conocer cuales son los mayores responsables de los cambios en la conductividad eléctrica, se ha observado que son los sulfatos y los cloruros (tabla 2). Los cloruros, especie que generalmente no es adsorbida o muy poco retenida por los minerales y el complejo de cambio del suelo, es uno de los iones más móviles siendo fácilmente lixiviado. El otro anión responsable mayoritariamente de los cambios en la C.E. es el sulfato, bastante móvil y lixiviable también. Podemos afirmar esto por los altos contenidos de cloruros y sulfatos solubles en el compost aplicado (6.82 y 8.01 g/Kg respectivamente).

Tabla 3. Evolución de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Trat.	15	30	60	90	120	150	240	300	360
Bs	161	160	205a	134	125a	163	113	166	153
RS1s	288	326	415ab	228	218a	214	207a	201	145
RS2s	302	653a	522b	237	276ab	233	209a	170	169
RS3s	801a	1218b	1318c	587a	439b	460a	314b	220	205
F	23.55	26.27	30.59	24.82	5.67	16.7	22.09	2.88	3.06
Signif.	***	***	***	***	*	***	***	n.s.	n.s.
Bp	141	129	131a	127	131a	132ab	92	119	153b
RS1p	150	161	134a	130	156ab	102	110a	118	97
RS2p	154	134	145ab	131	155ab	129a	121b	116	123a
RS3p	155	169	171b	175a	175b	153b	147c	141a	128a
F	0.69	1.98	4.29	19.0	3.78	7.36	56.0	5.34	17.4
Signif.	n.s.	n.s.	*	***	*	**	***	*	***

***, **, *: diferencias significativas a $p < 0.001$, 0.01, 0.05 respectivamente.

Tabla 4. Evolución de los sulfatos solubles (mg/Kg).

Trat.	15	30	60	90	120	150	240	300	360
Bs	43.3	48.8	66.8a	39.0	35.0	29.5	35.5	50.8a	56.5a
RS1s	238.8	208.1	362.6ab	106.2	101.4	103.4	97.2a	92.8bc	60.8a
RS2s	227.5	743.9a	510.6b	149.1	152.3	150.9	111a	71.6ab	79.4ab
RS3s	909.4a	1453b	1587c	701.2a	437.0	546.7a	289b	114.6c	121.0b
F	31.5	20.15	41.92	18.5	2.88	21.16	140	4.05	3.98
Signif.	***	***	***	***	n.s.	***	***	*	*
Bp	34.5	37.8	36.0a	31.5a	27.8a	26.0a	22.3a	28.8a	38.5a
RS1s	89.4	63.9	60.7ab	50.7ab	75.4b	31.3a	37.8b	44.2a	31.4a
RS2s	75.5	47.1	50.6a	55.7b	75.1b	47.1a	45.8c	44.8a	52.9b
RS3s	82.9	107.3	93.9b	120.9c	82.0b	80.8b	75.4d	73.9b	63.5c
F	2.98	3.08	4.59	26.5	13.4	9.88	93.8	5.88	22.49
Signif.	n.s.	n.s.	*	***	***	**	***	*	***

***, **, *: diferencias significativas a $p < 0.001$, 0.01, 0.05 respectiv.

Tabla 5. Evolución de los cloruros solubles (mg/Kg).

Trat.	15	30	60	90	120	150	240	300	360
Bs	36.1a	33.6	41.4a	30.3	39.0	22.9	26.7	28.7	35.5
RS1s	85.8ab	103.9	121.5ab	61.2	99.6a	74.9	85.6a	91.3b	48.9
RS2s	112.5b	229.0a	181.4b	78.2	107.7a	75.1	66.1a	60.0a	51.3
RS3s	292.3c	469.1b	471.1c	235.5a	134.9a	95.6	82.4a	75.5ab	59.6
F	22.06	27.52	24.94	26.98	6.93	3.21	6.98	10.67	1.23
Signif.	***	***	***	***	***	n.s.	**	**	n.s.
Bp	29.7	30.1	30.7a	30.8	26.1	23.5	17.8	29.9	49.2a
RS1s	63.7a	53.6	42.6a	45.4a	97.5b	38.7a	57.6a	66.6b	37.1
RS2s	58.5a	49.8	47.0ab	52.9a	97.8b	46.6ab	51.7b	54.7a	39.4
RS3s	64.8a	60.8	61.5b	81.5b	79.4a	52.6b	63.7c	66.7b	41.3
F	15.17	2.94	5.49	37.9	63.03	13.15	119	49.94	7.46
Signif.	***	n.s.	*	***	***	***	***	***	*

***, **, *: diferencias significativas a $p < 0.001$, 0.01, 0.05 respectiv.

Tanto los cloruros como los sulfatos sufren una solubilización desde el compost al suelo durante los 60 primeros días. Las lluvias débiles y la progresiva mineralización de la materia orgánica favorecen este proceso. Posteriormente, las lluvias registradas causan un lavado de los iones mencionados. Los resultados obtenidos en las muestras del nivel inferior son favorables a esta hipótesis puesto que se producen aumentos tras las lluvias importantes. En el caso de los cloruros del nivel inferior se puede observar cómo éstos ya presentan diferencias significativas en los 15 primeros días, puesto que una pequeña lluvia de 7 mm les basta para ser arrastrados. Sin embargo, la menor movilidad de los sulfatos queda patente puesto que hasta que no se producen lluvias muy intensas los arrastres son menos efectivos, ya que hasta los 60 días las diferencias no eran significativas entre tratamientos. Concluyendo, podemos decir que al cabo de 1 año los tratamientos con dosis más bajas apenas tienen diferencias entre sí, y solamente la dosis mayor parece mantener valores más altos en el nivel superficial, lo que únicamente es significativo en el caso de los sulfatos. En la tabla 6 se muestran los altos

coeficientes de correlación encontrados entre los aniones estudiados y la C.E.

REFERENCIAS.

- Carballas, T. (1993) Impacto de los incendios forestales sobre el medio ambiente. *Biogeoquímica de Ecosistemas. XI Simposium Internacional de Biogeoquímica Ambiental*, pp. 91-100.
- Cerdá Bolinches, A. (1993) Incendios forestales y estabilidad de agregados. *Cuadernos de Geografía*, **53**, pp. 1-16. Valencia.
- Costa, F., García, C., Hernández, T., Polo, A. (1991) Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización. 181 p. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*.
- Farres, P.J. (1985) Feedback relationships between aggregate stability, rainsplash erosion and soil crusting. *Assessment of soil surface sealing and crusting. Proceedings of the Symposium held in Ghent, Belgium* (Callebaut, F.; Gabriels, D & DeBoodt, M. Eds.). Pp. 82-90. Belgium.
- García-Fayos, P. (1987) El impacto de los

Tabla 6. Correlaciones entre la conductividad eléctrica y los sulfatos y la conductividad eléctrica y los cloruros.

	C.E. vs SO ₄ ⁻	Coefic. correl.	Nivel de significación	C.E. vs Cl ⁻	Coef. correl.	Nivel de significación
Bs		0.7215	0.0282 *		0.3408	0.3694 n.s.
RS1s		0.9687	0.000 ***		0.7926	0.0109 *
RS2s		0.9945	0.000 ***		0.9942	0.000 ***
RS3s		0.9975	0.000 ***		0.987	0.000 ***
Bp		0.7465	0.0208 *		0.7808	0.013 *
RS1p		0.9007	0.000 ***		0.5764	0.1042 n.s.
RS2p		0.8473	0.004 **		0.6103	0.0809 n.s.
RS3p		0.7995	0.009 **		0.7226	0.028 *

***, **, *: diferencias significativas a p<0.001, 0.01, 0.05 respectiv.

- incendios forestales. *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana*. Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes.
- Guidi, G., Pagliai, M., Giachetti, M. (1982) Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost applications. *The influence of sewage sludge on physical and biological properties of soils*. Catroux, P. L'hermite y E. Suess, eds. 122-130. Dordrasht, Holanda.
- Hortensine, C.C. & Rothwell, D.F. (1972) The use of municipal compost in reclamation of phosphate-mining sang tailings. *J. Environ. Qual.*, **1**, 414-418.
- Mallouhi, N. (1982) contribution a l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matiere organique. *Thèse de Doct. d'Etat*. University de Nancy, 130 p.
- Mangas, V.J., Sánchez, R.J., Ortiz, C. (1992) Effects of a fire runoff and erosion on mediterranean forest soil in SE-Spain. *Pirineos*, **140**, pp. 37-51.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986) Métodos de análisis. Volumen III. Ed. Secretaría General Técnica, Madrid.
- Moore, D.C. & Singer, M.J. (1990) Crust formation effects on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **54**, pp. 1117-1123.
- Naveh, Z. (1990) The role of fire and its management in the conservation of the mediterranean ecosystems and landscapes. Publicado en "El papel de los incendios forestales en los ecosistemas mediterráneos". UIMP. Pp.37-52. Valencia
- Oechel, W.C. (1990) Anticipated effects of elevated atmospheric CO₂ and global change on production, fire frequency, and water yield of mediterranean ecosystems. El papel del fuego en los ecosistemas mediterráneos, UIMP. Valencia. 44 p.
- Sanroque, P. & Rubio, J.L. (1982) El suelo y los incendios forestales. Diputación de Valencia, 63 p.
- Sanroque, P., Rubio, J.L., Mansanet, C. (1985) Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de zonas forestales de Valencia (España). *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **22**, pp. 131-147.