

DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES POR EL APOORTE DE TRES TIPOS DE LODO DE ESTACIONES DEPURADORAS

Rosario MIRALLES DE IMPERIAL¹, Eulalia Ma. BELTRÁN¹, Miguel Angel PORCEL¹,
Ma. Luisa BERINGOLA¹, José VALERO MARTÍN¹, Rosa CALVO²
y Ma. del Mar DELGADO¹.

¹ INIA. Departamento de Medio Ambiente y ² Servicio de Biometría. Crtra. de la Coruña km. 7.5, 28040 Madrid, España. Correo electrónico: miralles@inia.es.

(Recibido enero 2003, aceptado agosto 2003)

Palabras clave: lodo compostado, residuos de poda + lodo compostado, lodo deshidratado por secado térmico, nitrógeno total, N-amonio, N-nitrato, fósforo, potasio, materia orgánica

RESUMEN

Con el fin de evaluar el aporte de nutrientes al suelo por la aplicación de tres tipos de lodos de depuradora, se condujo un ensayo en invernadero en condiciones controladas de temperatura y de humedad con estaquillas enraizadas de olivo *Olea europaea* L., en sustrato de arena con solución nutritiva exenta de nitrógeno y distintas dosis de los tres lodos. Se emplearon vasos de PVC de 0.25 L, sin drenaje, se llenaron con 250 g de arena de mar lavada de grano fino y se homogeneizó con los tratamientos de lodo respectivos. Se evaluaron tres tratamientos: lodo compostado (LC), residuos de poda + lodo compostado (RP+LC), lodo deshidratado por secado térmico (LDST). Las dosis aplicadas fueron: 0, 10, 20, 40, 80 y 120 t/ha. Después de extraer las estaquillas, tras los tres meses de cultivo, se procedió al análisis físico-químico de los sustratos secos y homogeneizados. Las variables que se estudiaron fueron: porcentaje de nitrógeno total (% NT), amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), fósforo (P), potasio (K) y materia orgánica (% MO). Se hizo el modelo de la respuesta de cada variable para cada uno de los tres tratamientos a diferentes dosis, mediante el análisis de regresión que en todos los casos fue significativa ($P < 0.05$). El contenido de nitrógeno con los tres tipos de lodo aumentó linealmente en función de la dosis, comportándose como fertilizantes de liberación lenta de nitrógeno. El contenido de amonio con LC creció linealmente a medida que aumentó la dosis de lodo, con RP+LC tuvo crecimiento mínimo estabilizándose a partir de la dosis 40 t/ha y con LDST a partir de 40 t/ha el crecimiento fue mayor. El contenido en nitrato con LC a partir de la dosis 20 t/ha fue muy superior a los tratamientos RP+LC y LDST. Este ensayo indicó que sólo para LDST los contenidos de fósforo y potasio se incrementaron a medida que se aumentó la dosis, mientras que la materia orgánica para los tres lodos se incrementó con la dosis. En este ensayo el mejor tratamiento respecto a disponibilidad de nutrientes fue LDST seguido de RP+LC y LC.

Key words: Composted sewage sludge, pruning residues + composted sewage sludge, thermo-dehydrated sewage sludge, total nitrogen, N-ammonium, N-nitrate, phosphorus, potassium, organic matter

ABSTRACT

In order to evaluate the nutrients content to soil by the application of three different types of sewage sludge an experiment was carried out on rooted *cv. Cornicabra* olive *Olea europaea* L cuttings in a greenhouse with temperature and humidity controlled conditions. The substrate was sand plus a nutrient solution without nitrogen and plus different rates of three sewage sludge. PVC glasses of 0.25 l without drainage were used, they were filled with 250 g washed sea sand of fine grain and different treatments of sewage sludge. The mixtures were homogenised. Three treatments were evaluated: composted sewage sludge (LC), pruning residues + composted sewage sludge (RP+LC) and thermo-dehydrated sewage sludge (LDST). The rates studied were: 0, 10, 20, 40, 80 and 120 t/ha. After three months of olive rooted cuttings cultivation, they were extracted of the substrate and we were made a physics-chemical analysis of dried and homogeneous substrate. The variables studied were: percentage of total nitrogen (% NT), ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-), phosphorus (P), potassium (K) and organic matter (% MO). The response of each variable and each treatment with different rates were modeledized by regression analyse, all the cases reflected significant responses ($p < 0.05$). Regarding the content of nitrogen the three sewage sludge compost increase linearly in terms of rates. The behaviour was as a fertilizer of slow mineralization of nitrogen. The ammonium content of LC increase linearly in terms of rates of sewage sludge, regarding RP+LC the increase was low and with the 40 t/ha rate begin to become stable, regarding LDST from 40 t/ha the increase were higher. Regarding LC the nitrate content from 20 t/ha were the highest in comparison with RP+LC and LDST treatments. This test indicates regarding LDST only the content of phosphorus and potassium were higher in terms of rates. Regarding the three sewage sludge compost the content of organic matter increase in terms of rates. In relation to nutrients availability, this test indicates that LDST is the best treatment followed by RP+LC treatment and finally LC treatment.

INTRODUCCIÓN

El uso irracional de los suelos y la no restitución de lo que se exporta causa el deterioro progresivo de la fertilidad natural de estos. El mal uso de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos conlleva diversos problemas. El alto costo de los fertilizantes orgánicos ha despertado en los últimos años un marcado interés por el uso de los residuos orgánicos en la fertilización de los cultivos agrícolas. La necesidad de preservar el ambiente de la contaminación exige depurar las aguas residuales antes de ser vertidas, proceso que genera elevadas cantidades de residuos orgánicos llamados lodos o fangos, que pueden utilizarse en agricultura. Esto permite así el reciclado de la materia orgánica y de los elementos fertilizantes contenidos en ellos (Delgado *et al.* 2002). La cantidad de lodos empleados en agricultura representa aproximadamente el 38 % del total de los producidos en la Unión Europea y del orden del 10 % de los generados en España (Delgado *et al.* 2002a).

La aplicación al suelo de los lodos de depuradora con fines de fertilización y de reciclaje de los nutrientes y de la materia orgánica, es el destino final principal de estos; los otros dos destinos son la valoración energética y el depósito de estos lodos en vertedero. Su aplicación al suelo obliga a someterlos a tratamientos biológicos, térmicos, etc. La utilización de los lodos en agricultura debe hacerse teniendo en cuenta las necesidades de nutrientes de las plantas (BOE 2001). El tratamiento y

uso de los lodos ha de ser llevado a cabo utilizando la mejor opción ambiental posible (Davis 1994).

La aplicación de estos lodos al suelo es una de las mejores soluciones de uso (BOE 2001, González *et al.* 2002), ya que se aprovecharía su contenido en elementos esenciales para el desarrollo vegetal (nitrógeno, fósforo y potasio) y su materia orgánica que constituye una fuente de nutrientes a largo plazo (Delgado *et al.* 2002).

Dos tipos diferentes de residuos orgánicos se producen a menudo en grandes cantidades en los municipios, el lodo de las plantas depuradoras de aguas residuales y la madera fragmentada (virutas de madera) de los residuos de poda de árboles (Cogliastro *et al.* 2001). Las mezclas de lodo de depuradoras con virutas de madera procedentes de los residuos de poda de árboles, se están comercializando actualmente como abonos. El compostaje del lodo le convierte en un material de aspecto similar al suelo agrícola. El secado térmico de lodos produce materiales de apariencia similar a los fertilizantes habituales, gránulos con bajo contenido en humedad (entre 12 y 14 %). Este producto, de fácil manejo, es susceptible de ser utilizado como abono (Mahamud *et al.* 1996).

La producción de olivo es una importante actividad en la zona mediterránea, al mismo tiempo, la erosión del suelo es uno de los problemas ambientales clave en esta zona (Fleskens y Graaff 2001). El déficit de materia orgánica en los suelos españoles está alcanzando niveles inferiores al 1 % (Beltrán *et al.* 1999). La aplicación de compost de lodo a los suelos mejora su índice de materia orgánica

y por tanto su fertilidad. Estos lodos se comportan como fertilizantes de liberación lenta de nutrientes con la ventaja de tener un contenido en materia orgánica del 40-50 % (Beltrán *et al.* 1998) y favorecen la estructuración del suelo.

El nitrógeno, que se presenta en forma orgánica o mineral experimenta una evolución por la acción del medio, el tiempo y las condiciones climáticas (Denis 2000a). El olivo tiene al principio de su vida vegetativa grandes necesidades de fósforo, este elemento favorece el desarrollo radicular (Denis 2000b). El potasio tiene un importante papel en la regulación del crecimiento vegetal (Denis 2000c).

La influencia de la aplicación de lodos de depuradora en el cultivo del olivar ha sido estudiada en estos últimos años por varios autores (Aguilar 2001, Aguilar *et al.* 2002, Beltrán *et al.* 1998, 1999, 2002a, 2002b, Gascó *et al.* 1999, 2001, 2002, González *et al.* 2002a, 2002b).

El objetivo del presente ensayo con estaquillas enraizadas de olivo *Olea europaea* L. cv. Cornicabra en invernadero, fue evaluar después de tres meses de cultivo el efecto sobre los sustratos del aporte de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras: lodo compostado, lodo compostado mezclado con residuos de poda provenientes de árboles del Ayuntamiento de Madrid y lodo deshidratado por secado térmico, aplicado en dosis de 0, 10, 20, 40, 80 y 120 t/ha, en las concentraciones de nitrógeno total, amonio, nitrato, fósforo, potasio y materia orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este experimento se empleó lodo compostado, residuos de poda de los árboles de Madrid + lodo compostado y lodo deshidratado por secado térmico. El primero es una mezcla de lodos obtenida de cinco depuradoras de Madrid (Butarque, Rejas, Sur, Sur Oriental y Valdebebas) que fueron desecados aeróbicamente durante tres meses con volteos periódicos, sin agente estructurante. Este compost se encuentra dentro de los límites de concentración de metales pesados que marca el Real Decreto 1310/90 (BOE 1990) por el que se regula la utilización de lodos de depuradoras en el sector agrícola. El segundo es el mismo lodo que el primero pero además lleva en su composición 30 % de virutas de madera de un tamaño aproximado entre 2 y 5 cm de largo, procedentes de residuos de poda de los árboles de Madrid. El tercero es un lodo deshidratado por secado térmico procedente de la planta de biomasa de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Valladolid.

Las propiedades de los lodos y arena utilizados en el experimento se presentan en la **tabla I**. El nitrógeno orgánico se determinó por el método de Kjeldahl (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994). El carbono orgánico oxidable por el método de Walkey y Black

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS Y LA ARENA

Parámetro	Arena	Lodo compostado	Residuos de poda + lodo compostado	Lodo deshidratado secado térmico
Humedad (%)	-	25	39	21
Materia orgánica volátil	-	36.0	36.0	46.0
pH 1:25 H ₂ O	6.2	8.0	6.9	7.4
C.E.*, dS/m	0.08	5.6	1.0	2.1
N Total (%)	-	2.7	1.6	3.9
C orgánico oxidable (%)	-	14.1	16.1	3.9
P ₂ O ₅ total (%)	-	4.5	3.6	6.4
K ₂ O total (%)	-	0.7	0.7	0.4
CaO total (%)	-	8.7	8.1	6.7

*C.E.=Conductividad eléctrica

(Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994). El factor de oxidación utilizado fue 1.29, por las condiciones de oxidación empleadas: K₂Cr₂O₇ y media hora en H₂SO₄ concentrado a temperatura ambiente. La humedad, materia orgánica volátil, P₂O₅, K₂O, MgO y CaO totales se midieron por los procedimientos descritos por la AOAC (1997). También se determinaron: pH suelo/agua= 1:2.5, conductividad eléctrica en una relación suelo/agua= 1:5.0 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994).

La concentración de metales pesados en los materiales empleados en el presente trabajo se presentan en la **tabla II** y fue determinada mediante espectrometría de absorción atómica, previa digestión ácida con agua regia (HNO₃/HClO₄, 1:3) (AOAC 1997). El ensayo se llevó a cabo en Madrid, entre los meses de febrero a mayo de 2001, en condiciones controladas de temperatura y de humedad (**Tabla III**). Se emplearon vasos de PVC de 0.25 L de capacidad, sin drenaje. Estos se llenaron con 250 g de arena de mar de grano fino de 0.25 a 0.30 mm, lavada, que se homogeneizó con la mezcla del tratamiento respectivo. Con el fin de aportar los nutrientes necesarios para el cultivo y mantener a humedad constante se agregó, al principio del ensayo, 50 mL por vaso de solución nutritiva (Delgado *et al.* 1999) exenta de nitrógeno formada por: 0.002 M CaSO₄·2H₂O, 0.002 M MgSO₄, 0.005 M Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 0.0025 M K₂SO₄.

Los tratamientos y las dosis aplicados en este ensayo se presentan en la **tabla IV**.

El material vegetal utilizado fue estaquillas enraizadas de olivo, procedentes de vivero (Denis 1998, Porras *et al.* 1998a, 1998b, Bartual *et al.* 1999, Fontanazza *et al.* 2001). Las estaquillas estuvieron tres meses en camas de enraizamiento con perlita y se les había preparado previamente tratándolas en su zona basal con solución de 3000 mg/L de ácido indolbutírico puro. Dichas estaquillas se extrajeron a finales de febrero para su posterior ensayo en invernadero.

TABLA II. METALES PESADOS DE LOS LODOS UTILIZADOS

Metales pesados	Lodo compostado	Residuos de poda + lodo compostado	Lodo deshidratado secado-térmico	Límites CCE*	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	pH<7	pH>7
Cu	330	369	105	1000	1750
Zn	1390	1270	988	2500	4000
Cr	330	369	88	1000	1500
Ni	67	62	83	300	400
Cd	< 3	< 3	< 3	20	40
Pb	140	174	90	750	1200

*CCE = Consejo de las Comunidades Europeas (1986)

El diseño del ensayo fue totalmente al azar, factorial de doble entrada (tipo de lodo, dosis) con cinco repeticiones por tipo de lodo y dosis. En cada vaso se puso una estaquilla de olivo y luego se rellenó con la mezcla homogénea de arena y se le aplicó el tratamiento respectivo. Después se regó con 50 mL de solución nutritiva. Se anotó el peso total de cada vaso (arena + tratamiento + 50 mL de solución nutritiva + peso estaquilla), que se mantuvo durante el ensayo regando con agua destilada.

TABLA III. TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y HUMEDAD RELATIVA REGISTRADAS EN EL INVERNADERO DURANTE EL PERÍODO DE CULTIVO

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Media temp. máx. (°C)	27	33	33	38
Media temp. mín. (°C)	11	10	10	11
Media hum. rel. (%)	79	79	80	79

TABLA IV. TRATAMIENTOS APLICADOS AL CULTIVO DE ESTAQUILLAS DE OLIVO

Tratamiento	Material adicionado por 250 g arena	Equivalente a una aplicación de
	g	t/ha
T	0	0
LC	1.02	10
LC 20	2.02	20
LC 40	4.04	40
LC 80	8.08	80
LC 120	12.10	120
RP + LC 10	1.25	10
RP + LC 20	2.49	20
RP + LC 40	4.99	40
RP + LC 80	9.97	80
RP + LC 120	14.96	120
LDST 10	0.96	10
LDST 20	1.92	20
LDST 40	3.83	40
LDST 80	7.66	80
LDST 120	11.49	120

T= Testigo, LC= Lodo compostado, RP+LC= Residuos de poda+ lodo compostado, LDST= Lodo deshidratado por secado térmico.

El ensayo duró hasta que algunos brotes de las yemas axilares de las estaquillas alcanzaron 4 cm de longitud, aproximadamente en 90 días. Según Guerrero (1997) esta medida marca el fin de la fase de endurecimiento; también se comprobó que después de estos 90 días de cultivo, las estaquillas que permanecían en buen estado vegetativo (hojas viejas verdes) habían desarrollado nuevas raíces (Miralles de Imperial *et al.* 2003). Uno de los fines del ensayo fue reproducir en las estaquillas el síntoma de fitotoxicidad con necrosis apicales en las hojas viejas del olivo (Aguilar *et al.* 2001) que se había manifestado tras la aplicación de lodo de depuradoras como fertilizante o enmienda en los olivos (Miralles de Imperial *et al.* 2002) y en este ensayo a partir de la dosis 40 t/ha algunas estaquillas a los tres meses de cultivo presentaban el síntoma antes descrito y con las dosis más altas 80 y 120 t/ha las hojas se secaban y era menor el desarrollo de raíces nuevas (Miralles de Imperial *et al.* 2003). Por todas estas razones se decidió finalizar el ensayo con sólo estos tres meses de cultivo y extraer las estaquillas del sustrato con el fin de valorar el estado nutricional de dichos sustratos tras el cultivo y se procedió a su análisis con el objeto de determinar la disponibilidad de nutrientes, nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica. El nitrógeno total se determinó por el método de Kjeldahl (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994). El nitrógeno inorgánico se obtuvo por destilación de arrastre de vapor después de ser extraído con una solución de Cl_2Ca 0.01 M. Para analizar el N-NH_4^+ se añadió MgO con el fin de poner la disolución en medio alcalino y para analizar el N-NO_3^- se utilizó la aleación Devarda (Al 45 %, Cu 50 % y Zn 5 %) para oxidar NH_4^+ a NO_3^- . Los destilados fueron valorados con H_2SO_4 0.005 N sobre ácido bórico con mezcla de indicadores (verde de bromocresol y rojo de metilo) (Bremmer y Edwards 1965).

El fósforo asimilable se determinó por el método de Olsen (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994), por extracción con NaCO_3H 0.5 M. ajustado a pH 8.5, se determinó el contenido de P en el extracto de NaCO_3H del sustrato por espectrofotometría a longitud

de onda de 660 nm. El potasio asimilable se determinó por extracción con solución de AcONH_4 1 N ajustada a pH 7; el contenido de K en el extracto de AcONH_4 del sustrato se determinó por fotometría de llama comparando con la emisión producida por las soluciones patrones (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1994).

El carbono orgánico oxidable se realizó por el método anteriormente citado de Walkey y Black y para expresar el resultado en porcentaje de materia orgánica oxidable se tuvo como base el supuesto de que la materia orgánica del suelo tiene 58 % de carbono (Primo y Carrasco 1973), el coeficiente por el que se multiplicó el carbono para obtener la materia orgánica fue 1.72, resultante del cociente 100/58.

Se hizo un modelo de la respuesta de cada variable: porcentaje de nitrógeno total, amonio, nitrato, fósforo, potasio y porcentaje de materia orgánica; para cada uno de los tres tratamientos a diferentes dosis, sólo en el caso que el modelo fuese el mismo para algún tratamiento de una variable se realizó la comparación entre ellos para verificar si estos eran significativamente diferentes. Para las variables porcentaje de nitrógeno y materia orgánica se decidió realizar la transformación de la raíz cuadrada del porcentaje, la selección de la transformación se realizó mediante el procedimiento de diagnóstico de Box y Cox (1964). Los programas utilizados fueron 1R para ajustar modelos lineales y AR para los no lineales, ambos del paquete estadístico BMDP (BMDP 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de regresión (parámetros estimados y estadísticos: R^2 , F) para las seis variables estudiadas y los tres tipos de lodo utilizados en el ensayo de cultivo con estaquillas enraizadas de olivo se presentan en las **tablas V y VI**. Los modelos matemáticos para LC, RP+LC y LDST se muestran en la **tabla VII**.

En las **figuras 1 y 2** aparecen los modelos estimados de los sustratos analizados después del cultivo de estaquillas de olivo correspondientes a nivel de las dosis (x) de lodo compostado siendo 0, 10, 20, 40, 80 y 120 t/ha.

Para el nitrógeno, % NT, los tres modelos estimados para LC, RP + LC, LDST fueron rectas en los tres casos. Los modelos presentaron diferencias significativas ($p=0.37$). Los R^2 de estas regresiones indican que 51, 56 y 57 %, respectivamente, de la variación del nitrógeno, es atribuible a la dosis de lodo aplicado. Gascó *et al.* (2001) observaron que los lodos de depuradora aportan nitrógeno al suelo del olivar en forma lenta y continua.

El efecto de los tres tratamientos sobre la concentración de amonio fue significativo, aunque los modelos fueron diferentes. El contenido de amonio fue muy superior en el tratamiento LC en todas las dosis (**Fig. 1**). Con el tratamiento RP+LC el crecimiento fue mínimo y se estabilizó con la dosis 40 t/ha, para el tratamiento LDST con la dosis 120 t/ha alcanza el máximo nivel. Los R^2 de estas regresiones indican que 16, 60 y 47 %, respectivamente, de la variación del amonio es atribuible a la dosis de lodo aplicado.

TABLA V. REGRESIONES RESULTADO DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA NITRÓGENO TOTAL, N-AMONIO, N-NITRATO

Variable tipo de lodo		a $\wedge$	b $\wedge$	c $\wedge$	d $\wedge$	R^2	F
% Nitrógeno total	Lodo compostado	0.11	0.339	-	-	0.51	36.29*
	Residuos poda+ I.compostado	0.11	0.03	-	-	0.56	36.29*
	Lodo deshidratado secado térmico	0.08	0.39	-	-	0.57	36.45*
N-amonio	Lodo compostado	3.26	3.78	-	-	0.16	5.36*
	Residuos poda+ I. compostado	3.88	-2.22	1.40	-0.18	0.60	13.33*
	Lodo deshidratado secado térmico	2.37	0.10	-	-	0.47	24.99*
N-nitrato	Lodo compostado	3.01	42.30	3.47	0.34	0.57	11.28*
	Residuos poda+ I. compostado	5.20	0.85	-	-	0.24	8.73*
	Lodo deshidratado secado térmico	4.02	8.76	1.19	0.31	1.00	847.74*

*=significativo ($P \leq 0.05$); $\wedge$ = estimado

TABLA VI. REGRESIONES RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN PARA MATERIA ORGÁNICA, POTASIO Y FÓSFORO

Variable	Tipo de lodo	a $\wedge$	b $\wedge$	c $\wedge$	d $\wedge$	R ²	F
Fósforo	Lodo compostado	40.64	4.41	-	-	0.37	16.26*
	Residuos poda+ I. compostado	41.14	115.47	3.64	10.10	0.92	99.33*
	Lodo deshidratado secado térmico	-9.53	52.24	-4.48	-	0.80	55.25*
	Lodo compostado	51.76	5.65	2.82	30.36	0.92	104.57*
Potasio	Residuos poda+ I. compostado	33.61	4.52	3.85	68.93	0.77	29.01*
	Lodo deshidratado secado térmico	29.10	42.85	3.38	0.80	0.80	35.66*
	Lodo compostado	0.13	0.22	-	-	0.84	158.89*
	Residuos poda+ I. compostado	0.32	0.056	-	-	0.78	100.78*
Materia orgánica	Lodo deshidratado secado térmico	0.21	0.20	-	-	0.85	156.93*
	Lodo compostado						

*=significativo; $p \leq 0.05$; $\wedge$ = estimado

El efecto de los tres tratamientos sobre la concentración de nitrato también fue significativo. Los modelos estimados con los tratamientos LC y LDST fueron no lineales pero con el tratamiento RP+LC se obtuvo una recta. El tratamiento LC se distingue muy significativamente de los otros dos a partir de la dosis 20 t/ha, alcanzando el máximo para la dosis 40. Los R² de estas regresiones indican que el 57, 24 y 30 %, respectivamente,

de la variación del nitrato es atribuible a la dosis de lodo aplicado. González *et al.* (2002b) en ensayos de fertilización con lodos de depuradora en olivar constataron incrementos en el N inorgánico en los suelos de Córdoba debidos a este abonado, incrementos también observados en el presente ensayo por el aporte de los lodos.

Beltrán *et al.* (2002a) encontraron en ensayos realizados en suelos de olivar situados en Aranjuez (Madrid)

TABLA VII. MODELOS ESTIMADOS PARA LODO COMPOSTADO, RESIDUOS DE PODA+LODO COMPOSTADO Y LODO DESHIDRATADO SECADO TÉRMICO PARA LAS VARIABLES: NITRÓGENO TOTAL, N-AMONIO, N-NITRATO, FÓSFORO, POTASIO Y MATERIA ORGÁNICA

Variable	Modelo estimado para el lodo compostado	R ²	Modelo estimado para residuos de poda+lodo compostado	R ²	Modelo estimado para el lodo deshidratado secado térmico	R ²
% N Total	$Y = 0.11 + 0.039x$	0.51	$Y = 0.11 + 0.03x$	0.56	$Y = 0.08 + 0.39x$	0.57
N-amonio	$Y = 3.26 + 3.78x$	0.16	$Y = 3.88 - 2.22x + 1.40x^2 - 0.18x^3$	0.60	$Y = 2.37 + 0.10\exp(x)$	0.47
N-nitrato	$Y = 3.01 + 42.30\exp(-0.5(\ln(x/3.47)/0.34))$	0.57	$Y = 5.2 + 0.85x$	0.24	$Y = 4.02 + (1 + \exp(-(x-1.19)/0.31))$	1.00
Fósforo	$Y = 40.64 + 4.41x$	0.37	$Y = 41.14 + 115.47/(1 + (x/3.64)^{10.10})$	0.92	$Y = -9.53 + 8.76/52.24\exp(-x/-4.48)$	0.80
Potasio	$Y = 19 + 51.76(1 - 1/(1 + (x/5.65) + (x/2.82)^{30.36}))$	0.92	$Y = 24 + 33.61(1 - 1/(1 + (x/4.52) + (x/3.85)^{68.93}))$	0.77	$Y = 29.10 + 42.85/(1 + \exp(-(x-3.38)/0.80))$	0.80
% Materia orgánica	$Y = 0.13 + 0.22x$	0.84	$Y = 0.32 + 0.056x^2$	0.78	$Y = 0.21 + 0.2x$	0.85

x = dosis

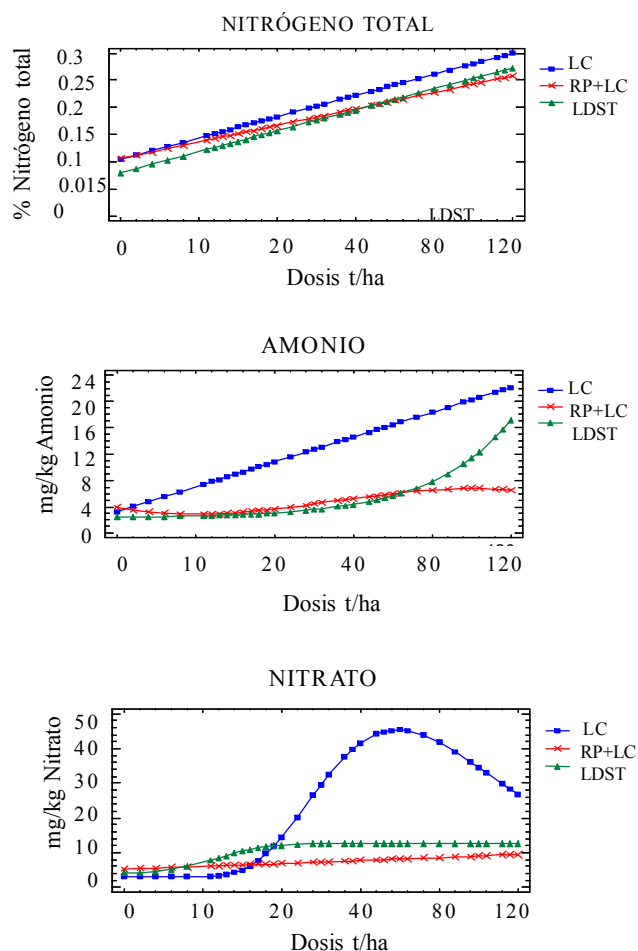


Fig. 1. Gráficas de los modelos estimados obtenidas para nitrógeno total (%), amonio (mg/kg) y nitrato (mg/kg), de los sustratos utilizados en el cultivo de estaquillas de olivo correspondientes a la dosis de lodo compostado: 0, 10, 20, 40, 80 y 120 t/ha y a los tratamientos, lodo compostado=LC, residuos de poda+lodo compostado=RP+LC y lodo deshidratado por secado térmico=LDST

y Seseña (Toledo) con cuatro tratamientos: lodo compostado, mixto (lodo + urea), urea y testigo; mayores contenidos en N-NH_4^+ y N-NO_3^- en las parcelas fertilizadas con urea o con tratamiento mixto con respecto al testigo sin fertilización y al tratamiento con lodo. Gascó *et al.* (2002) en ensayos con lodos de depuradora en suelos de olivar situados en Estremera (Madrid) no encontraron diferencias significativas entre tratamientos: lodo compostado, mixto (lodo + urea), urea y testigo, en el contenido de N-NO_3^- en el suelo. Estos resultados contrastan con los hallados en el presente ensayo donde hubo diferencias significativas en el contenido de N-NO_3^- entre los tres tipos de lodos aplicados al sustrato.

En el caso del fósforo el tratamiento LDST fue el que tuvo mayor liberación de este nutriente, con las dosis menores de 40 t/ha pero con las dosis 80 y 120 los valores

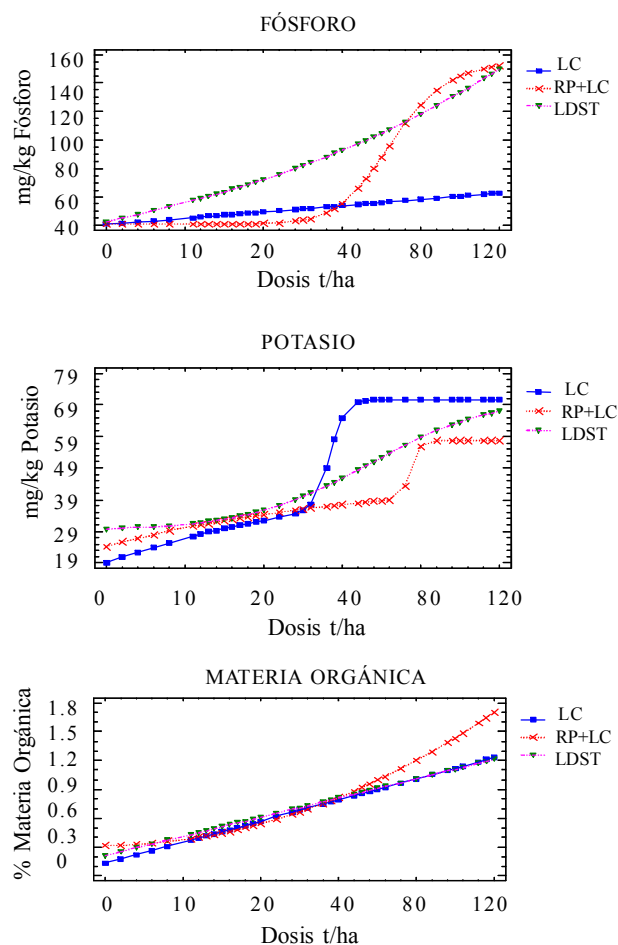


Fig. 2. Gráficas de los modelos estimados obtenidas para potasio (mg/kg), fósforo (mg/kg) y materia orgánica (%) de los sustratos utilizados en el cultivo de estaquillas de olivo correspondientes a las dosis de lodo compostado: 0, 10, 20, 40, 80 y 120 t/ha y a los tratamientos, lodo compostado=LC, residuos de poda+lodo compostado=RP+LC, lodo deshidratado por secado térmico=LDST

fueron parecidos al RP+LC. Con este último tratamiento el contenido en fósforo, se estabilizó a partir de la dosis 80, pero con la dosis 120 del tratamiento LDST aun no se alcanzó el máximo y aparentemente seguiría liberando fósforo. Los R^2 de estas regresiones indican que el 37, 92 y 80 %, respectivamente, de la variación del fósforo es atribuible a la dosis de lodo aplicado.

Para el potasio los tres modelos son muy similares. En las dosis más bajas los tres tratamientos tuvieron contenidos parecidos, con LC y dosis mayores de 20 t/ha se puede observar (fig. 2) un punto de inflexión (cambio de crecimiento) con un contenido superior a los tratamientos RP+LC y LDST, con la dosis 120 el contenido en potasio con el tratamiento LDST se iguala al del LC. Los R^2 de estas regresiones indican que 92, 77 y 80 %, respectivamente, de la variación del potasio es atribuible a la dosis de lodo aplicado.

Gascó *et al.* (2001) observaron en ensayos con lodos de depuradora en suelos de olivar que la aplicación de lodo compostado incrementó en estos el fósforo asimilable de 10 mg/kg de P hasta 22 mg/kg, incrementos de fósforo asimilable que también se observó en nuestro ensayo por el aporte de lodos al sustrato de cultivo. Sin embargo, estos autores no notaron diferencias significativas en el contenido en potasio que se observó en el presente ensayo.

Para la materia orgánica los modelos estimados fueron para RP+LC una parábola, con LC y LDST en los dos casos fueron rectas; que no presentaron diferencias significativas ($p=0.34$). En la **Fig. 2** se observa que con las dosis de 80 y 120 t/ha el contenido se separa un poco para el tratamiento RP+LC que fue algo superior al compararlo con los otros dos tratamientos (LC y LDST). Los R^2 de estas regresiones indican que el 85, 78 y 85 %, respectivamente, de la variación de la materia orgánica es atribuible a la dosis de lodo aplicado.

La aplicación de lodo de depuradoras incrementa el porcentaje de materia orgánica en el suelo (El-Naim y El-Houseini 2002). El aumento de materia orgánica por la aplicación de lodo observado en nuestro ensayo coincide con los resultados de estos autores. González *et al.* (2002a), en ensayos anteriormente reseñados de utilización de lodos de depuradoras en la conservación del suelo de los olivares y como enmienda orgánica, constataron incrementos de la materia orgánica (Aguilar *et al.* 2002) y del fósforo del suelo (Beltrán *et al.* 2002b). Los incrementos en cuanto a la concentración en fósforo y la materia orgánica observados en nuestro ensayo se presentan en la **figura 2** y también coinciden con los encontrados por los autores anteriormente mencionados obtenidos en ensayos de aplicación de lodos de depuradora en campo.

CONCLUSIONES

Los tres tratamientos, LC, RP+LC y LDST, incrementan los valores del nitrógeno según la dosis de lodo aplicado, con un intervalo de concentraciones con 10 t/ha de 0.1 y de 0.25 a 0.3 % con 120 t/ha de nitrógeno total.

Las concentraciones de amonio en el rango de dosis de lodo aplicado al sustrato de 10 a 120 t/ha fueron con el tratamiento LC de 7 a 22 mg/kg, con el tratamiento RP+LC de 2.5 a 7 mg/kg y con el tratamiento LDST de 2.5 a 17 mg/kg.

Las concentraciones de nitrato fueron con el tratamiento LC de 4.5 mg/kg con la dosis 10 t/ha, de 22 mg/kg con la dosis 20 t/ha, de 42 mg/kg con las dosis 40 t/ha y 80 t/ha y de 26 mg/kg con la dosis 120 t/ha. Con el tratamiento RP+LC y en el intervalo de dosis de lodo aplicadas al sustrato de 10 a 120 t/ha fue de 6 a 10 mg/kg y con el tratamiento LDST de 7 a 12 mg/kg.

Las concentraciones de fósforo asimilable fueron en

el rango de dosis de lodo aplicadas al sustrato de 10 t/ha a 120 t/ha, con el tratamiento LC de 45 a 60 mg/kg y con el tratamiento LDST de 55 a 150 mg/kg; con el tratamiento RP+LC de 40 mg/kg para las dosis de 10 a 40 t/ha, de 120 mg/kg para las dosis de 80 t/ha y 150 mg/kg para las dosis de 120 t/ha.

Las concentraciones de potasio asimilable fueron en el rango de dosis de lodo aplicadas al sustrato de 10 t/ha a 120 t/ha, con el tratamiento LDST de 29 a 67 mg/kg y con el tratamiento LC de 27 a 31 mg/kg para las dosis de 10 a 40 t/ha y 71 para las dosis de 80 a 120 t/ha; con el tratamiento RP+LC los valores entre las dosis 10 a 40 t/ha son similares a los obtenidos con LC a esas dosis y de 59 mg/kg para las dosis de 80 a 120 t/ha.

Los tres tratamientos, LC, RP+LC y LDST, incrementan los valores de materia orgánica según la dosis, estos valores fueron con 10 t/ha de 0.3 y de 1.2 % con 120 t/ha, con LC y LDST y con RP+LC fue de 1.8 % con 120 t/ha.

Estos resultados permiten en un periodo corto (tres meses), evaluar y comparar la disponibilidad de nutrientes de estos lodos según sus dosis y estudiar la idoneidad del aprovechamiento del compost de lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas como fertilizante organo-mineral del olivar sin exponer la vida productiva de éste.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen su colaboración en las tareas de invernadero y laboratorio a los señores: Jesús García, Ma. Isabel González, Yolanda Suárez, Ma. Luisa Suárez y Esmeralda Suárez.

REFERENCIAS

- Aguilar M. A. (2001). Efectos agronómicos de la aplicación de lodos de depuradora compostados en suelos de olivar. Tesis Doctoral. Córdoba. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 226 p.
- Aguilar M.A., Ordóñez R., de Luna E. y González P. (2001). Estado nutricional de un olivar enmendado con lodos de depuradora compostados. X Simposium Internacional del Aceite de Oliva. Expoliva 2001 (www.oliva.net/expoliva2001 Comunicaciones OLI-15, 2001).
- Aguilar M. A., de Luna E., González P., Ordoñez R. y Aguado J. M. (2002) Influence of the application of compost sewage sludge on moisture content of an olive grove soil. *Man and Soil at the Third Millennium*. Geoforma Ediciones. Logroño, España. Vol. I, pp. 535-551.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemist) (1997). *Official Methods of Analysis* (Cunniff, Ed.) 16 edición. Vol II, Garthursburg, Maryland.
- Bartual J., Valdés G., Ortiz M. e Iñiguez A. (1999). Respuesta a la

- multiplicación con nebulización de estaquillas semi-leñosas de diferentes variedades de olivo (*Olea europaea* L.) cultivadas en la Comunidad Valenciana. *Comunitat Valenciana Agraria* 15, 33-36.
- Beltrán Rodríguez E. M., Miralles de Imperial Hornedo R., Porcel Cots M. A., Bellido Lestable N., Delgado Arroyo M. M., Martín Sánchez J. y Bigeriego Martín de Saavedra M. (1998). Fertilización del olivar con lodos de depuradora. En: *Actas V Congreso Internacional de Química de la Anque*. Anque. Madrid, España, Vol I, pp. 185-193.
- Beltrán E. M., Delgado M. M., Miralles de Imperial R., Porcel M. A. y Bigeriego M. (1999). Preliminary study on application of sewage sludge compost as a fertilizer on olive grove soils. *Extended Abstracts 6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate*. (J. Bech, Ed.) Barcelona, España, pp. 826-827.
- Beltrán E. M., Miralles de Imperial R., Porcel M. A., Delgado M. M., Beringola L. M., Martín J. V. y Bigeriego M. (2002a). Effect of sewage sludge compost application on ammonium-nitrogen and nitrate-nitrogen contents of an olive grove soil. *Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference*. (Tsinghua University Press). Pekín, China, Vol III, pp. 395-402.
- Beltrán E. M., Miralles de Imperial R., Porcel M. A., Delgado M. M. y Bigeriego M. (2002b). Evaluation of the sewage sludge compost effects on olive grove soils. En: *Man and Soil at the Third Millennium*. Geoforma Ediciones. Logroño, España, Vol. I, pp. 1071-1077.
- BMDP. (1992). *Statistical software manual* (W. J. Dixon, Ed.) Los Ángeles, California, Vol. 2, pp. 989-1007.
- BOE (1990). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Real Decreto 1310/1990: de 29 de Octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. BOE 262, 32339-323421.
- BOE (2001). Resolución de 14 de Junio de 2001. Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales 2001-2006. BOE 166, 25297-25304.
- Box G. E. P. y Cox D. R. (1964). An analysis of transformations (with discussion). *J. R. Statist. Soc.* 26, 211-246.
- Bremmer J. M. y Edwards A. P. (1965). Determination and isotope-ratio análisis of different forms of nitrogen in soils: I. Apparatus and procedure for distillation and determination of ammonium. *Soil Science Society Proceedings* pp. 504-507.
- Cogliastro A., Domon G. y Daigle S. (2001). Effects of wastewater sludge and woodchip combinations on soil properties and growth of plants hardwood trees and willows on a restored site. *Ecolog. Engineer.* 16, 471-485.
- Consejo de las Comunidades Europeas. (1986). Directiva del Consejo 86/278/CEE de 12 de Junio de 1986, relativa a la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. *Diario Oficial de la Comunidades Europeas* de 4 de Julio de 1986.
- Davis R.D. (1994). Planning the best strategy for sludge treatment and disposal operations. *Water Sci. Technol.* 30, 149-158.
- Delgado M., Porcel M. A., Miralles de Imperial R., Bellido N., Bigeriego M., Beltrán E. y Calvo R. (1999). Mineralización del nitrógeno procedente de residuos orgánicos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 15, 19-25.
- Delgado M., Porcel M. A., Miralles de Imperial R., Beltrán E. M., Beringola L. M. y Martín J.V. (2002). Ensayo sobre el aumento de producción del maíz con el uso de lodos. *Tierras de Castilla y León* 86, 50-54.
- Delgado M., Porcel M. A., Miralles de Imperial R., Beltrán E. M., García J., Bigeriego M. y Calvo R. (2002a). Efectos residuales de lodos de depuradoras en el cultivo de trigo. *Vida Rural* 155, 38-39.
- Denis J. F. (1998). Les methodes de multiplication de l'olivier. *Le Nouvel Olivier* 6, 8-11.
- Denis J. F. (2000a). La fertilisation de l'olivier: I- L'ázote. *Le Nouvel Olivier* 15, 3-6.
- Denis J. F. (2000b). La fertilisation de l'olivier. II- Le phosphore. *Le Nouvel Olivier* 16, 4-7.
- Denis J. F. (2000c). La fertilisation de l'olivier. III- Le potassium et le magnesium. *Le Nouvel Olivier* 17, 8-12.
- El-Naim M. Abd y El- Houseini M. (2002). Environmental aspects of sewage sludge application in Egiypt. *17th World Congress of Soil Science*. Tailandia, III, 1003.
- Fontanazza G., Bartlozzi F. y Cipriani M. (2001). Nuevo sistema de cultivo de plantas madre para la multiplicación en continuo del olivo. *Olivae* 89, 42-46.
- Fleskens L. y Graaff J. (2001). Soil conservation options for olive orchards on sloping land. *I World Congress on Conservation Agriculture*. Córdoba, España, pp. 231-235.
- Gascó G., Alonso J., Sastre I., Martínez Iñigo M.J., Vicente M. A. y Lobo M. C. (1999). Application of sewage sludge in an olive grove in central Spain. *6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate* (J. Bech, Ed.) Barcelona, España pp. 873-874.
- Gascó G., Martínez M. J., Alonso J., Vicente M. A. y Lobo M. C. (2001). Utilización agrícola de lodos de depuradora: aplicación al olivar madrileño. *Boletín Agrario* 30, 31-35.
- Gascó G., Vicente M. A., Martínez Iñigo M. J., Sastre I., Yébenes L., Guerrero A. y Lobo M. C. (2002). Nitrogen dynamic in an olive grove amended with sewage sludge. En: *Man and Soil at the Third Millennium*. Geoforma Ediciones. Logroño, España Vol. I, pp. 1097-1105.
- González P., Ordoñez R., Giráldez J.V., Aguilar M.A., Miralles de Imperial R., Bigeriego M., Delgado M. M., Porcel M. A. y Beltrán E. M. (2002a). Feasibility of sewage sludge as amendment of olive orchard soils. *VII Congress of the European Society for Agronomy*. Junta de Andalucía-Consejería de Agricultura y Pesca. Córdoba, España, pp. 565-566.
- González P., Ordoñez R., Giráldez J.V., Aguilar M.A., Miralles de Imperial R., Bigeriego M., Delgado M. M., Porcel M. A., Beltrán E. M., Lobo C., Vicente M. A. y Gascó G. (2002b). Utilización de lodos de depuradoras en la conservación del suelo de los olivares y como enmienda orgánica. En: *Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva*. Difusión de Resultados de Investigación Programa de Investigación de Mejora de

- la Calidad de la Producción del Aceite de Oliva. Ministerio de Ciencia y Tecnología- Secretaría de Política Científica y Tecnológica- INIA. Madrid, España, pp. 95- 100.
- Guerrero A. (1997). *Nueva Olivicultura*. Mundi-Prensa, Madrid, España, 281 p.
- Mahamud M., Gutiérrez A. y Sastre H. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): Planteamiento del problema. *Ingeniería del Agua* 3, 47- 62.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (1994). *Métodos Oficiales de Análisis*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. Tomo III, 662 p.
- Miralles de Imperial R., Beltrán E. M., Porcel M. A., Beringola M. L., Martín J. V., Calvo R. y Delgado M. M. (2002). Influencia de tres tipos de lodo de estaciones depuradoras en el desarrollo de estaquillas de olivo. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 18, 163-169.
- Miralles de Imperial R., Beltrán E. M., Porcel M. A., Beringola M. L., Martín J. V., Calvo R. y Delgado M. M. (2003). Lodo compostado y deshidratado de estaciones depuradoras, efecto de su aporte en el desarrollo de estaquillas de olivo. XI Simposium Internacional del Aceite de Oliva. Expoliva 2003 (www.oliva.com/expoliva2003 Comunicaciones OLI-07, 2003).
- Porras A., Soriano M.L. y Solana P.(1998a). Mejoras técnicas en la propagación del olivo bajo nebulización. *Olivae* 74, 58-61.
- Porras A., Soriano M.L., Perez C., Couceiro J., Solana P., Prado M.A. y Moraga J.R. (1998b). Enraizamiento de estaquillas semileñosas de olivo *cv* Cornicabra: influencia de la densidad de plantación de las estaquillas y de la hormona utilizada. *Agricultura* 786, 60-62.
- Primo E. y Carrasco J. M. (1973). *Química Agrícola I Suelos y Fertilizantes*. Alhambra, Madrid, España, 472 p.