

## USO DE LODOS DE DEPURADORA SOBRE SUELOS DE BAJA PRODUCTIVIDAD EN SANTA FE (ARGENTINA)<sup>1</sup>

PILATTI, M. A.<sup>2</sup>; ALESSO, A.<sup>2</sup>; FELLI, O.<sup>2</sup> & GASPAROTTI, Y. E.<sup>3</sup>

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de lodos de depuradora sobre la capacidad de productiva de los suelos de baja aptitud del centro-norte de Santa Fe, y sobre la producción de sorgo y avena. Se evaluaron dosis entre 0 y 38,5 y entre 0 y 109 Mg de materia seca de lodo/ha, para sorgo y avena respectivamente, aplicadas previo a la siembra sobre un Natracualf típico. Se midió la respuesta en rendimiento y propiedades físicas y químicas del horizonte superficial. En ambos cultivos se observó respuesta positiva en comparación con el testigo. La salinidad moderada del lodo no afectó a los cultivos ya que se lavó con las precipitaciones. Se observó efecto positivo sobre las propiedades químicas y físicas del horizonte superficial, destacándose fósforo extraíble, calcio y magnesio intercambiable, nitrógeno total y carbono orgánico, estabilidad de agregados, e intervalo hídrico óptimo. El pH del suelo sólo tiende a mejorar con altas dosis.

*Palabras claves:* Natracualf; Intervalo hídrico óptimo, sorgo, avena.

### SUMMARY

#### **Using sewage sludge on soils with low productivity in Santa Fe (Argentina)**

The effect of sewage sludge on productive capacity of low aptitude soils (class IV or higher) from the center and north of Santa Fe, and on forage production of sorghum and oats was assessed. Before sowing of sorghum and oats, 0 to 38,5 and 0 to 109 Mg of dry matter/ha of sludge was applied respectively, on a Typic Natracualf. Afterwards, along with forage yield, several chemical and physical soil properties were measured. For both crops, forage production was increased in response to the application of sludge. Moderate salinity levels of sludge has no effect on crop production because salts were washed quickly by rainfall. The amount of sludge applied was related positively to extractable phosphorus, exchangeable calcium and magnesium, total nitrogen, organic carbon, aggregate stability and least limiting water range. Soil pH was improved only at higher doses of sludge.

*Key words:* Natracualf; least limiting water range, sorghum, oats.

---

1.- Proyecto financiado parcialmente por CA+ID 2011 (UNL) 20/C409

2.- Cátedra de Edafología, Dpto. Ciencias del Ambiente Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. Email: mpilatti@fca.unl.edu.ar

3.- Ing. Agr. Asesor particular.

Manuscrito recibido el 11 de junio de 2014 y aceptado para su publicación el 30 de julio de 2014.

## INTRODUCCIÓN

En la provincia de Santa Fe poco más del 50% de su superficie (Elaboración propia a partir de Atlas digital de suelos de la República Argentina, INTA-SAGyP, 1990) está ocupada por suelos salinos y/o sódicos (Suelos halomórficos o salsódicos) naturalmente de baja aptitud productiva. Para mejorarlos es necesario modificar la consistencia del suelo, disminuyendo su resistencia mecánica a la penetración radical, incrementando su porosidad, especialmente la macroporosidad, disminuir sensiblemente el pH y la salinidad y mejorar la fertilidad química. La incorporación de materiales orgánicos a esos suelos podrían mejorar la mayoría de esas propiedades.

Es cada vez más notorio y preocupante el incremento de residuos y efluentes industriales y municipales, pudiendo ser contaminantes ambientales (Giufre, 2003). A través de distintas normas se ha vuelto obligatorio el tratamiento de dichos materiales, por lo cual además de ser oneroso se plantea la problemática de su almacenamiento o reciclado. Surge entonces la posibilidad de aplicar algunos de estos residuos a los suelos, donde los organismos edáficos se encargarían de biodegradarlos. Son numerosos los estudios sobre tratamientos de residuos urbanos (desperdicios domiciliarios) para fabricar "composts"; "soil farming" o biodegradación edáfica del petróleo, el uso de barros de efluentes de curtiembres tánicas y el de barros cloacales (lodos, biosólidos) como enmienda orgánica de suelos agrícolas (Page & Chang, 1994).

Hasta hace pocos años estas actividades no fueron bien controladas ni reguladas. Esto está cambiando, en principio, debido

a efectos indeseables provocados por algunas de ellas, que además de materia orgánica, pueden incorporar al suelo sustancias capaces de degradarlos al alterar su composición química, su estado físico y/o su actividad biológica. Tal es el caso de la adición de sales, de microorganismos o de elementos tóxicos (como metales pesados) que, absorbidos por las plantas, pueden ser luego ingeridos por animales y seres humanos, provocándoles efectos no deseados.

En consecuencia se viene desarrollando y revisando permanentemente la legislación ambiental para controlar los tratamientos y aplicaciones de productos como los citados. Así, a medida que avanza el conocimiento de los fenómenos inherentes al uso de tales materiales, se van estableciendo normas que reglamentan sus posibilidades de aplicación. El organismo que regula la utilización de enmiendas y fertilizantes es el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agro-Alimentaria Argentina), Ley 20.466/73 (Ley de Fertilizantes y Enmiendas) y sus modificatorias.

El objetivo de esta experiencia fue utilizar un residuo orgánico: lodo de depuradora post tratamiento anaeróbico y seco, con el objeto de mejorar las condiciones físicas y químicas edáficas, incrementando la producción vegetal. Así se utiliza al suelo como receptor y digestor de aquellos barros, intentando disminuir y/o erradicar el problema de su acumulación y potencial contaminación ambiental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en la Estancia La Ramada próxima a la localidad de Sarmiento (provincia de Santa Fe):

Cuadro 1: Tratamientos, según dosis de lodo de depuradora sanitaria aplicados sobre un Natracualf típico en sorgo y avena para forraje (Sarmiento, Santa Fe, Argentina).

Ensayo Sorgo	Mg MS/ha	Ensayo Avena	Mg MS/ha
ST0	0	AT0	0
ST1	7,7	AT1	27,0
ST2	11,6	AT2	54,0
ST3	23,0	AT3	109,0
ST4	38,5		

31° 07' 19"S y 61°14'54"O (lote 2 del Establecimiento "Sarmiento 310")

Se utilizaron lodos de depuradora proporcionados por Aguas Provinciales de Santa Fe (en 1998), procedentes de su planta de tratamiento anaeróbico situada en Rafaela (Santa Fe). Los tratamientos según dosis aplicada se presentan en el Cuadro 1. Se aplicaron, esparciéndose con pala frontal, sobre una unidad cartográfica con capacidad de uso 6 ws(e) en la que predomina el Natracualf típico Serie Aurelia (Giorgi *et al.*, 2010) con aptitud agropecuaria para ganadería extensiva y forestación. Los lodos secos al aire se aplicaron con distribuidora de estiércol e incorporaron a 15 cm de profundidad en parcelas de 1000 m<sup>2</sup> usando rastra de disco.

Para evaluar la respuesta productiva de forrajeras primavera/estivales y otoño/invernales, se condujeron dos ensayos uno con sorgo forrajero durante el lapso noviembre a marzo y otro con avena forrajera desde mayo hasta noviembre. Ambos ensayos se instalaron en el mismo lote pero no en las mismas parcelas; es decir no hubo un efecto acumulativo en la aplicación de lodos.

Los muestreos de biomasa forrajera se hicieron con cinco repeticiones en parcelas al azar por tratamiento tomándose en cada caso una muestra compuesta por siete submuestras de un metro cuadrado

cada una. El material vegetal se pesaba en húmedo y una alícuota fue secada en estufa a 60°C durante 48 h, para evaluar materia seca.

En el Cuadro 2 se presentan las determinaciones efectuadas y técnicas analíticas utilizadas en lodos y suelo. Antes de aplicar los lodos se tomó -para análisis químico- una muestra compuesta por 30 submuestras al azar (0 a 15 cm) del horizonte superficial de suelo y también una muestra similar del lodo. Al finalizar el ensayo con sorgo se tomaron muestras del tratamiento testigo o sin aplicación de lodos y al que se le aplicó la mayor dosis. Para las determinaciones físicas, se tomaron 15 muestras sin perturbar (3 por repetición) de 0 a 5 cm y de 5 a 15 cm al finalizar el ensayo en los tratamientos extremos, usando cilindros de 5 cm de altura y 100 cm<sup>3</sup> de capacidad.

#### Análisis estadístico de los datos:

El efecto de la aplicación de lodos en la respuesta de la producción forrajera de sorgo y avena se analizó mediante ANOVA. Para ello se ajustó un modelo lineal en función de dosis y corte y el tipo de respuesta a la dosis de lodos aplicada se evaluó mediante contrastes polinómicos. Del mismo modo, la producción forrajera total en función de la dosis de lodo aplicada se modeló mediante ANOVA mediante

análisis de la varianza y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

De igual manera se procedió con los resultados de análisis físicos de suelos (muestras no perturbadas). Los análisis estadísticos y figuras se realizaron con el paquete estadístico R (R Core Team, 2014) y complemento ggplot2 (Wickham, 2009)

## RESULTADOS

### Suelo y lodos

En el Cuadro 3 se presenta la descripción del perfil modal del suelo en el cual se ubicó el ensayo. Es un Natracualf característico del área de influencia del Río Salado (Santa Fe). El lavado en medio alcalino, con participación de tenores importantes y 30

Cuadro 2: Determinaciones físicas y químicas realizadas al suelo y lodo de depuradora sanitaria.

Determinaciones	Símbolos	Procedimiento utilizado	Fuente bibliográfica
Descripción morfológica perfil			Arens & Etchevehere, 1966
Estabilidad de agregados	$Ea$	Tamizado en agua, por triplicado. Pretratamiento con agua y alcohol	Hénin <i>et al.</i> 1960 simplificado.
Densidad del horizonte	$\delta$	Cilindro 100 cm <sup>3</sup> , 15 repetición.	Forthsyte, 1975
Densidad de partícula	$\delta_p$	Por cálculo en f(MO)	Pilatti <i>et al.</i> , 2006
Agua saturación	$\theta_s$	Por cálculo: $\theta_s = 1 - (\delta_s / \delta_p)$	
Punto de marchitez permanente	$PMP$	f (contenido de arcilla)	Pilatti, 1989
Agua retenida -100 hPa	$\theta_{cc}$	Mesa de succión	Bezerra de Oliveira, 1968
Cont. hídrico aireación no es limitante	$\theta_a$	Por cálculo: $\theta_a = \theta_s - 0,15$	
Límite de agua fácilmente disponible (retenida a -1700hPa)	$\theta_{Fu}$	Por cálculo a partir de curva de retención hídrica	Pilatti <i>et al.</i> , 2012
Curva retención hídrica	$\theta(\psi)$	Por ajuste en f ( $\theta_{10}$ y PMP) $\theta = a \psi^b$	
Resistencia mecánica a la penetración. Valor crítico según textura: 3,7 MPa	$\theta_{RP}$	Penetrómetro punta cónica 1mm diámetro y 30° semiángulo $RP = a \exp^{-c \theta / \theta_s}$	Orellana <i>et al.</i> , 1996 Pilatti <i>et al.</i> , 2012
Intervalo hídrico óptimo	$IHO$	Por cálculo $IHO = \text{Mín} (\theta_{cc}; \theta_a) - \text{Máx} (\theta_{RP}; \theta_{Fu})$	Pilatti & Orellana, 1993 Orellana <i>et al.</i> , 1997
Carbono orgánico total	$C$	Combustión húmeda Walkley-Black. (Factor recuperac. 0,77)	Jackson, 1982
N total	$Nt$	Kjeldahl	Jackson, 1982
pH (relación 1:2,5)	$pH$	Potenciometría	
Fósforo extraíble	$P$		Bray & Kurtz N° 1 (1945)
Capacidad intercamb. catiónico	$CIC$	por desplazamiento del amonio con Cl2Ca y de éste con ClNa.	MAG, 1982
Calcio y Magnesio intercamb.	$Ca_i$ $Mg_i$	Complexometría	Jackson, 1982
Sodio intercambiable	$Na_i$	Fotometría de llama	MAG, 1982
Potasio intercambiable	$K_i$	Extrac. con acetato de amonio 1N, pH 7	Jackson, 1982

de sodio intercambiable, deteriora infaliblemente la fertilidad química del suelo, aunque el problema de mayor gravedad en los primeros centímetros del suelo está dado por la compactación de las partículas elementales, lo que genera un medio denso, duro y casi sin macroporos. Este detalle se encuentra fuertemente ligado a la inhibición que el medio ejerce sobre la actividad biológica, lo cual se manifiesta por la escasa vegetación, constituida únicamente por especies tolerantes a las condiciones de salinidad y sodicidad, como *Salicornia* Sp. y *Distichlis* Sp., la última de las cuales

es dominante. En superficie se observan humatos sódicos y sales.

En el Cuadro 4 se presenta la composición química del horizonte superficial al inicio del ensayo, así como la constitución de los lodos usados. No hay diferencias en el suelo de 0 a 15 cm al comenzar el ensayo con sorgo y luego el de avena.

La variabilidad de los distintos lodos se debe a la irregular composición de la materia prima. Puede observarse que siempre superan al suelo en todos los datos excepto el sodio, lo cual resulta favorable para disminuir su tenor. Tienen entre 20

Cuadro 3: Características descriptivas del perfil modal del Natracualf típico utilizado para el ensayo de respuesta productiva de sorgo y avena forrajera a la aplicación de lodos de depuradora sanitaria (Sarmiento, Santa Fe, Argentina).

Horizonte	Espesor (cm)	Características
E	0 – 15	Horizonte decolorado, con escaso tenor orgánico, color (seco; húmedo): 10YR 6/3; 3/ 4 (Pardo pálido; Pardo amarillento oscuro). De textura limosa, en parte está débilmente estructurado en bloques subangulares finos a medios, mientras el resto es masivo, con inclusiones de estructura laminar débil. Plástico, ligeramente adhesivo. Límite inferior abrupto, uniforme.
B/E	15 – 25	Horizonte franco arcillo-limoso liviano, fuertemente estructurado en bloques angulares finos, con escasos a moderados barnices. Color (seco; húm.): 10YR 5/3; 3/ 4 (Pardo; pardo amarillento oscuro). Ligeramente plástico, ligeramente adhesivo). Límite inferior abrupto, uniforme.
Bht	25 – 35	Horizonte franco arcillo-limoso, débilmente estructurado en prismas muy finos que rompen en fuertes bloques angulares finos y medios, recubiertos con barnices oscuros (7,5YR3/2 en seco), muy probablemente de humatos sódicos. Color (s;h) 10YR 5/3; 3/3 (Pardo) . Ligeramente plástico, ligeram. adhesivo. Límite inferior abrupto, uniforme.
Btck	35 – 65	Horizonte arcillo-limoso, más claro que el suprayacente, fuertemente estructurado en prismas medios que rompen en bloques angulares medios, recubiertos de abundantes barnices. Color 10YR4/3;3/ 4 (Pardo; pardo amarillento oscuro). Plástico, ligeramente adhesivo. Hay moteados comunes, finos y destacados de manganeso y concreciones calcáreas muy finas. El límite inferior es gradual y no fue observado.

y 30 veces más fósforo y materia orgánica que el suelo; 10 veces más nitrógeno, 5 veces más calcio con un pH neutro a ligeramente ácido. Como aspecto negativo hay que mencionar que tiene más sales que el suelo en estudio.

En el suelo el elevado porcentaje de sodio intercambiable hace que la reacción sea alcalina, en cambio en el lodo es débilmente ácida. Hay importantes diferencias entre lodos en lo referido al sodio intercambiable: análisis que debe tenerse especialmente en cuenta cuando se pretende usar estos lodos.

En la Figura 1 se observa el efecto de las distintas dosis de lodo sobre propiedades químicas y físico químicas del horizonte E. Hay un incremento importante y favorable en nitrógeno total (Nt), carbono orgánico (C), fósforo extraíble (P), magnesio y calcio intercambiable (Mgi, Cai). El pH y sodio intercambiable (Nai) tienden a decrecer lo que también es favorable. El potasio intercambiable (Ki) decrece -aunque dentro

de valores aceptables para un elevado crecimiento vegetal- debido a que la composición del lodo es menos rica que la del suelo. La salinidad (conductividad eléctrica del extracto de saturación CEes) en todos los casos disminuye debido -posiblemente- a que antes de la toma de muestra llovió 90 mm en dos días consecutivos: no se registra tendencia entre tratamientos.

#### Propiedades físicas

El mejoramiento de la agregación de las partículas, así como su estabilidad, se nota claramente en el Cuadro 5, según el cual la dosis mayor de biosólidos (único tratamiento evaluado) elevó considerablemente, con respecto al testigo, ambas propiedades.

La estabilidad de los agregados al agua denota una gran fragilidad estructural en T, acorde con la compactación observada en el terreno. Son valores similares a los hallados

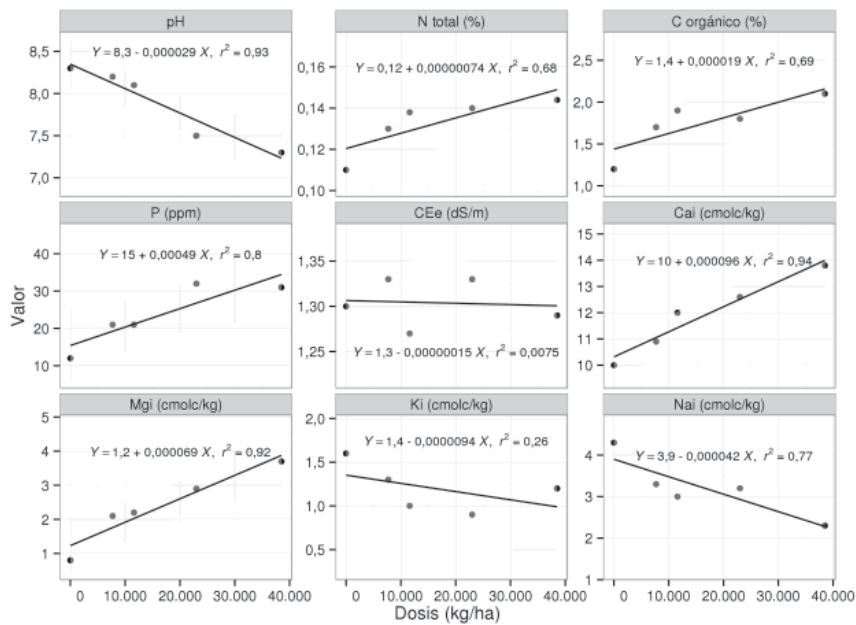
*Cuadro 4: Información química de suelo y lodos, antes de iniciar el ensayo de respuesta productiva de sorgo y avena forrajera a la aplicación de lodos de depuradora sanitaria sobre un Natracualf típico (Sarmiento, Santa Fe, Argentina).*

Determinaciones	Suelo 0-15 cm Sorgo	Suelo 0-15 cm Avena	Lodo	
			Sorgo	Avena
P (ppm)	13	10	311	180
N Total (%)	0,103	0,101	1,4	1,6
C Org. Total (%)	1,1	1,1	32,2	36,1
Conductividad eléctrica (dS/m)	3,0	2,1	9,7	5,2
Ca (cmolc/kg)	7,2	7,9	36	31,1
Mg (cmolc/kg)	0,8	0,9	0,7	0,7
K (cmolc/kg)	2,0	1,4	1,5	1,0
Na (cmolc/kg)	5	5,3	4,8	2,3
Capac. de interc. Catiónico (cmolc/kg)	15,7	14,9	40,7	34,3
% Na intercambiable	32	35	12	7
pH 1:2,5	8,3	8,9	6,0	7,1

en la región para tierras con aptitud agrícola muy agotadas (Orellana *et al.*, 1988) incremento de los agregados estables en agua (más del 150 %).

El aumento de la agregación con la aplicación de lodo se infiere de comparar los porcentajes de agregados estables en alcohol, (ST4 supera a T en 40 %) en E, para las 2 profundidades evaluadas tanto que la mayor estabilidad surge del en los tratamientos. Esta información es

Figura 1: Cambios producidos por dosis crecientes de lodo de depuradora sanitaria (biosólidos) aplicadas antes de sorgo forrajero e incorporadas al horizonte E (0-15 cm) de un Natracualf típico (Sarmiento, Santa Fe, Argentina). (P: fósforo extraíble, CEe: conductividad eléctrica extracto de saturación, Cai, Mgi, Ki y Nai: calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiable)



Cuadro 5: Porcentajes de agregados estables según pretratamientos en el horizonte superficial de un Natracualf típico con y sin aplicación de lodo de depuradora sanitaria al finalizar la cosecha de sorgo forrajero (Sarmiento, Santa Fe, Argentina).

Tratamientos	alcohol	agua
Testigo	56 a	12 a
38,5 Mg MS lodo/ ha	80 b	31 b

Letras distintas indican diferencias significativas a nivel del 5% entre tratamientos.

imprescindible para el cálculo del intervalo hídrico óptimo (IHO).

Intervalo hídrico óptimo (Cuadro 7): Este indicador integra en un único parámetro el efecto de la aireación, humedad fácilmente utilizable y resistencia mecánica sobre la exploración y actividad radical. Los valores son en general bajos a muy bajos. En el horizonte E sin aplicación de lodos se aproxima mucho a cero (menor a 0,03); esto indica que en este estrato a cualquier contenido hídrico desde húmedo a seco

siempre las raíces tienen limitaciones ya sea por aireación o por resistencias mecánicas.

Al agregar lodo en dosis importantes (38,5 Mg/ha) mejora mucho esta condición física con valores entre 0,04 a 0,07 pero sin llegar al nivel frecuente en los horizontes A de los mejores suelos de la zona (Argiudoles) en los que el IHO -en su condición natural- supera a 0,12.

En húmedo siempre la aireación es limitante ( $q_{s-0,15}$ ) y cuando se seca la resistencia mecánica pasa a ser la principal

Cuadro 6: Parámetros curva de retención hídrica ( $\alpha$  y  $\beta$ ) y resistencia mecánica ( $a$ ,  $c$ ) para el horizonte superficial de un Natracualf típico sin aplicación de lodo de depuradora sanitaria (ST0) y con la aplicación de 38, 5 Mg MS/ha (ST4), al finalizar el ciclo de crecimiento de un sorgo forrajero en Sarmiento (Santa Fe, Argentina).

Casos evaluados	$\alpha$ ret hídrica	$\beta$ ret hídrica	a resistencia mecánica	c resistencia mecánica	R <sup>2</sup> resistencia mecánica
ST0 0- 5 cm	1,18	-0,245	61	-4,3	0,97
ST4 0-5 cm	1,19	-0,258	47	-4,6	0,96
ST0 5-15 cm	1,25	-0,244	257	-6,4	0,97
ST4 5-15 cm	1,13	-0,253	67	-4,8	0,93

Cuadro 7: Intervalo hídrico óptimo (IHO) y contenidos hídricos (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) que lo delimitan en el horizonte superficial de un Natracualf típico sin aplicación de lodo de depuradora (ST0) y con la aplicación de 38,5 Mg MS/ha (ST4, dosis máxima única evaluada), al finalizar el ciclo de crecimiento de sorgo forrajero en Sarmiento (Santa Fe, Argentina). (Los valores subrayados son los límites superiores e inferiores del IHO).

Tratamientos y profundidades	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{s-0,15}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{cc}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{RP}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{FU}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	IHO (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	Ds g/cm <sup>3</sup>	Dp g/cm <sup>3</sup>
ST0 0- 5 cm	0,497	<u>0,347</u>	0,433	<u>0,324</u>	0,191	0,023	1,27	2,53
ST4 0-5 cm	0,492	<u>0,342</u>	0,415	<u>0,272</u>	0,175	0,07	1,25	2,46
ST0 5-15 cm	0,466	<u>0,313</u>	0,458	<u>0,309</u>	0,203	0,004	1,35	2,53
ST4 5-15 cm	0,488	<u>0,338</u>	0,403	<u>0,294</u>	0,173	0,044	1,26	2,46

( $\theta_s$ ,  $\theta_{s-0,15}$ ,  $\theta_{cc}$ ,  $\theta_{RP}$ ,  $\theta_{FU}$ , son, respectivamente, los contenidos hídricos volumétricos: a saturación, cuando la Porosidad Aérea no es limitante, a capacidad de campo, en el límite inferior de agua fácilmente utilizable y cuando la resistencia mecánica es limitante: Ds y Dp son los pesos específicos del suelo y de las partículas).



limitación: ambos fenómenos están muy ligados a la elevada presencia de sodio intercambiable y su efecto dispersante: en húmedo hay pocos macroporos y en seco las partículas adquieren una elevada consistencia.

En el cálculo del contenido hídrico a partir del cual el agua deja de estar fácilmente utilizable ( $q_{FU}$ ) sólo se tuvo en cuenta la influencia del potencial mátrico. Si se incorpora la influencia del potencial osmótico (salinidad), como lo hizo Felli *et al.* (1997), se concluye que con CEes próximas 3 dS/m el contenido hídrico de agua fácilmente utilizable pasaría a limitar antes que la resistencia mecánica del suelo. Ese tenor salino es frecuente en el horizonte superficial de estos suelos por lo tanto cuando el suelo comienza a secarse limita primero  $q_{FU}$ .

#### Producción de sorgo forrajero

Durante el ciclo de crecimiento del sorgo las precipitaciones fueron de 270 mm por lo que no hubo deficiencia ni excesos hídricos importantes.

En el Cuadro 8 se presenta el rendimiento acumulado por el sorgo en dos cortes y en

la Figura 2 se presentan los resultados de biomasa de sorgo forrajero obtenidos en el primero y segundo corte.

En ambos cortes se observa respuesta lineal creciente de la producción de biomasa en función de la dosis de lodo aplicado. No obstante, la respuesta fue mayor en el segundo corte donde la producción de la dosis máxima produjo aproximadamente 4 veces más que el testigo. Para todas las dosis aplicadas, el rendimiento en forraje al cabo de dos cortes fue significativamente mayor al testigo. La mayor producción forrajera acumulada se obtuvo con la máxima dosis, con niveles de biomasa que asemejan a los obtenidos en lotes con mejores suelos en la zona de estudio. Las diferencias entre dosis intermedias fueron menores, siendo notoria la diferencia entre ellos y la mayor dosis.

#### Producción de avena forrajera

En la Figura 3 se presentan los resultados de biomasa de avena forrajera obtenidos en el primero y segundo corte y en el Cuadro 9 la producción acumulada.

Al igual que en el sorgo, en ambos cortes se observa respuesta lineal creciente de la producción de biomasa en función de la dosis de lodo aplicado; aunque no

Cuadro 8: Producción de sorgo forrajero con distintas dosis de lodos de depuradora sanitaria, total de 2 cortes, aplicados sobre un Natracualf típico en Sarmiento (Santa Fe, Argentina).

Dosis de lodos (Mg MS lodo/ha)	Producción total (kg MS/ha)
0	2360 a
7,7	4805 b
11,6	6518 bc
23,0	6787 c
38,5	9404 d

(a,b,c,d) Distintas letras indican diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5%.

hubo diferencias entre cortes. Sólo AT2 y AT3 se diferenciaron de AT0, no habiendo diferencias entre ellas a pesar de que la cantidad de lodo aplicada fue el doble.

En la misma Región, (Pampa llana santafesina, Espinal) se han utilizado efluentes con respuestas productivas favorables. Tal es el caso de la aplicación de efluentes de

tambo sobre sorgo y raigrás (Imhoff *et al.*, 2011; Gambaudo *et al.*, 2014; Ghiberto *et al.*, 2012); o el uso de permeado de suero sobre maíz para silo (Badino *et al.*, 2011). Pero, se destaca, no se usó lodos de depuradora para mejorar suelos de baja aptitud como en este estudio sino que -en su mayoría- eran Argiudoles; los mejores

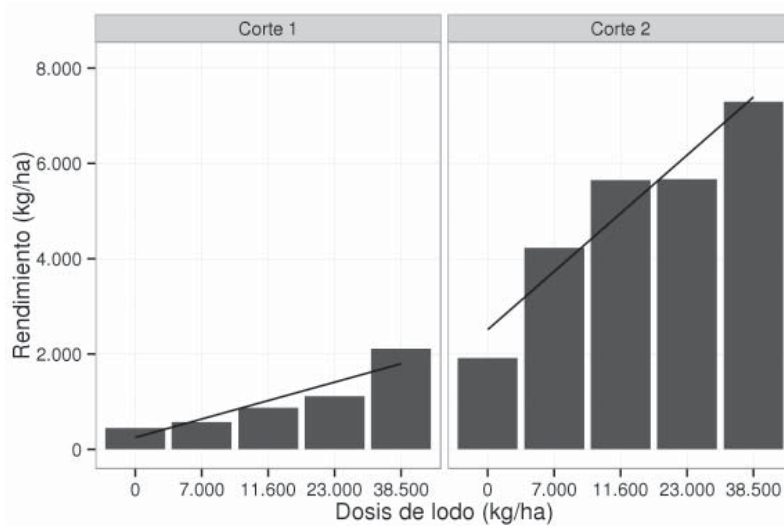


Fig. 2: Producción de sorgo forrajero con distintas dosis de lodos de depuradora sanitaria en el primero y segundo corte, aplicados sobre un Natracualf típico en Sarmiento (Santa Fe, Argentina).

Cuadro 9: Producción de avena forrajera con distintas dosis de lodos de depuradora sanitaria, total de 2 cortes, aplicados sobre un Natracualf típico en Sarmiento (Santa Fe, Argentina).

Dosis de lodos (Mg MS/ha)	Producción total (kg MS/ha)
0	1050 a
27,0	2778 ab
54,0	3203 b
109,0	3856 b

(a,b,c,d) Distintas letras indican diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5%.

suelos de Santa Fe.

Si bien el uso de esta enmienda tuvo efectos positivos sobre el suelo y producción de las forrajeras evaluadas a nivel de ensayo, su uso en escala predial deberá tener en cuenta las normas de calidad, límites y criterios para la disposición y/o utilización de estos biosólidos con fines agrícolas; sujetos a la normativa vigente.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 **ARENS, P. & P. ETCHEVEHERE.** 1966. Normas de reconocimiento de suelos. INTA, ISA. Buenos Aires. 169 pp.
- 2 **BADINO, O.; PILATTI, M.A.; FELLI, O.; WEIDMANN, P.E. & GIBERTO, P.** 2011. Permeado de suero como abono: Respuesta de maíz para silo y efectos en un Argiudol de la Pampa llana Santafesina. Revista FAVE, sección Ciencias Agrarias. ISSN 1666-7719. Vol. 10 N°2- 77-85.
- 3 **BEZERRA DE OLIVEIRA, L.** 1968. Determinação da macroporosidade pela “mesa de tensão” em mostras de solo com estrutura indeformada. Pesquisa agropecuária brasileira, 3:197-200.
- 4 **BRAY, R. & L. KURTZ.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. Soils Sci., 59: 29-45.
- 5 **FELLI, O.; GARIGLIO, N. F. & PILATTI, M. A.** 1997. Caracterización física del aserrín de salicáceas para su uso como sustrato en cultivos hortícolas sin suelo. XX Congreso Argentino de Horticultura. Bahía Blanca.
- 6 **FORSHYTE, W.** 1975. Física de suelos. Manual de Laboratorio. IICA. Costa Rica. 212pp.
- 7 **GAMBAUDO, S.; IMHOFF, S.; CARRI-ZO, M.E.; MARZETTI, M. & RACCA, S.** 2014. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la fertilidad del suelo y productividad de los cultivos. Ciencia del Suelo, aceptado para publicación.
- 8 **GHIBERTO, P.; IMHOFF, S.; MICHELOUD, H. & CALAMARI, M.** 2012. Uso de efluentes de tambo como abono II: producción de sorgo y balance hídrico. En: Actas XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo / 1ª edición. Ed. MNEMOSYNE, Mar del Plata. ISBN 978-987-1829-11-8.
- 9 **GIORGI, R.; R. TOSOLINI; V. SAPINO & C. LEÓN.** 2010. Agrupamiento por aptitud agropecuaria de las tierras de la Provincia de Santa Fe (GAT) - I. Conceptos del sistema y II. Procedimientos operativos para la clasificación de las unidades cartográficas en clases y subclases de aptitud agropecuaria. [online] Disponible en la World Wide Web en [HTTP://RAFAELA.INTA.GOV.AR/MAPAS/SUELOS/GAT.HTM](http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/suelos/gat.htm). Acceso 09 marzo 2013.
- 10 **GIUFRÉ, L.** 2003. Impacto ambiental en agro-sistemas. Editorial EFA-Orientación Gráfica Editora SRL. 267 pp.
- 11 **HÉNIN, S.; R. GRASS & G. MONNIER.** 1960. Le profil culturel. La Maison Rustique, París, 340 pp.
- 12 **IMHOFF, S.; GIBERTO, P.; CARRIZO, M.E.; CHARLÓN, V.; ZEN, O. & GAMBAUDO, S.** 2011. Uso alternativo de efluentes de tambo para disminuir el impacto ambiental. En: v congreso iberoamericano sobre desarrollo y ambiente de redibec y v jornadas de la asociación argentino-uruguay de economía ecológica, 2011, Santa Fe. Resumen en cd de v císda.
- 13 **INTA-SAGyP.** 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires. Formato digital.
- 14 **JACKSON, M. L.** 1982. Análisis químico de suelos. 4a. edición. Edit. Omega, Barce-

- lona. 663 pp.
- 14 **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DE LA PROVINCIA DE SANTA FE. M.A.G.** 1982. D. G. Ext. e Inv. Agropecuaria. Toma de muestras y determinaciones analíticas en suelos y aguas. 152 pp.
  - 15 **ORELLANA, J.A. DE; PILATTI, M.A. & PRIANO L.** 1988. Estabilidad de agregados edáficos en el departamento Las Colonias (Santa Fe). Rev. FAVE 4 (1,2) : 71-79.
  - 16 **ORELLANA J. A. DE; D. A. GRENÓN & O. QUAINO,** 1996. Un penetrómetro de escala milimétrica: calibración y uso. FAVE 9 (2): 19-26.
  - 17 **ORELLANA, J.A. DE; M. A. PILATTI & D. A. GRENÓN.** 1997. Soil Quality: an approach to the physical state assessment. J. of Sustainable Agriculture. 9 (2-3) : 91-108.
  - 18 **PAGE, A. L. & A. C. CHANG.** 1994. Overview of the Past 25 years: Technical Perspective. 1-3 en C.E. Clapp, W.E. Larson, and R.H.Dowdy, editors. Sewage Sludge: land utilization and the environment. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI.
  - 19 **PILATTI, M.A.** 1989. Estimación del punto de marchitez permanente en Molisoles santafesinos. Ciencia del Suelo 7 (1- 2): 103-106.
  - 20 **PILATTI, M.A.; P. GHIBERTO & S. IMHOFF,** 2006. Application of a General Relationship between Soil Particle Density and Organic Matter to Mollisols of Santa Fe (Argentina). 18° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Philadelphia, USA. Trabajo 163-11.
  - 21 **PILATTI, M.A. & J.A. DE ORELLANA.** 1993. Posibles indicadores edáficos de sostenibilidad: II) el intervalo hídrico óptimo. 15 pp. Inédito. Presentado en el XIV Congr. Arg. de Ciencia del Suelo. Publicado el resumen.
  - 22 **PILATTI, M. A.; J. A. DE ORELLANA; S. IMHOFF & Á. P. DA SILVA.** 2012. Revisión de los límites críticos del Intervalo Hídrico Óptimo (IHO). Ciencia del Suelo (Argentina). 30 (1): 9-21.
  - 23 **R DEVELOPMENT CORE TEAM.** 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, [online] Disponible en la World Wide Web en <http://www.R-project.org>. Acceso: 01 junio 2014
  - 24 **WALKLEY, A. & I. BLACK.** 1945. En Jackson, M. L., 1982. Op. Cit.:300-303.
  - 25 **WICKHAM, H.** 2009. ggplot2: elegant graphics for data analysis. Springer New York.