

Utilización como enmienda de suelos del biosólido residual de la planta de tratamiento de efluentes de una industria tomatera

Monetta, P.¹; Sosa, C.¹; Albors, A.¹; Picca, C.²; Bustos, L.¹; Mundaca S.¹ Ruiz, R.³; Babelis, G.¹

¹INTA EEA San Juan, San Juan. ²INTA-EA Rama Caída. San Rafael, Mendoza. ³Depto de Ingeniería Agronómica. FI. UNSJ. monetta.pablo@inta.gob.ar

Introducción

La industrialización de tomate para generación de salsa, pulpa y otros derivados, representa una actividad económica y productiva de relevancia para la provincia de San Juan. El principal establecimiento industrial para el procesado de tomate de la provincia, emplazado en el departamento Rawson, posee una planta de tratamiento de efluentes industriales que genera un efluente líquido y un lodo residual o biosólido. El efluente cumple con los parámetros de vuelco exigidos [1], mientras que el biosólido es vertido al relleno sanitario. Considerando una generación anual de 2000 t de biosólido, el costo total para dar disposición final a este residuo es de USD 46000 (Transporte: USD 100 por 5 m³; Tasa de vertido: USD 10/t). Según análisis previos, este biosólido posee un contenido de materia orgánica superior al 10%, moderados niveles de conductividad eléctrica (CE) (2000-2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH cercano a la neutralidad y niveles de metales pesados menores a los límites de detección de los métodos empleados.

Los suelos de la provincia de San Juan presentan bajos niveles de materia orgánica en su capa arable [2]. La fracción orgánica del suelo junto con los microorganismos que cohabitan con ella ejerce funciones indispensables en la relación suelo-planta-agua. En virtud de su favorable respuesta sobre los rendimientos de los cultivos, es frecuente incorporar enmiendas orgánicas al suelo durante las operaciones de labranza, con el triple propósito de aportar nutrientes de rápida asimilación, inocular el suelo con microorganismos y facilitar la microagregación de las partículas para generar un ordenamiento estructural que facilite la aireación del suelo antes mencionada. A esta práctica también se suman las labranzas verticales para facilitar la percolación profunda del agua y sales excedentes de la zona radicular. En este trabajo se hace foco en el biosólido de la industria tomatera porque puede ser, considerando por su composición química, una alternativa de enmienda orgánica. Surgen interrogantes respecto a posibles efectos negativos que la aplicación de este biosólido

podiera ocasionar sobre el suelo y la productividad de cultivos. Al estar constituido por materiales crudos, podría contener semillas viables de tomate u otras malezas, agentes fitopatógenos y/o nematodos que representen una amenaza para los cultivos. Hasta tanto no haya suficiente información confiable, estos biosólidos serán vertidos en rellenos sanitarios. En el presente trabajo, se evaluó la composición química del biosólido y su aptitud como enmienda de suelos destinados a uso agrícola intensivo bajo riego. La respuesta a la aplicación fue determinada mediante una evaluación de los efectos que éste produjo sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas de un suelo y sobre parámetros de crecimiento de un cultivo de Centeno (*Secale Cereale* L.), seleccionado por ser de ciclo otoño-invernal recomendable para en rotaciones cortas entre cultivos hortícolas.

Materiales y Métodos

Características y ubicación del ensayo: El ensayo se llevó a cabo durante la temporada 2016, en la Estación Experimental Agropecuaria San Juan del INTA (31° 37' 50'' S y 68° 32' 30'' O). El terreno donde se instaló el ensayo corresponde, según clasificación taxonómica (USDA 2003), a un Torrifuvent típico, constituido por una capa de suelo poco profunda (0,5 m) de textura franco-limosa y por un subsuelo de matriz arenosa con abundante canto rodado. El agua utilizada es de perforación con valores de CE y pH de 1.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 7,0 respectivamente.

Diseño experimental, tratamientos y dimensiones de las parcelas: El ensayo se realizó bajo un diseño al azar de parcelas divididas (4x50m). Se establecieron 3 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. T0: Control sin aporte de biosólido, T30: 29 t/ha biosólido, T90: 87 t/ha biosólido.

Recepción, acondicionamiento del biosólido y distribución en el campo: La recepción se llevó a cabo en marzo de 2016. Cinco contenedores de 5 m³ fueron descargados sobre suelo consolidado quedando acumulado por 5 días hasta que la humedad permitió extenderlo mediante uso de

pala de nivelación para acelerar el secado (**Figura 1A**). Luego de 15 días, se distribuyó en las parcelas con la asistencia de un carro esparcidor (**Figura 1B**) respetando las dosis pactadas en el diseño estadístico. Para no ejercer influencia del tránsito de la maquinaria, el carro también circuló sin aplicar la enmienda sobre el tratamiento control. Concluida esta etapa se incorporó al suelo con una rastra de discos.

Sistematización del riego y labores de pre-siembra: El sistema de riego fue de tipo presurizado por goteo, con cintas de riego de 150 µm, con emisores de 1,2 l/h de caudal nominal separados 0,3 m entre sí. Un total de 5 laterales fueron instalados por parcela (0,66 m de separación). De esta manera se logró una excelente uniformidad de mojado. A los fines de activar un proceso de descomposición de la enmienda, cargar el perfil de humedad y promover la emergencia de malezas, se realizó un riego de pre-siembra con un mes de anticipación a la implantación de la pastura propuesta (**Figura 1C**). Transcurridos 25 días desde el riego se realizó un control con pulverizadora manual con herbicida no selectivo de contacto (Paraquat, 1,2 l ie/ha +TA 0,1%).

Método de siembra y material utilizado: Se utilizó centeno (*Secale Cereale* L.), CV Lisandro INTA. La siembra se llevó a cabo en forma manual mediante técnica de siembra al voleo (1,6 kg/parcela de 200 m²). Finalizada la labor, se procedió a tapar la simiente con la asistencia de una rastra de dientes (**Figura 1D**).



Figura 1. Imágenes representativas de Recepción del biosólido (A), Carga del biosólido en carro esparcidor (B); Sistematización del riego (C); Tapada de semillas con rastra de dientes (D).

Determinaciones analíticas en suelos: En la Tabla 1 se detallan las determinaciones

realizadas en muestras de suelo según la etapa del ensayo. Se analizó textura por volumen de sedimentación, pH por potenciometría en pasta saturada y CE en extracto de saturación. Nitrógeno total mediante Kjeldahl [3], fósforo disponible por extracción carbónica [4] y potasio intercambiable con acetato de amonio 1N pH 7. El contenido de materia orgánica disponible por Walkley & Black [5].

Tabla 1. Determinaciones analíticas realizadas en muestras de suelo según etapa del ensayo (Pre-A: Preaplicación; Post-A: postaplicación; Madurez del cultivo).

Determinación	Etapa del ensayo		
	Pre-A	Post-A	Madurez
Textura	x		
CE	x	x	
pH	x	x	
MO	x	x	
N		x	
P		x	
K		x	
Nemátodos	x		x
H. Fitopatógenos	x		

Determinaciones analíticas en el biosólido: Inmediatamente luego de su recepción se tomaron tres muestras compuestas del biosólido para realizar análisis nematológico (Flotación-Centrifugación en azúcar e identificación y conteo mediante lupa y microscopio) y recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos fitopatógenos (Cultivo en medio selectivo de Nash y Snyder modificado). Luego, previo a la aplicación del biosólido se tomaron otras tres muestras compuestas para determinar humedad, CE, pH, macro-nutrientes y cloruros.

Determinaciones en el cultivo: Producción de forraje. Se colectaron muestras del material vegetal aéreo mediante con uso de aros arrojados al azar en cada parcela. Se determinó peso fresco y peso seco luego de 48 h a 75°C. Para determinar el contenido indirecto de clorofila en hoja se utilizó el dispositivo Minolta SPAD 502 Plus (200 determinaciones/parcela en hoja bandera). Para nutrientes foliares se realizó un muestreo aleatorio de hojas bandera totalmente desplegadas (100 unidades), las que luego se lavaron y colocaron en estufa a 75°C por 72 h. Se molieron, incineraron a 500°C y se extrajeron con HCL para lecturas de N, P y K.

Procesamiento de datos y análisis estadístico: Se utilizó el software Infostat (FCA, UNC,

Argentina). Se realizaron Análisis de la Varianza Unifactoriales. La separación de medias a posteriori, se realizó por Test de Fisher.

Resultados y discusión

Caracterización del biosólido. En la tabla 2 se detallan los resultados de los análisis de parámetros químicos realizados al biosólido acondicionado, en el momento de su aplicación.

Tabla 2. Composición química del biosólido al momento de su aplicación. Se presenta el valor medio (n=3) y la desviación estándar.

Parámetro	Media	D. Estándar
Humedad (%)	12	10
CE (μScm^{-1})	7525	445
pH	7,35	0,21
MO (%)	16,20	3,68
N (%)	0,83	0,13
P (%)	0,02	0,004
K (%)	0,15	0,014
Cl ⁻ (meq/l)	15,27	5,17

El valor de pH fue cercano a la neutralidad, mientras que la CE observada fue comparable a la reportada para otras enmiendas orgánicas comúnmente empleadas con fines agrícolas como estiércoles animales, orujo o escobajo que suelen presentar valores superiores a 10.000 μScm^{-1} . En cuanto al contenido de materia orgánica, el biosólido presentó un valor medio de 16,20%. Este dato es de especial interés considerando el bajo contenido de materia orgánica en los suelos agrícolas de la región. Por último, respecto al contenido de macronutrientes se destaca el N total que fue cercano al 1% mientras que el resto de los elementos presentaron valores menores. Teniendo en cuenta la composición química del biosólido y la dosis empleada, se puede inferir que en los tratamientos T30 y T90 se aplicaron al suelo aproximadamente 220 y 660 kg/ha de N total respectivamente. Al desconocerse las formas moleculares bajo las cuales está presente este nutriente, no es posible conocer su grado de disponibilidad. El análisis nematológico de las muestras de biosólido dio como resultado una composición y cantidad de individuos, no peligrosa para el suelo: ausencia de individuos fitoparásitos (filiformes) y un promedio de 380 individuos bacteriófagos. No se realizó recuento de formas de resistencia. Respecto al análisis de hongos fitopatógenos, solo se cuantificaron 7 UFC/g, de las cuales solo 1,5 UFC

correspondieron al género *Fusarium* sp. Estas no se identificaron a nivel de especie, por ende, no se puede precisar si las mismas pertenecen a familias de características fitopatológicas o simplemente saprofitas. Sin embargo, cabe destacar que los valores obtenidos son muy bajos si se comparan con las cantidades comúnmente encontradas en un suelo agrícola.

Efecto del aporte del biosólido sobre parámetros químicos del suelo. En la tabla 3 se detallan los valores obtenidos en la determinación de parámetros químicos de suelos realizada 20 días luego de la siembra del cultivo.

Tabla 3. Parámetros químicos de suelo luego del aporte del biosólido. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamiento	T0	T30	T90
CEe ($\mu\text{S/cm}$)	1405a	1599a	2240b
pH	8,2a	8,1a	8,0a
N (ppm)	127 a	1259a	1497b
P (ppm)	25a	26a	31a
K (ppm)	464a	405a	444a
MO (%)	1,47a	1,51a	1,66a

El N total edáfico incrementó luego de la aplicación de 90 t/ha (T3) de biosólido. Este incremento era esperable por el elevado aporte de N calculado en forma teórica a partir de la composición elemental del biosólido (Tabla 2), y es de radical importancia para mejorar la fertilidad química del suelo. En contraposición, los valores de P disponible, K intercambiable, MO y pH, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. En cuanto a los niveles de CE, incrementaron significativamente en los suelos que recibieron la mayor dosis de la enmienda. Este incremento de la salinidad puede estar dado por el aporte de sales no determinadas en este ensayo. Considerando que la CE del suelo puede limitar la productividad de cultivos bajo riego, sería importante estudiar los componentes presentes en el biosólido relacionados al incremento de la salinidad, como así también al monitoreo de los mismos en el tiempo.

Efecto del aporte del biosólidos sobre poblaciones de nematodos. La tabla 4 muestra el recuento de nematodos fitoparásitos totales en muestras de suelo tomadas en forma previa y posterior a la aplicación del biosólido al suelo (Pre A y Post A) respectivamente. En Pre A, la parcela que correspondió a la mayor dosis del biosólido

(T90), tuvo el mayor recuento de nematodos. Sin embargo, en Post A y transcurrido el ciclo del cultivo, se el tratamiento que presentó mayor recuento de nemátodos fue el testigo. En este sentido, al analizar la variación del recuento de nematodos totales en suelos respecto de la condición inicial, se observó que en el tratamiento que recibió la mayor dosis el recuento disminuyó un 58%, mientras que en el testigo y en el tratamiento con dosis menor, los recuentos se incrementaron 106 y 55% respectivamente (**Figura 2**). Los géneros de nematodos fitoparásitos encontrados fueron 18, predominando *Pratylenchus* sp., seguido de *Tylenchus* sp. y *Aphelenchus* sp. Del genero *Meloidogyne* sp., en cambio, se presentaron solo casos aislados. Es posible concluir entonces que, considerando los recuentos determinados y los promedios de cada tratamiento, la población de nemátodos no representan peligro alguno para el normal desarrollo del cultivo.

Tabla 4. Recuento de nematodos totales y quistes de *Globopodera* sp. en suelos en función del tratamiento y momento de muestreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Recuento	T0	T30	T90
Nemátodos TotalesPre A	5,33a	3,67a	8,67b
Nemátodos TotalesPost A	11b	5,67a	3,67a
Quistes Glob.Post A	6,33a	7,33a	6,67a

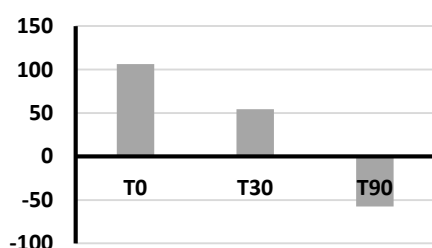


Figura 2. Variación porcentual del recuento de nemátodos respecto a la condición inicial para cada tratamiento.

Una explicación a esta evolución en la población de nematodos luego de efectuar las labranzas de suelo para incorporar la enmienda, es que si bien el centeno no es el hospedero más deseable para los fitoparásitos, algo de colonización permite, produciendo un aumento en la población inicial. En tanto que la disminución de nematodos

observada en el T90, puede deberse al aporte de materia orgánica y nutrientes dado por la enmienda aplicada, puesto que permite un aumento de los organismos nematófagos del suelo [6]. Por último, el análisis de recuento de quistes de *Globodera* sp. en suelos Post A, indicó ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 4).

Efecto del aporte de lodo sobre el cultivo. En el desarrollo del cultivo se pudo observar en forma cualitativa mayor crecimiento en los tratamientos (T30 y T90) respecto al control (T0), siendo esta diferencia más notoria durante la fase fenológica de macollaje de la pastura (Figura 3)



Figura 3. Imágenes representativas del cultivo de centeno en fases inicial de macollaje (A) y de pre espigazón o final de ensayo (B). De izquierda a derecha 1 (T0), 2 (T30) y 3 (T90).

A partir del análisis de forrajimasa (**Tabla 5**), se observó que a mayor cantidad de biosólido aportado, las hojas presentaron mayor turgencia celular y por ende mayor contenido de agua en relación al tejido, respecto al control (PS/PV y Agua). Los resultados obtenidos indican que el biosólido ejerció un efecto positivo sobre la disponibilidad del agua útil para el cultivo dándole mayor capacidad de tolerar sequía. Asimismo, al evaluar la productividad neta de la pastura se observó un incremento en las parcelas que recibieron biosólido (MS/ha).

Tabla 5. Efecto del biosólido sobre el cultivo. * Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas (Fisher $p \leq 0,05$).

Variable	T0	T30	T90
PS/PV (%)	22,58b	17,15a	14,59a
Agua (%)	77a	83b	85b
MH/ha (kg)	15694b	26146b	27778b
MS/ha (kg)	3541a	4479b	4028ab

Concentración de macronutrientes en hojas de centeno. El contenido de macroelementos en tejido presentó diferencias significativas solo para N, siendo superior en los lotes que recibieron el aporte del biosólido (**Tabla 6**). En cambio, los niveles de K y P foliares no presentaron diferencias entre tratamientos. El mayor contenido de N foliar es coincidente con el incremento del contenido relativo de clorofila en hojas (SPAD). Considerando que el cultivo no recibió fertilizaciones nitrogenadas en ningún momento es posible inferir, que las diferencias se deben mayoritariamente al aporte de nitrógeno orgánico contenido en la enmienda.

Tabla 6. Valores medios de SPAD, N, P y K en hojas bandera de centeno. Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Fisher ($p \leq 0,05$).

Variable	T0	T30	T90
SPAD (u/cm ²)	39,89a	39,41a	41,28b
N foliar (%)	2,72a	3,24b	3,26b
P foliar (%)	0,23a	0,24a	0,22a
K foliar (%g)	0,69a	0,66a	0,75a

Conclusiones

El biosólido o lodo residual utilizado posee un elevado contenido en materia orgánica. En cuanto a macronutrientes se destaca el Nitrógeno total. Los niveles de pH y CE son comparables a los de otras enmiendas orgánicas comúnmente empleadas como mejoradores de la condición edáfica de suelos agrícolas. El contenido de nematodos fitoparásitos y hongos filamentosos fue mínimo para la partida analizada, por consiguiente, no representa peligrosidad para el cultivo. Se destaca que estos parámetros pueden variar en función de la partida y procedencia de la materia prima. De los parámetros analizados en suelos, se observó un incremento de la CE, del N total y una disminución de la población inicial de nematodos luego de la aplicación del biosólido. En cuanto a pH, MO disponible, K intercambiable

y P disponible no sufrieron modificaciones. Las determinaciones sobre el cultivo mostraron relación directa entre la producción de biomasa, el N foliar y la aplicación del biosólido. Como recomendación de uso de estas enmiendas en suelos agrícolas, sería necesario monitorear la CE del suelo cuando se aplican dosis elevadas y realizar análisis nematológico y fitopatológico a cada partida de biosólido o al menos cuando la planta industrial detecte cambios en el origen de la materia prima recibida. Más allá de estas consideraciones, se concluye que el uso de este biosólido como enmienda orgánica de suelos, puede ser una alternativa atractiva para dar un uso a un residuo sin valor, mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola y a su vez disminuir el volumen destinado a entierro sanitario y los costos asociados a dicha gestión.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de un Convenio de Asistencia Técnica entre INTA y La Campagnola SACI.

Referencias

- [1] *Decreto 2107 Modificatorio Ley N° 5824/87.* Gobierno de San Juan, p. 12.
- [2] Abraham, E.M. and F. Rodríguez Martínez, *Recursos y Problemas Ambientales de la Zona Árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja.* Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas, 2000(I): p. 71-78.
- [3] Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney, *Nitrogen-total*, in Page, A.L. et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monog.* 1982, : Madison, WI. p. 595-624.
- [4] Watanabe, F.S. and S.R. Olsen, *Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil.* Soil Sci. Soc. Am. Proc, 1965. **29**: p. 677- 678.
- [5] Walkley, A. and I.A. Black, *An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method.* Soil Sci., 1934. **37**: p. 29-37
- [6] Cepeda, S.M., *Nematología Agrícola*, ed. Trillas. 1996, Mexico.