

USO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE TAMBO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS ANUALES Y LA FERTILIDAD DEL SUELO

SEBASTIÁN GAMBAUDO¹⁻²; SILVIA IMHOFF ^{*2-3}; MARÍA EUGENIA CARRIZO²; MARTÍN MARZETTI⁴ & SOFÍA RACCA⁴

Recibido: 08-10-13

Recibido con revisiones: 26-04-14

Aceptado: 01-06-14

RESUMEN

Un experimento a campo se realizó en Esperanza (Santa Fe) sobre un suelo Argiudol típico con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de efluente líquido de tambo sobre la fertilidad del suelo y, como consecuencia, sobre la productividad y calidad de cultivos anuales. El experimento fue sembrado con raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam) y luego con sorgo doble propósito (*Sorghum bicolor* (L) Moench), respetando un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y tres repeticiones. La composición química del efluente fue determinada previamente para determinar las dosis a aplicar. En cada oportunidad la cantidad de efluentes aplicada sobre el suelo (tratamientos) fue: 0 (T0), 80.000 (T1) y 160.000 L ha⁻¹ (T2). En muestras de suelo disturbadas se analizaron los contenidos de macro y micronutrientes. En el raigrás se determinó la producción de materia seca en cuatro cortes, mientras que en el sorgo se hizo un único corte. En el tejido vegetal se determinó cenizas (Cz), nitrógeno total (Nt), fósforo (P), sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca). Hubo respuestas significativas en la productividad del raigrás y del sorgo, sin que se produjeran cambios en el contenido de nutrientes, aunque se verificó alteración de la composición morfológica (relación tallos, hojas, panoja) en el sorgo, mejorando su calidad. No se verificaron modificaciones significativas de las propiedades químicas del suelo, a pesar de que las cantidades adicionadas de Nt y Na fueron bastante elevadas. Esto sugiere la ocurrencia de pérdidas importantes vía procesos de lixiviación y volatilización, que deberían ser monitoreadas.

Palabras clave. Enmienda orgánica, producción de forraje, propiedades químicas de suelo.

USE OF DAIRY CATTLE SLURRY TO IMPROVE SOIL FERTILITY AND CROP PRODUCTIVITY

ABSTRACT

A field experiment was set up in Esperanza (Santa Fe State) in a Typic Argiudoll in order to evaluate the effects of application different quantities of liquid dairy cattle slurry on soil fertility, as a consequence, on the forage productivity and quality. The trial was sown with ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam), and then with sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) according a design completely randomized with three treatments and three replications. Chemical characteristics of the dairy cattle slurry were determined to calculate the applications rates. At each time, the applied amounts of manure (treatments) were: 0 (T0), 80.000 (T1) and 160.000 L ha⁻¹ (T2). Disturbed soil samples were analyzed to determine the macro and micronutrients contents. The dry matter production of ryegrass was determined in four cuts, while in sorghum was performed only one cut. The content of ashes (Cz), total nitrogen (Nt), phosphorus (P), sodium (Na), potassium (K) and calcium (Ca) were determined in the vegetal tissues. The treatments affected significantly the ryegrass and sorghum dry matter productivity, without causing changes in the nutrient contents of the tissues. Alterations of the sorghum morphological composition (relationship shoot, leaves and panicle) were observed, which improved its quality. Soil properties remained unaltered in spite of the high quantities of Nt and Na that were added. This fact indicates the occurrence of important nutrient losses via lixiviation and volatilization that should be monitored.

Key words. Organic manure, forage productivity, soil chemical properties.

¹ EEA INTA Rafaela. Ruta 34 km 227, (2300) Rafaela, Santa Fe; ² Facultad de Ciencias Agrarias (Universidad Nacional del Litoral). Kredder 2805, (3080) Esperanza, Santa Fe; ³ CONICET; ⁴ Profesional independiente.

*Autor de contacto: simhoff@fca.unl.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La aplicación de efluentes de tambo como enmienda orgánica está recibiendo renovada atención debido a la intensificación de los sistemas lecheros y ganaderos. Una consecuencia directa de ese proceso es el notable incremento de efluentes que se generan en cada ordeño. Taverna *et al.* (2007) menciona que en sistemas pastoriles cada vaca en ordeño genera entre 14 y 24 litros de efluentes por día, sin considerar el agua utilizada por la placa de refrescado y el agua de lluvia, y contienen aproximadamente 350 gramos de materia seca (*MS*); estos efluentes representan para un tambo de 200 vacas entre 1000 a 1700 m³ al año.

Los efluentes de tambo, sumados a excretas acumuladas en corrales y aguadas cercanas, constituyen una de las principales fuentes de contaminación del agua subterránea en las cuencas lecheras de Buenos Aires (Herrero *et al.*, 2000; Herrero *et al.*, 2001) y de Santa Fe (Taverna *et al.*, 2000; Charlón *et al.*, 2001; Taverna *et al.*, 2004). Por lo tanto, el manejo adecuado de estos residuos resulta determinante para limitar su efecto negativo sobre el ambiente y dar cumplimiento a normativas internacionales y de exigencias comerciales en materia ambiental (Taverna *et al.*, 2007).

Los efluentes líquidos de tambo (*ELT*) están constituidos por las aguas servidas con desechos sólidos (materia fecal, restos de alimentos y barro) y líquidos (agua, orina) que se producen en las instalaciones de ordeño (Charlón, 2007), lo que explica la significativa cantidad de nutrientes esenciales que pueden aportar a las plantas, lo cual los convierte potencialmente en una excelente fuente nutricional para los cultivos cuando se los incorpora al suelo (Joshi *et al.*, 1994; Schröder *et al.*, 2007; Imhoff *et al.*, 2011).

En muchos trabajos se destaca el efecto positivo sobre las propiedades químicas, debido al reciclado de nutrientes, y físicas del suelo, al aumentar el contenido de materia orgánica, la porosidad e infiltración del agua en el suelo (Feng *et al.*, 2005; Bittman *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2007; Monaco *et al.*, 2008). Estos efectos positivos se reflejaron, en la mayoría de los casos, en una mayor productividad de los cultivos, así como cambios en la concentración de nutrientes en la *MS* producida.

Salazar *et al.* (2005) constataron que el rendimiento de *MS* y la absorción de nitrógeno se correlacionaron con el nitrógeno inorgánico aplicado con el efluente. Respuestas positivas de producción de biomasa para diversas especies y dosis fueron determinadas, por ejemplo en gramíneas perennes hasta la dosis de 150 kg ha⁻¹ de nitró-

geno (Schils & Kok, 2003), en maíz para silaje (Nevens & Reheul, 2005) y en festuca (*Festuca arundinacea*, Shreber) con aplicaciones de 400 y 800 kg ha⁻¹ de *N* (Bittman *et al.*, 2007). Los volúmenes aplicados fueron variables dado que el contenido de *MS* del *ELT* se altera en función del clima, cantidad y calidad del alimento que recibe el ganado, modo de almacenaje, entre otros factores. Varios autores mencionan que la fertilización nitrogenada en pasturas puede, no sólo incrementar el rendimiento de forraje, sino también producir modificaciones cualitativas en el mismo (Bittman *et al.*, 1999; Min *et al.*, 2002; Charlón *et al.*, 2004; Nevens & Reheul, 2005; Bittman *et al.*, 2007). En términos generales, estos autores mencionan que el contenido de *MS* y de carbohidratos no estructurales de los cultivos disminuye, mientras que la concentración de *N* total aumenta. Comportamiento similar puede esperarse cuando se aplica al suelo efluente líquido debido a la elevada concentración de *N* que habitualmente posee, además de incrementar la concentración de algunos macronutrientes en el tejido vegetal (Beauchamp, 1983; Matsi *et al.*, 2003).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el uso de efluentes de tambo como una alternativa para mejorar la productividad de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam) y sorgo doble propósito (*Sorghum bicolor* (L) Moench) y la fertilidad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un establecimiento dedicado a la actividad lechera ubicado en la localidad de Esperanza, departamento Las Colonias, provincia de Santa Fe. El suelo es un Argiudol típico de la serie Esperanza (INTA, 1991). Las precipitaciones registradas durante el tiempo de estudio se muestran en el Tabla 1. Los tres primeros meses, es decir abril, mayo y junio presentaron precipitaciones muy inferiores a lo normal, al igual que agosto. Los meses de julio, septiembre, noviembre, diciembre y febrero registraron valores muy por encima de la media para el lugar, mientras que octubre y enero no difirieron de la media.

El sitio seleccionado, que nunca había recibido efluentes, provenía de un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L), el que fue secado con la aplicación de herbicidas (Glifosato y 2,4-D). Se establecieron parcelas de 40 m de largo por 4 m de ancho siguiendo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, donde se aplicaron tres tratamientos (dosis de efluente crudo): 0 L ha⁻¹ (*T0*), 80.000 L ha⁻¹ (*T1*) y 160.000 L ha⁻¹ (*T2*).

Previo al inicio del ensayo se colectaron muestras compuestas de suelo en la profundidad 0-20 cm. Se determinaron los siguientes indicadores químicos: *pH* en CaCl₂, conductividad

Tabla 1. Precipitaciones registradas en la localidad de Esperanza en los meses del estudio (abril a febrero).

Table 1. Registered precipitation in the town of Esperanza in the months of the study (April-February).

| | Meses | | | | | | | | | | | Total |
|-------------------------------|-------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | A | M | J | J | A | S | O | N | D | E | F | |
| Media años 1997-2006 (mm) (1) | 185 | 56 | 49 | 24 | 39 | 52 | 108 | 158 | 192 | 132 | 145 | 1140 |
| Años 2009-2010 (mm) (2) | 53 | 27 | 13 | 68 | 3 | 90 | 87 | 210 | 302 | 126 | 262 | 1241 |
| Relación (%) (2)/(1) | 29 | 48 | 27 | 283 | 8 | 173 | 81 | 133 | 157 | 95 | 181 | 109 |

eléctrica (*CE*) mediante pasta de saturación (SAMLA, 2004), nitrógeno total (*Nt*) por el método semi-micro Kjeldahl (SAMLA, 2004), carbono orgánico (*CO*) por medio de oxidación con solución de dicromato de potasio, fósforo disponible (*P*) extraído por medio de resina de intercambio, azufre (*S-SO₄*) por turbidimetría, potasio (*K*), calcio (*Ca*), magnesio (*Mg*) y sodio (*Na*) extraídos con solución de acetato de amonio, saturación de bases (*SB*) y capacidad de intercambio catiónico (*CIC*) según Van Raig (1998). Las lecturas se realizaron con espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados se muestran en el Tabla 2.

Al finalizar el ensayo (después de cosechado el sorgo), de cada repetición (parcela) y para cada tratamiento, se obtuvieron muestras compuestas de suelo de 0-10 cm que fueron procesadas para determinar *CE*, *CO*, *Nt*, *P*, *S*, *Ca*, *Mg*, *K*, *Na*, *CIC*, *Cu*, *Zn*, *B*, *Fe* y *Mn* utilizando las metodologías descritas en Van Raig (1998). El muestreo se realizó en detalle de 0-10 cm por considerar que el *ELT*, que se esparció sobre el suelo, alteraría sus propiedades químicas principalmente en dicho espesor. Muestras compuestas de cada tratamiento también se extrajeron de 10-20 cm.

La distribución del *ELT* se realizó con estercolera de caída por gravedad con un ancho de aplicación de 2 m, después de la siembra de cada cultivo, disponiendo en cada uno de ellos las dosis correspondientes a los tratamientos *T0*, *T1* y *T2*. Los *ELT* procedieron del lavado diario de la sala de espera y de ordeño del tambó. En el momento de la aplicación se obtuvieron muestras para determinar el contenido de sólidos totales (*ST*), carbono orgánico (*CO*), nitrógeno total (*Nt*), *pH* y conductividad eléctrica (*CE*), según AOAC (1990), fósforo (*P*) por

espectrofotometría UV-visible, potasio (*K*), calcio (*Ca*), magnesio (*Mg*) y sodio (*Na*) por absorción atómica.

La siembra de raigrás anual, variedad Bigg Daddy, se realizó con el sistema de siembra directa el 4 de abril del 2009. El sorgo, híbrido comercial Tecnosorgo Timbó, se sembró el 15 de noviembre del 2009, luego de la aplicación de herbicidas (Glifosato, 2,4-D y Atrazina).

Para la medición de biomasa vegetal producida por la pastura de raigrás se procedió a cortar a ras del suelo el forraje contenido en parcelas móviles de 0,25 m² antes de cada pastoreo. Para esto se utilizó un aro de 56 cm de diámetro que se arrojó aleatoriamente 4 veces en cada repetición, lo que totalizó 1 m² por repetición. Se realizaron 4 cortes, a los 62, 126, 169 y 195 días después de la siembra.

Para determinar la producción de biomasa de sorgo, en cada repetición se cortaron a ras del suelo las plantas presentes en 50 cm lineales de 6 surcos, que fueron elegidos al azar. La distancia entre surcos era de 0,35 m por lo que la muestra de cada repetición totalizó 1,05 m². El único corte se realizó a los 106 días después de la siembra, al inicio del estado de grano pastoso.

Todas las muestras fueron pesadas y luego secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante para la determinación del peso seco y porcentaje de materia seca (% *MS*). En el caso del sorgo, las muestras fueron previamente separadas en tallo, hoja y panoja, para ser pesadas y secadas en forma separada y así obtener la proporcionalidad de cada órgano en la biomasa total.

Los contenidos de macronutrientes, de la biomasa aérea vegetal en el raigrás (primer corte) y de las hojas en el caso

Tabla 2. Propiedades químicas del suelo estudiado.

Table 2. Chemical properties of the studied soil.

| pH | CE dS m ⁻¹ | Nt % | CO % | P mg kg ⁻¹ | S mg kg ⁻¹ | Ca mmolc kg ⁻¹ | Mg mmolc kg ⁻¹ | Na mmolc kg ⁻¹ | K mmolc kg ⁻¹ | SB | CIC |
|-----|--------------------------|---------|---------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----|-----|
| | | | | | | | | | | | |
| 5,1 | 0,72 | 0,13 | 1,6 | 17 | 5 | 68 (51%) | 15 (11%) | 4 (2%) | 7 (5%) | 94 | 132 |

CE: conductividad eléctrica; *Nt*: nitrógeno total; *CO*: carbono orgánico; *SB*: saturación de bases; *CIC*: capacidad de intercambio catiónico; valores entre paréntesis corresponden al porcentaje del catión en la *CIC*.

del sorgo, se analizaron según la metodología propuesta por la AOAC (1990). Se determinaron *P*, *K*, *Ca*, *Na* por colorimetría y espectrofotometría y *Nt* por el método Kjeldahl.

Los resultados obtenidos se analizaron a través del análisis de varianza con comparación de medias por Tukey, con un nivel de significancia del 5%, utilizando el software estadístico Infostat. Se realizó análisis de regresión para el cálculo de dosis óptima de aplicación de efluentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición del efluente

Los resultados del análisis químico del efluente aplicado previo a la siembra de raigrás (1ra aplicación) y del sorgo (2da aplicación) se muestran en la Tabla 3.

Las concentraciones de nutrientes del efluente variaron considerablemente entre ambas aplicaciones, debido principalmente a la variación del contenido de agua del efluente, que fue mayor en la primera aplicación. Se generó así cierta dilución que puede visualizarse claramente en el valor de *ST* que aumentó de 530 a 2080 mg 100mL⁻¹ entre la primera y la segunda aplicación. Esta tendencia se dio también para el resto de los nutrientes, a excepción del *Na* que disminuyó su concentración.

A partir de los datos analíticos del efluente y las dosis utilizadas se calculó la cantidad de nutrientes aplicadas al raigrás (1ra aplicación) y al sorgo (2da aplicación) (Tabla 4).

La diferencia en la concentración de nutrientes del *ELT* determinó que la cantidad aplicada por unidad de superficie fuera considerablemente mayor en la segunda oportunidad.

En la primera aplicación (raigrás) de *ELT*, a pesar de que el volumen fue elevado, la cantidad de carbono orgánico aportada por hectárea fue reducida debido al bajo porcentaje de materia seca ($\approx 0,5\%$). Las cantidades aplicadas de *P*, *Ca* y *Mg* también fueron bajas (Tabla 3), mientras que las cantidades de *Nt* y *K* pueden considerarse elevadas, teniendo en cuenta lo que se incorporaría con aplicaciones normales de fertilizantes químicos. Sin embargo, sólo parte del *Nt* del efluente se encuentra en forma inorgánica (el derivado de la orina) mientras que una fracción importante se encuentra en forma orgánica y no disponible inmediatamente para los cultivos (Joshi *et al.*, 1994). Por lo tanto, sólo es posible incorporar cantidades similares de nutrientes vía fertilizantes inorgánicos y *ELT* si se aplican dosis elevadas de estos últimos, debido a que generalmente poseen baja concentración y disponibilidad de nutrientes, concordando con lo señalado por Patni & Culley (1989).

Tabla 3. Características químicas del efluente líquido de tambo (*ELT*) aplicado al raigrás y al sorgo.

Table 3. Chemical characteristics of liquid dairy cattle slurry (*ELT*) applied to the ray-grass and sorghum.

| ELT | pH | CE ($\mu\text{s cm}^{-1}$) | ST | CO | Nt | (mg 100 mL ⁻¹) | | | | |
|---------|-----|---------------------------------|------|-----|-----|----------------------------|-------|------|------|------|
| | | | | | | P | K | Ca | Mg | Na |
| Raigrás | 7,7 | 5,2 | 530 | 130 | 504 | 0,6 | 111,0 | 8,4 | 9,8 | 51,3 |
| Sorgo | 6,5 | 7,2 | 2080 | 520 | 650 | 14,7 | 143,1 | 54,1 | 24,6 | 44,4 |

CE: conductividad eléctrica; ST: sólidos totales; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio.

Tabla 4. Cantidad de nutrientes aplicados al raigrás y al sorgo con los diferentes tratamientos de efluente líquido de tambo (ELT).

Table 4. Amount of nutrients applied to the ray-grass and sorghum with different treatments of liquid dairy cattle slurry (ELT).

| ELT | Tratamiento | CO | Nt | P | K | Ca | Mg | Na |
|---------|-------------|------|-----|----|-----|----|----|----|
| | | | | | | | | |
| Raigrás | T1 | 104 | 163 | 13 | 89 | 7 | 8 | 41 |
| | T2 | 208 | 326 | 26 | 178 | 13 | 16 | 82 |
| Sorgo | T1 | 832 | 360 | 13 | 114 | 43 | 20 | 35 |
| | T2 | 1664 | 720 | 27 | 229 | 87 | 39 | 71 |

T1: 80000 L ha⁻¹ ELT; T2: 160000 L ha⁻¹ ELT; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio.

En la segunda aplicación (sorgo) la cantidad de CO_2 y de nutrientes aportada fue notablemente mayor, debido a que el porcentaje de materia seca del efluente fue superior ($\approx 2\%$). En T_2 , el aporte de CO_2 fue similar al que se hubiera realizado en el supuesto caso de haber incorporado al suelo la MS producida por el raigrás en el 3er y 4to corte en T_0 (Tabla 5). Por lo tanto, la contribución de CO_2 vía efluente no debería despreciarse, sobre todo porque las fuentes de nutrientes que también aportan materia orgánica al suelo son muy escasas.

En cuanto al N específicamente, su disponibilidad en el efluente se considera más baja que en los fertilizantes inorgánicos, por dos razones: una fracción significativa integra la materia orgánica que deberá mineralizarse para liberarlos y parte de la fracción inorgánica puede perderse por volatilización, proceso importante cuando la aplicación se hace en superficie (Beauchamp, 1983; Jokela, 1992). Es de destacar la variabilidad en la concentración de nutrientes encontrada entre ambas aplicaciones. Esto es habitual en este tipo de residuos (La Manna, 1995) y, por lo tanto, resalta la necesidad de realizar análisis químicos antes de aplicarlos para conocer la cantidad de nutrientes que serán aplicados.

Productividad de los cultivos

Raigrás

En cuanto a la productividad de la pastura de raigrás, los resultados medidos en los 4 cortes realizados y el total, en kg de materia seca (MS) por hectárea (ha) se muestran en la Tabla 5.

La productividad fue variable a través del tiempo en todos los tratamientos; sólo en T_2 fue superior en relación

a T_0 en todos los cortes. La producción en T_1 fue similar a T_2 en el primer y cuarto corte, mientras que fue similar a T_0 en el tercer corte. No obstante esta variabilidad, al considerar la totalidad de la producción fue posible observar respuesta al agregado del ELT ; los incrementos logrados fueron de $552 \text{ kg } MS \text{ ha}^{-1}$ y $1115 \text{ kg } MS \text{ ha}^{-1}$ (13,3% y 26,9%) en T_1 y T_2 respecto a T_0 , respectivamente. La función de respuesta lograda se presenta en la Figura 1.

La respuesta productiva fue lineal, contrariamente a lo esperado, *i.e.* una respuesta con etapa final decreciente. Dado que la cantidad de N y P incorporadas con el efluente en T_1 y T_2 hubieran posibilitado una productividad superior a la obtenida, se atribuye la respuesta lineal (también verificada en T_0) a la falta de precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo (abril-octubre). En ese mismo período las lluvias fueron, en promedio, un 33% inferior a las registradas entre 1997-2006 (Tabla 1). Esto pudo haber afectado la cantidad de MS producida en los cortes sucesivos. Otra posibilidad es que las dosis utilizadas no hayan sido suficientes para generar una respuesta cuadrática debido a la ocurrencia de pérdidas importantes de N en forma gaseosa, proceso que se agrava cuando las lluvias son escasas, situación verificada los tres primeros meses posterior a la siembra del cultivo.

Charlón *et al.* (2004) obtuvieron, trabajando con un trigo para verdeo, un leve incremento de producción de MS en función del aumento de dosis de residuos orgánicos de tambo. Sin embargo la cantidad de N aplicada fue menor en ese caso, alcanzando los $70 \text{ kg } ha^{-1}$, y las características del efluente también fueron diferentes ya que su % MS alcanzaba el 14%. Charlón *et al.* (2007a) encontraron resultados similares a los de este trabajo en avena, quienes solo detectaron diferencias significativas en la dosis más

Tabla 5. Productividad de raigrás ($\text{kg } MS \text{ ha}^{-1}$) en los diversos cortes y total y porcentaje promedio de materia seca (MS) para los diferentes tratamientos de efluente líquido de tambo (ELT).

Table 5. Productivity of rye-grass ($\text{kg } MS \text{ ha}^{-1}$) in the several cuttings and total, and average percentage of dry matter (MS) for different treatments of liquid dairy cattle slurry (ELT).

| Tratamiento ELT | Corte 1 | Corte 2 | Corte 3 | Corte 4 | Suma de cortes | % MS |
|-----------------|------------------------|---------|---------|---------|----------------|------|
| | kg MS ha ⁻¹ | | | | | |
| T0 | 987 b | 1087 c | 1313 b | 756 b | 4143 c | 29 |
| T1 | 1210 a | 1247 b | 1341 b | 897 a | 4695 b | 27 |
| T2 | 1349 a | 1548 a | 1425 a | 936 a | 5258 a | 26 |

T_0 : 0 L ha⁻¹ ELT; T_1 : 80000 L ha⁻¹ ELT; T_2 : 160000 L ha⁻¹ ELT; letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($\alpha = 5\%$) entre tratamientos.

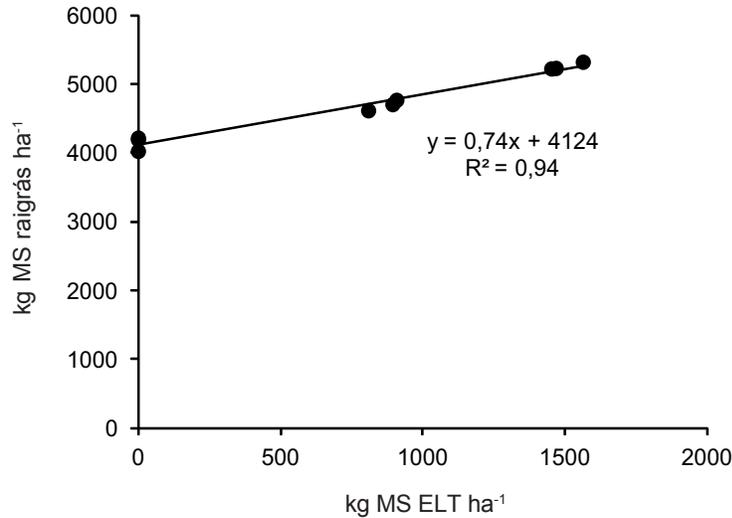


Figura 1. Cantidad de materia seca (MS) producida por el cultivo de raigrás en función del efluente líquido de tambo (ELT) aplicado, expresado como materia seca (MS).

Figure 1. Amount of dry matter (MS) produced by the rye-grass crop in function of the applied liquid dairy cattle slurry (ELT), expressed as dry matter (MS).

elevada ($\approx 70 \text{ kg N ha}^{-1}$) aplicada a la siembra. En este caso el residuo presentaba aún mayor % MS (22%), lo que origina una dinámica en el suelo diferente a lo que pudo suceder con el efluente aplicado en el caso de estudio, sumado a las diferencias climáticas que pueden haber afectado los resultados. Augustenborg *et al.* (2008) aplicaron dos tipos de efluentes (sólido y líquido) sobre una pastura de raigrás perenne durante 2 años. Los resultados de rendimiento de MS en función de las dosis de N aplicada fueron positivos para las dosis más elevadas, siendo mejor la respuesta al agregado de efluente líquido. La Manna (1995) evaluó la producción de MS de la rotación trigo/maíz durante 3 años consecutivos en tratamientos con agrega-

do de diversas dosis de fertilizante inorgánico y efluente de tambo. El autor verificó que hubo respuesta positiva al agregado de efluente, principalmente en el cultivo de maíz y a dosis elevadas ($90\text{-}120.000 \text{ L ha}^{-1}$). La diferencia de respuesta la atribuyó al variable contenido de MS del efluente y a las condiciones climáticas que pueden afectar la tasa de mineralización.

Sorgo doble propósito

El sorgo doble propósito fue evaluado al inicio del estado grano pastoso, de donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de las mediciones de productividad, porcentaje de materia seca (MS) y composición morfológica de la plantas de sorgo para los diferentes tratamientos de efluente líquido de tambo (ELT).

Table 6. Results of productivity, percentage of dry matter (MS) and morphological composition of the sorghum plants for different treatments of liquid dairy cattle slurry (ELT).

| Tratamiento ELT | Productividad kg MS ha ⁻¹ | %MS | Tallos | Composición de la planta | |
|-----------------|---|------|----------------|---------------------------------|---------------|
| | | | | Hojas kg MS ha ⁻¹ | Panojas |
| T0 | 16.311 c | 29 a | 7.742 c (48%) | 4.333 b (27%) | 4.237 c (26%) |
| T1 | 21.038 b | 27 a | 9.428 b (45%) | 4.984 a (24%) | 6.626 b (31%) |
| T2 | 23.248 a | 26 a | 10.070 a (43%) | 5.508 a (24%) | 7.670 a (33%) |

T0: 0 L ha⁻¹ ELT; T1: 80.000 L ha⁻¹ ELT; T2: 160.000 L ha⁻¹ ELT; Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($\alpha = 5\%$) entre tratamientos. Valores entre paréntesis corresponden a la proporción de cada estructura en el total de MS.

La producción de tallos, hojas y panojas muestran una tendencia positiva al agregado de efluente. Los incrementos logrados en *T1* y *T2* respecto de *T0* fueron: 22% y 30% en tallo; 15% y 27% en hojas, 56% y 81% en panojas. Estos resultados indican una mejora en la calidad del material a ensilar, independientemente de la concentración de nutrientes, ya que las partes que más aumentaron fueron las hojas y panojas, las cuales presentan menor cantidad de fibra de baja digestibilidad en comparación con el tallo. Un beneficio adicional radica en que el mayor aumento se registró en las panojas, especialmente en *T2*, lo que significa mayor valor energético por unidad de *MS* producida y mejores condiciones generales de fermentación del silaje (Ferrari *et al.*, 2012). Torrecillas & Bertoia (2008) y Ferrari *et al.* (2012) también encontraron que se alteraba la composición y producción del cultivo de sorgo al agregado de nutrientes, especialmente de *N*.

Los valores de productividad de *MS* tuvieron diferencias significativas al considerar la planta entera. Los incrementos logrados fueron de 4816 kg *MS* ha⁻¹ y 6956 kg *MS* ha⁻¹, es decir un 29,5% y un 42,7%, para el *T1* y *T2* respecto al *T0*, respectivamente. La función de respuesta lograda se presenta en la Figura 2.

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo, que fueron superiores a la media en un 43% (Tabla 1), pudieron haber influido positivamente sobre el

crecimiento del sorgo, permitiéndole expresar su potencial de respuesta al agregado de nutrientes. Charlón *et al.* (2007b) también encontraron diferencias significativas de 2871 kg ha⁻¹ de *MS* en sorgo forrajero para silaje cuando se aplicaron residuos de tambo en una dosis correspondiente a 140 kg ha⁻¹ de *N* y 28 kg ha⁻¹ de *P*. En este estudio con el tratamiento *T1* prácticamente se duplicó la dosis de *N* aplicada por Charlón *et al.* (2007b) y también se duplicó la producción de biomasa. En *T2* la dosis de *N* fue el doble de la aplicada en *T1*, pero el incremento en la producción fue menor, lo que indica que con esta dosis se ingresó en la etapa de rendimientos decrecientes. Estos resultados sugieren la conveniencia de realizar otro experimento con mayor número de tratamientos, cuyas dosis se mantengan en el rango de las aplicadas, para determinar con mayor precisión la dosis óptima de aplicación y la relación costo/beneficio de aplicar el efluente en otro cultivo cuando se supera dicho umbral.

Calidad forrajera

Raigrás

La composición química de la pastura de raigrás obtenida para los diferentes tratamientos considerados en el primer corte se presenta en la Tabla 7. Solo se observaron diferencias significativas en los valores de *K* entre *T0* y *T2*.

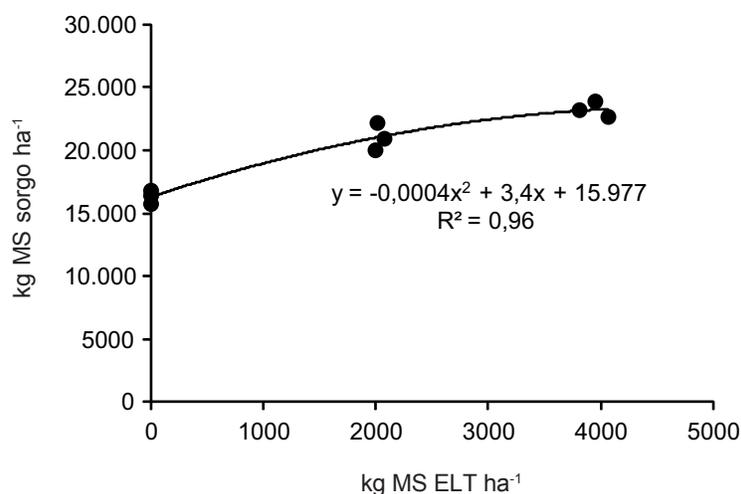


Figura 2. Cantidad de materia seca (*MS*) producida por el cultivo de sorgo en función del efluente líquido de tambo (*ELT*) aplicado, expresado como materia seca (*MS*).

Figure 2. Amount of dry matter (*MS*) produced by the sorghum crop in function of the applied liquid dairy cattle slurry (*ELT*), expressed as dry matter (*MS*).

Tabla 7. Resultados del análisis de la composición química de la pastura de raigrás en el primer corte para los diferentes tratamientos de efluente líquido de tambo (ELT).

Table 7. Results of the analysis of the chemical composition of rye-grass pasture in the first cut for different treatments of liquid dairy cattle slurry (ELT).

| Tratamientos ELT | Cz | N | P | Na | K | Ca |
|------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | g g ⁻¹ | | | | | |
| T0 | 1,24 a | 0,28 a | 0,025 a | 0,008 a | 0,25 a | 0,13 a |
| T1 | 1,13 a | 0,29 a | 0,026 a | 0,007 a | 0,26 ab | 0,11 a |
| T2 | 1,19 a | 0,31 a | 0,026 a | 0,004 a | 0,32 b | 0,11 a |

T0: 0 L ha⁻¹ ELT; T1: 80000 L ha⁻¹ ELT; T2: 160000 L ha⁻¹ ELT; Cz: cenizas; N: nitrógeno; P: fósforo; Na: sodio; K: potasio; Ca: calcio. Letras distintas por columna indican diferencias significativas ($\alpha = 5\%$).

El incremento en la concentración foliar de K puede atribuirse a la elevada cantidad aportada con el efluente, ocupando el segundo lugar, luego del N (Tabla 3). Teniendo en cuenta que estos resultados se obtuvieron en el primer corte, que se verificó en la época de déficit de precipitaciones, es probable que en cortes posteriores se hayan producido alteraciones en la composición nutritiva del forraje, especialmente en el segundo y tercer corte en los que la producción de biomasa fue mayor. En función de la concentración de nutrientes determinada en los tejidos (Tabla 7) y de la producción de MS (Tabla 5) se puede deducir que con la dosis T1 se cubrió totalmente el requerimiento de N y P, pero no el de Ca, Mg y K. La dosis T2 fue suficiente para satisfacer y superar las necesidades de N, P y K. La oferta de N y P superó en un 50% la cantidad requerida, mayor aún fue la diferencia para el Na.

Un leve aumento en la concentración foliar de N se observó con el incremento de la dosis de efluente. Resultados similares encontraron Charlón *et al.* (2007a) en avena al aplicar 70 kg ha⁻¹ de N como residuo orgánico de tambo. Los mismos autores (Charlón *et al.*, 2004) también observaron un incremento significativo del nivel de proteína bruta en 2 de los 3 cortes de un verdeo de trigo al que se le aplicó igual dosis de N.

Una importante diferencia entre el K y el N, que puede explicar en parte los resultados, radica en los mecanismos de movimiento de estos nutrientes en el suelo y en los procesos de pérdidas que pueden sufrir. El K, a diferencia del N, se mueve mayormente por difusión. Consecuentemente su disponibilidad para la planta debió ser menos afectada por la sequía que la de N, que se mueve principalmente por flujo masal. Por otro lado, las pérdidas de K son reducidas ya que este catión tiende a fijarse a la arcilla, mientras que el N se pierde por lixiviación y también por volatilización. Las condiciones de déficit hídrico, como las verificadas durante el

primer período de crecimiento de la pastura, probablemente facilitaron las pérdidas de N por volatilización mientras que el K quedó disponible en el suelo para ser absorbido cuando ocurrieron las lluvias. Además ambos nutrientes forman parte de diferentes compuestos químicos en el ELT, lo que condiciona su disponibilidad para las plantas. El K puede considerarse tan disponible como en los fertilizantes minerales, mientras que el N se encuentra en forma inorgánica y constituyendo compuestos orgánicos, los que en el suelo deben sufrir el proceso de mineralización para que el N esté disponible para el cultivo. Este proceso también es afectado por la falta de humedad y puede haber condicionado la disponibilidad de N para el cultivo a pesar de que las cantidades aplicadas fueron elevadas.

La concentración de P, Ca y Na en los tejidos no se alteró, probablemente porque su absorción fue condicionada por la falta de agua, especialmente en T2 y para el Ca, que se mueve por flujo masal. En cuanto al Na, nutriente no esencial, es requerido en pequeñas cantidades por los cultivos, por lo tanto no es esperable que la mayor oferta en el suelo se traduzca en mayor concentración en los tejidos, sino en variaciones que se produzcan en el contenido de este catión en el suelo, lo que dependerá del clima y clase de suelo, dado que ambos factores determinan el movimiento en profundidad de este nutriente.

Sorgo doble propósito

La concentración de nutrientes determinada en las hojas del sorgo se presenta en la Tabla 8. Contrariamente a lo esperado, no se observaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros analizados.

Al respecto varios autores mencionan que la respuesta del contenido de nutrientes en los tejidos vegetales no siempre resulta consistente. Lithourgidis *et al.* (2007) en

Tabla 8. Resultados del análisis de composición química de las hojas del sorgo para los diferentes tratamientos de efluente líquido de tambo (ELT).

Table 8. Results of the analysis of the chemical composition of the leaves of sorghum for different treatments of liquid dairy cattle slurry (ELT).

| Tratamientos ELT | Cz | N | P | Na | K |
|---------------------|--------|--------|---------|----------|--------|
| | | | | | |
| T0 | 1,09 a | 0,13 a | 0,026 a | 0,0034 a | 0,22 a |
| T1 | 1,09 a | 0,13 a | 0,026 a | 0,0030 a | 0,24 a |
| T2 | 1,16 a | 0,13 a | 0,024 a | 0,0034 a | 0,23 a |

T0: 0 L ha⁻¹ ELT; T1: 80.000 L ha⁻¹ ELT; T2: 160.000 L ha⁻¹ ELT; Cz: cenizas; N: nitrógeno total; P: fósforo; Na: sodio; K: potasio. Letras distintas, por columna, indican diferencias significativas ($\alpha = 5\%$).

una experiencia de 4 años de duración, en la que aplicaron 260 kg ha⁻¹ de N, 57 kg ha⁻¹ de P y 200 kg ha⁻¹ de K en la forma de efluente, solo encontraron diferencias significativas en las concentraciones de N de la biomasa aérea de maíz el último año, de P en dos años y de K en tres. Sutton *et al.* (1986) obtuvieron resultados similares ya que la aplicación de efluentes no incrementó consistentemente los niveles de N y P en las hojas de maíz en los 6 años del experimento. Sin embargo, también se han registrado aumentos significativos en las concentraciones de N, P y K en planta, aún con dosis inferiores de nutrientes (Patni & Culley, 1989; Bittman *et al.*, 1999; Nevens & Rehuel, 2005; Charlón *et al.*, 2006; Bittman *et al.*, 2007).

En este estudio la similitud de valores entre los tratamientos puede deberse, al menos en parte, al hecho de que el contenido de nutrientes se analizó solamente en las hojas y en una etapa fenológica en que ya ocurrió una importante removilización de nutrientes. Por otro lado, confrontando la necesidad de nutrientes (en función de la MS producida y de la concentración medida o de la mencionada por Ciampitti & García, 2007) con el aporte del ELT se verifica que con ambas dosis se cubrió el requerimiento de N y excedió ampliamente la de Na, pero no el de los restantes nutrientes, lo que también puede haber contribuido a la falta de variación en la concentración de los diversos nutrientes. Con respecto al P es interesante señalar que relacionando la cantidad aportada de este nutriente con la dosis T2 de ELT (26 kg P ha⁻¹) en la primera aplicación y la extracción realizada por el raigrás se deduce que en el suelo debe haber quedado un remanente de P. Este excedente junto al P aportado por el suelo y por la dosis T2 de ELT (27 kg P ha⁻¹) aplicada al sorgo deben haber contribuido a cubrir la necesidad de este nutriente por este cultivo dado que no se observaron síntomas de deficiencia.

Propiedades químicas del suelo

Los resultados de los análisis de las muestras obtenidas al finalizar el ensayo (posterior al corte del sorgo) se muestran en la Tabla 9.

Los valores de MO y Nt sufrieron una muy pequeña modificación, como era de esperar debido a que la cantidad incorporada durante todo el proceso vía efluente no fue muy elevada. Además, se deben considerar las pérdidas asociadas al proceso de mineralización. Con respecto a los cationes se puede verificar que, en general, la variación de su contenido en la CIC fue escasa o nula. Los valores de saturación de Ca, Mg, Na y K respecto de la CIC para T0 fueron 51%, 11%, 2% y 6%, para T1 fueron 51%, 11%, 2% y 7% y para T2 fueron 52%, 11%, 2% y 7%, respectivamente. La escasa alteración puede deberse al leve incremento de la CIC, lo que determina que los porcentajes de saturación de cationes permanezcan casi inalterados. Tampoco se observó variaciones en los valores de CEa pesar de la cantidad de Na incorporada al suelo con el efluente, lo que sugiere que hubo cierta lixiviación de este elemento dado que las cantidades absorbidas por los cultivos son reducidas. Probablemente por la misma razón el contenido de micronutrientes también permaneció estable. En general, los valores determinados coinciden con los encontrados por Da Silva *et al.* (2001), Imhoff *et al.* (2006), Carrizo *et al.* (2011) y Carrizo *et al.* (2013), quienes analizaron el contenido de nutrientes de suelos Argiudoles del centro de Santa Fe y las modificaciones ocurridas debido a los sistemas de manejos más comunes en la región.

Estos resultados resaltan la importancia de aplicar los efluentes teniendo en cuenta la rotación de cultivos implementada; es decir, la demanda del cultivo a fertilizar en esa ocasión y la del cultivo siguiente en la rotación, ya

Tabla 9. Propiedades químicas del suelo de los diferentes tratamientos de efluente líquido de tambo (ELT), en dos profundidades, al finalizar el experimento.

Table 9. Soil chemical properties of different treatments of liquid dairy cattle slurry (ELT) in two depths, at the end of the experiment.

| Propiedad química | T0 | T1 | T2 |
|-------------------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | Profundidad 0-10 cm | | |
| pH | 5 (0,1) | 5,1 (0,1) | 5,1 (0,1) |
| CO (%) | 1,58 (0,04) | 1,68 (0,06) | 1,80 (0,09) |
| Nt (%) | 0,13 (0,02) | 0,14 (0,01) | 0,15 (0,02) |
| P (mg kg ⁻¹) | 18 (0,8) | 19 (1,2) | 20 (2,2) |
| S (mg kg ⁻¹) | 5 (0,5) | 6 (0,8) | 6 (0,6) |
| Ca (mmolc kg ⁻¹) | 68 (2,08) | 70 (1,85) | 72 (0,88) |
| Mg (mmolc kg ⁻¹) | 15 (0,96) | 15 (1,15) | 16 (0,66) |
| Na (mmolc kg ⁻¹) | 2 (0,01) | 3 (0,02) | 3 (0,01) |
| K (mmolc kg ⁻¹) | 8 (0,21) | 10 (0,15) | 10 (0,54) |
| CIC (mmolc kg ⁻¹) | 133 (1,11) | 138 (1,71) | 143 (0,94) |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 1,6 (0,11) | 1,7 (0,12) | 1,8 (0,10) |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 0,8 (6E-4) | 0,9 (7E-4) | 1,1 (7E-4) |
| B (mg kg ⁻¹) | 0,6 (0,001) | 0,6 (0,02) | 0,8 (0,03) |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 86 (7,05) | 86 (6,2) | 86 (7,3) |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 54 (5,1) | 55 (5,3) | 56 (4,9) |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,82 (0,09) | 0,99 (0,1) | 1,09 (0,1) |
| Profundidad 10-20 cm | | | |
| pH | 5,2 | 5,1 | 5,1 |
| CO (%) | 1,35 | 1,34 | 1,36 |
| Nt (%) | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| P (mg kg ⁻¹) | 10 | 12 | 14 |
| S (mg kg ⁻¹) | 4 | 4 | 5 |
| Ca (mmolc kg ⁻¹) | 67 | 68 | 69 |
| Mg (mmolc kg ⁻¹) | 15 | 15 | 15 |
| Na (mmolc kg ⁻¹) | 2 | 3 | 3 |
| K (mmolc kg ⁻¹) | 5 | 6 | 8 |
| CIC (mmolc kg ⁻¹) | 130 | 132 | 135 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 1,6 | 1,7 | 1,7 |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 0,5 | 0,5 | 0,7 |
| B (mg kg ⁻¹) | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 78 | 80 | 80 |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 50 | 52 | 53 |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,80 | 0,85 | 0,85 |

T0: 0 L ha⁻¹ ELT; T1: 80000 L ha⁻¹ ELT; T2: 160000 L ha⁻¹ ELT; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; P: fósforo; S: azufre; Ca: Calcio; Mg: magnesio; K: potasio; Na: sodio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; Fe: hierro; Mn: manganeso; CE: conductividad eléctrica. Valores entre paréntesis corresponden al error estándar.

que en el caso de nutrientes poco móviles, como el P, con la aplicación anticipada se podría satisfacer la demanda del cultivo siguiente.

También es importante señalar que, aparentemente, hubo una elevada pérdida de nitrógeno por volatilización, lo que pudo ser agravado por las condiciones de sequía.

Entre todos los factores que afectan las emisiones de amoníaco, los que más comúnmente interfieren son la concentración de N amoniacal, la MS del efluente, la tasa de infiltración del suelo y las variables meteorológicas (Sommer & Hutchings, 2001). También hubo movimiento descendente de nutrientes, como lo sugiere la falta de

variación del contenido de Na, que en este caso resulta positivo porque evita la sodificación del suelo, pero que puede ser negativa en el caso de nutrientes como el N y S. Por lo tanto, se requiere un estudio más detallado de la dinámica de estos nutrientes en diferentes rotaciones y a largo plazo para determinar fehacientemente el impacto de la aplicación de efluentes líquidos de tambo en los cultivos, suelo y ambiente.

El manejo de residuos, entre ellos los generados en los sistemas tamberos, será seguramente uno de los problemas ambientales más importantes que deberá enfrentarse en los próximos años debido al elevado volumen producido, variabilidad de su composición y condiciones de empleo (rotaciones, suelos, clima). Como consecuencia, es necesario profundizar las investigaciones en esta temática con experimentos de mayor duración que incluyan esa diversidad de condiciones.

CONCLUSIONES

La aplicación de efluentes líquidos de tambo permitió mejorar la productividad del raigrás y del sorgo doble propósito, sin que ocurriera gran alteración en la concentración de nutrientes en el forraje. Hubo alteración de su calidad debido a cambios en la composición morfológica (relación entre tallos, hojas y panoja). No se verificaron modificaciones significativas de las propiedades químicas del suelo, especialmente de aquellas que pueden afectar negativamente la estructura del suelo como el sodio. Los resultados de este estudio indican que la utilización de los efluentes líquidos de tambo como enmienda orgánica es una práctica recomendable, ya que aportan una solución al manejo de los residuos que se generan diariamente, aunque aún es necesario corroborar cómo ocurren y la magnitud de las pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th Ed. Association of Official Agricultural Chemistry. Washington, DC. USA 500 pp.
- Augustenborg, CA; OT Carton; RPO Schulte & IH Suffet. 2008. Response of silage yield to land application of out-wintering pad effluent in Ireland. *Agricultural Water Management* 95: 367-374.
- Beauchamp, EG. 1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. *Canadian Journal Soil Science* 63: 377-386.
- Bittman, S; CG Kowalenko; DE Hunt & O Schmidt. 1999. Surfacebanded and broadcast dairy manure effects on tall fescue yield and nitrogen uptake. *Agronomy Journal* 91: 826-833.
- Bittman, S; CG Kowalenko; T Forge; DE Hunt; F Bounaix & N Patni. 2007. Agronomic effects of multi-year surface-banding of dairy slurry on grass. *Bioresource Technology* 98: 3249-3258.
- Carrizo, ME; MA Pilatti; CA Alesso & S Imhoff. 2011. Atributos químicos de suelos Argiudoles cultivados y no cultivados del Departamento Las Colonias (Santa Fe). *Ciencia del Suelo* 29: 173-179.
- Carrizo, ME; A Alesso; J Do Nascimento Guedes & S Imhoff. 2013. Reserva de micronutrientes y comparación de dos métodos de extracción en suelos agrícolas santafesinos. *Ciencia del Suelo* 31: 15-19.
- Charlón, V; M Taverna; A Cuatrín & L Negri. 2001. Características del agua disponible en las instalaciones de ordeño de tambos ubicados en la cuenca lechera central de la Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal* 2: 228-231.
- Charlón, V; L Romero; A Cuatrín & M Taverna. 2004. Efecto de la utilización de los residuos orgánicos en un verdeo de invierno. 27^o Congreso Argentino de Producción Animal 24: 324-326.
- Charlón, V; A Cuatrín; H Vivas & M Taverna. 2006. Utilización de residuos orgánicos en la producción acumulada y la calidad de una pastura de alfalfa pura. *Revista Argentina de Producción Animal* 26: 172-173.
- Charlón, V. 2007. Residuos en las instalaciones de ordeño. *Revista IDIA XXI* 9: 80-85.
- Charlón, V; L Romero; A Cuatrín & M Taverna. 2007a. Utilización de residuos orgánicos en el rendimiento y la calidad de un cultivo de avena. *Revista Argentina de Producción Animal* 27: 214-215.
- Charlón, V; L Romero; A Cuatrín & M Taverna. 2007b. Utilización de residuos del tambo en un cultivo de sorgo forrajero para silaje. *Revista Argentina de Producción Animal* 27: 216-217.
- Ciampitti, IA & FO García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundario. *Archivo Agronómico* N° 11. *En: Informaciones Agronómicas* N° 33, p. 13-16.
- Da Silva, AP; S Imhoff; NF Giarola & CA Tormena. 2001. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del centro de Santa Fe. *Edafología* 8: 21-34.
- Feng, GL; J Letey; AC Chang & M Campbell Mathews. 2005. Simulating dairy liquid waste management options as a nitrogen source for crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 110: 219-229.
- Ferrari M; LA Rivoltella & JM Casado. 2012. Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización nitrogenada en sorgo granífero. *En: XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resúmenes*, Mar del Plata, Argentina.
- Herrero, MA; G Sardi; V Maldonado May; M Flores; A Orlando & L Carbó. 2000. Distribución de la calidad del agua subterránea en sistemas de producción agropecuarios bonaerenses. I. Calidad físico química y condiciones de utilización del agua. *Revista Argentina de Producción Animal* 20: 229-237.
- Herrero, MA; MS Iramain; S Korol; H Buffoni; M Flores; M Pol; V Maldonado May; G Sardi & MS Fortunato. 2001. Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca de Abasto sur, Buenos Aires, Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal* 22: 61-70.

- Imhoff, S; MC Miretti; G Benzi & MA Pilatti. 2006. Contenido de carbono orgánico y micronutrientes en Argiudoles del Departamento Las Colonias (Santa Fe). *En: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de suelos de la Región Andina*, Salta. Resúmenes de XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo- I Reunión de Suelos de la Región Andina.
- Imhoff, S; P Ghiberto; ME Carrizo; V Charlón; O Zen & S Gambaudo. 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-Uruguaya de Economía Ecológica*, Santa Fe. Resumen en CD de V CISDA.
- INTA. 1991. Carta de suelos de la República Argentina. Hojas 3160-26 y 25. Esperanza-Pilar. EEA INTA Rafaela.
- Jokela, WE. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. *Soil Science Society of America Journal* 56: 148-154.
- Joshi, JR; JF Moncrief; JB Swan & PM Burford. 1994. Long-term conservation tillage and liquid dairy manure effects on corn. I. Nitrogen availability. *Soil and Tillage Research* 31: 211-224
- Khan, AU; M Iqbal & KR Islam. 2007. Dairy manure and tillage effects on soil fertility and corn yields. *Bioresource Technology* 98: 1972-1979.
- La Manna, A. 1995. Manejo de residuos orgánicos en tambos. 2ª Edición ampliada y corregida. Boletín de Divulgación 53. INIA La Estanzuela. Uruguay.
- Lithourgidis, AS; T Matsi; N Barbayiannis & CA Dordas. 2007. Effect of Liquid Cattle Manure on Corn Yield, Composition, and Soil Properties. *Agronomy Journal* 99: 1041-1047.
- Matsi, T; AS Lithourgidis, & AA Gagianas. 2003. Effects of injected liquid cattle manure on growth and yield of winter wheat and soil characteristics. *Agronomy Journal* 95: 592-596.
- Min, DH; LR Vough & JB Reeves. 2002. Dairy slurry effects on forage quality of orchardgrass, reed canarygrass and alfalfa-grass mixtures. *Animal Feed Science and Technology* 95: 143-157.
- Monaco, S; DJ Hatch; D Sacco; C Bertora & C Grignan. 2008. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic materials in maize-based forage systems. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 608-615.
- Nevens, F & D Reheul. 2005. Agronomical and environmental evaluation of long- term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Journal of Agronomy* 22: 349-361.
- Patni, NK & JLB. Culley. 1989. Corn silage yield, shallow groundwater quality and soil properties under different methods and times of manure application. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 32: 2123-2129.
- Salazar, FJ; D Chadwick; BF Pain; D Hatch & E Owen. 2005. Nitrogen budgets for three cropping systems fertilised with cattle manure. *Bioresource Technology* 96: 235-245.
- SAMLA (Sistema De Apoyo Metodológico A Los Laboratorios De Análisis De Suelos). 2004. CD-room. ISBN 987-9184-40-8.
- Schils, RL & I Kok. 2003. Effects of cattle manure management on grass yield. *Netherland Journal of Agriculture* 51: 41-65.
- Schröder, JJ; HFM Aarts; JC Van Meddelkoop; RL Schils; GL Velthof; B Fraters & WJ Willems. 2007. Permissible manure and fertilizer use in dairy farming systems on Sandy soils in The Netherlands to comply with the Nitrates Directive target. *European Journal of Agronomy* 27: 102-114.
- Sommer, SG & NJ Hutchings. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction-invited paper. *European Journal of Agronomy* 15: 1-15.
- Sutton, AL; DW Nelson; DT Kelly & DL Hill. 1986. Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. *Journal of Environmental Quality* 15: 370-375.
- Taverna, M; V Charlón & A Cuatrín. 2000. Calidad físico-química y bacteriológica del agua en tambos y su relación con algunas prácticas de manejo de los efluentes. Libro de Resúmenes 11º Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo, Buenos Aires.
- Taverna, M; V Charlón; C Panigatti; A Castillo; P Serrano & J Giordano. 2004. Manual sobre el manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Una contribución al logro de ambientes locales sanos. Edit. INTA. 75 pp.
- Taverna, M; V Charlón; K García & E Walter. 2007. Manejo de Efluentes de Tambos «INTA Rafaela». *Revista IDIA XXI* 9: 86-92.
- Torrecillas, MG & LM Bertoia. 2008. Acumulación y calidad de forraje de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) con diferentes niveles de fertilización nitrogenada. *Revista Argentina de Producción Animal* 28: 201-207.
- Van Raig, B. 1998. Bioavailable test: alternatives to standard soil extractions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 1553-1570.