UNLPam
Universidad Nacional de La Pampa

Facultad de Ciencias
Exactas y Naturales

“EVALUACIÓN DE EFLUENTES DE TAMBO COMO ABONOS ORGÁNICOS PARA UNA FORRAJERA INVERNAL”

DI NASSO, Ludmila Yanet

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

SANTA ROSA (LA PAMPA) ARGENTINA

2019

Prólogo

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), "Ing. Agr. Guillermo Covas" iniciándose el 01/6/2018 bajo la dirección del Ing. Agr Quiroga; Alberto y bajo la codirección de la Ing. Agr Noellemeyer; Elke.

06/09/2019 ……

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia y a mi novio Gonzalo por darme la posibilidad de alcanzar mis estudios y apoyarme en todo momento en el transcurso de la carrera. También a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por la posibilidad de realizar mis estudios y el apoyo económico para llevar a cabo esta tesina. A cada uno de los docentes y ayudantes de cátedra por los conocimientos brindados y a Alberto Quiroga y Elke Noellemeyer por el acompañamiento y dirección en la realización de la tesis de grado. También, al Establecimiento INTA Anguil por brindarme el espacio necesario y a los tesistas y trabajadores del mismo que me ayudaron en la toma de datos y análisis necesarios, en particular a Eric Scherger y Roberto Gómez. Además, a las jurados Mónica Mazzola y Silvia Aimar por su tiempo dedicado en la evaluación de la presente tesis.

¡A todos ellos, muchas gracias!

06/09/2019 ……

Resumen

En nuestro país el aumento de la agricultura continua y las producciones ganaderas intensivas (tambos y feed lot) han llevado a un creciente deterioro de las propiedades físicas y químicas de los suelos. Entre ellos se puede mencionar los cambios estructurales, pérdida de materia orgánica, contaminación por excesos de nitrógeno y fosforo. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos del aporte de efluentes de tambos como fuente de nitrógeno sobre la producción de materia seca y eficiencia en el uso del agua de una secuencia de cultivos de centeno y maíz.

Se estableció un experimento a campo con 4 tratamientos y 4 repeticiones cada uno en un diseño de bloques al azar sobre cultivo de centeno y maíz. Los tratamientos fueron fertilizados con urea, aplicación de efluente y un testigo (sin fertilización). Mediante el análisis estadístico se determinó que el efluente de tambo aumenta significativamente la producción de materia seca de cultivos de centeno y de maíz comparando las parcelas no fertilizadas. Los valores obtenidos de MS fueron de 2956-6466 $kgha^{-1}$ y 11547-16743 $kgha^{-1}$ para los tratamientos testigo y con efluente para centeno y maíz respectivamente. Por otra parte se concluyó que la aplicación de dicho efluente no altera las propiedades químicas del suelo. Además, se determinó que la eficiencia del uso del agua (EUA) se vio beneficiada por la fertilización alcanzando valores de 23,1-47,4 y 22,6-32,8 kg/ha mm en centeno y maíz en parcelas no fertilizadas y fertilizadas respectivamente.

Palabras claves: suelo, efluente, fertilización, centeno, maíz, materia seca, eficiencia del uso del agua.

Summary

The increase of continuous agriculture and intensive livestock production (dairy and feedlot) brought about an increasing deterioration of soil physical and chemical properties. Among these, it is worth mentioning changes in soil structure, loss of organic matter, contamination due to excess nitrogen and phosphorus. The objective of the present study was to evaluate the effects of dairy manure applications as a source of nitrogen on the production of dry matter and water use efficiency in a sequence of rye and maize crops.

A field experiment with four treatments and four replicates in randomly distributed blocks was set up. The treatments were application of urea fertilizer, dairy manure and a control without fertilizer, and the results of these were compared by analysis of variance. Statistical analysis determined that dairy effluent significantly increased dry matter production of rye and corn crops compared to unfertilized plots. The values obtained for DM were 2956-6466 kg ha^{-1} and 11547-16743 kg ha^{-1} for the control and effluent treatments for rye and corn, respectively. On the other hand, it was concluded that the application of effluents didn't alter the chemical properties of the soil. In addition, it was determined that the water use efficiency (EUA) was benefited by fertilization reaching values of 23.1- 47.4 and 22.6- 32.8 kg ha^{-1} mm^{-1} in rye and corn in unfertilized and fertilized plots respectively.

Keywords: soil, effluent, fertilization, rye, corn, dry matter, water use efficiency.

Índice

Prólogo 2
Resumen 4
Summary 5
Introducción 1
Materiales y métodos 4
Área de estudio 4
Tratamiento y diseño experimental: 4
Determinaciones: 5
Análisis de datos: 7
Precipitaciones: 8
Producción de biomasa aérea y eficiencia de uso de agua en el cultivo de centeno 9
Producción de biomasa aérea y eficiencia de uso de agua en el cultivo de Maíz 11
Propiedades de suelo: 12
Residuo de centeno: 13
Referencias bibliográficas 18

Introducción

A lo largo de los años, el creciente aumento poblacional y el incremento del consumo per cápita han llevado a una intensificación de los sistemas de producción causando, en algunos casos, evidentes problemas ambientales. Algunas de las alteraciones se registraron en los ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad y en la propagación de la biota fuera de sus límites habituales, entre otros. Aunque se han registrado estas modificaciones, el gran desarrollo tecnológico permitió a los ecosistemas mantener su funcionalidad enmascarando de alguna manera los problemas ambientales.

Como consecuencia de la creciente demanda mundial de alimentos, los sistemas productivos han experimentado cambios orientados hacia una mayor intensificación agrícola y ganadera (Scherger *et al*., 2017). Por esta razón, mantener el equilibrio entre la producción de alimentos, el crecimiento socioeconómico y la protección del ambiente, constituyen uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la sociedad actual (Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 1987).

En Argentina, la producción animal se intensificó mediante la concentración de una mayor cantidad de animales sometidos a engorde intensivo a corral (Upton, 1997). Previo a estas modificaciones productivas, la agricultura y ganadería se articulaban en sistemas extensivos de rotación de cultivo. En la actualidad se encuentran desacopladas y especializadas (Viglizzo *et al*., 2010) por lo que se requiere un mayor aporte de insumos y, en consecuencia, un aumento en la generación de residuos para sostener esta mayor productividad. En los sistemas de producción extensivos, los efluentes provenientes de los animales (materia seca, restos de alimentos, etc) representan una oportunidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) para satisfacer las necesidades del cultivo como abono orgánico. En cambio, para los sistemas intensivos constituyen un riesgo de contaminación para el medio ambiente pudiendo incidir negativamente sobre las características del suelo por presentar sales (Taberna *et al*., 2002) y también la contaminación de las capas freáticas con dichos desechos.

Así como la producción intensiva agrícola-ganadera se ha incrementado, el interés por el cuidado del medio ambiente y la creación de sistemas productivos más amigables con el ambiente también lo ha hecho. Este nuevo sistema se basa en una economía sustentable manteniendo la integridad y calidad del mismo, conservando su capacidad de satisfacer las necesidades de las personas y siendo económicamente rentable y competitivo. Cuando hablamos de sustentabilidad en el ámbito agrícola, los rumiantes juegan un papel muy

importante en el mismo ya que transforman los recursos pastoriles y los residuos de cultivos en bienes aprovechados por el hombre (Beegle *et al*., 2000; Carbo, 2011).

En los últimos años Argentina ha experimentado un aumento en la producción lechera y en consecuencia, una mayor generación de efluentes. En nuestro país existen aproximadamente 10.722 salas de ordeñe con un total de 1.590.000 vacas (OCLA, 2018). Este aumento se debió a una mayor eficiencia productiva del sector, pasando de modelos extensivos, es decir, de baja carga animal (1 VT/ha VT/año, campos naturales, verdeos y baja suplementación) a sistemas de media carga animal (entre 1,2 y 1,7 VT/ha VT/año, cultivos anuales, silaje, suplementación alta, etc) (Beegle *et al*., 2000; Carbo, 2011).

Gran parte de las industrias lecheras se ubican en la Región Pampeana donde el 55% de las materias primas provienen de pequeños y medianos tambos los cuales producen un máximo de 4.000 litros diarios de leche repartiéndose en seis provincias (MAGyP, 1995). Taberna y Charlón (1999) y Charlón et al (2000) encontraron que 100 vacas requieren para el lavado de las instalaciones de ordeñe un promedio de 3000 litros de agua diarios, y generan 36 Kg de materia seca (materia fecal, restos de alimentos, entre otros).

La intensificación de la producción puede llevar a la generación de contaminantes y al incremento de los flujos de nutrientes y energía. Esto aumenta a medida que los animales permanecen más horas encerrados generando por consiguiente importantes impactos sobre el ambiente (Herrero *et al*., 2006). Para mantener la sustentabilidad del sistema, hay que tener en cuenta cómo manejar los residuos orgánicos (estiércol y orina) de la operación de ordeñe sabiendo que entre el 75% y 95% del volumen de agua utilizada por la industria lechera es desechada como efluente. Los efluentes líquidos provienen del lavado de máquinas, corrales, preparado de ubres, etc con una producción de 40-50 litros/día por vaca según las características de la instalación y del manejo operativo.

Desde un punto de vista agronómico es interesante limitar la transferencia de nutrientes desde la pastura (silos) hacia los corrales. El uso de estos efluentes aparece como una alternativa para restituir estos nutrientes y también los provenientes de la suplementación estratégica de los animales (derivados de soja, girasol, maíz, aportes proteicos, entre otros). El efluente almacenado en depósitos temporarios o permanentes puede ser distribuido utilizando tanques estercoleros o equipos de riego en un suelo barbechado, en un cultivo o pastura (Taverna *et al*., 2002).

La Facultad de Ciencias Veterinarias de la UBA realizó una investigación con el objetivo de cuantificar los excedentes de nitrógeno y fósforo transferidos al área de ordeño en el período de un año. Se sabe que los animales obtienen nutrientes de los forrajes y suplementos que se

les aporta. Parte de los mismos son transportados fuera del área de pastoreo a través de leche, fibras, carne, entre otros, mientras que otra parte queda en el lugar cuando se lo elimina a través de las heces y orinas. Aquellos nutrientes que no son aprovechados por las plantas, quedan formando parte de la fertilidad del suelo y el resto puede generar contaminación y degradar el sitio.

El uso del efluente en tierras cultivadas proporciona importantes beneficios ya que le aporta nutrientes fundamentales al suelo como es el nitrógeno y el fósforo. Un estudio realizado en la provincia de Buenos Aires por Pereyra *et al*., (2007) y que tuvo como objetivo determinar el comportamiento de pastoreo de vacas lecheras en pasturas irrigadas con efluente de tambo determinó que el mismo presentaba un pH de 7,8, conductividad eléctrica de 1,5 mS/cm, 670 ppm de nitrógeno orgánico, 16,21 ppm de fósforo total y 297 ppm de potasio. En cuanto a la calidad microbiológica, el recuento de bacterias dio un total de 3,9 x 10^6 UFC/ ml, coliformes fecales 2,4 x 10^4/100ml y enterococcos 2,1 x 10^4/100 ml. Hay que tener en cuenta que el aporte de efluente al suelo aumenta las concentraciones de nutrientes en el mismo por lo que se debe tener cuidado de no contaminar el suelo, las napas y cursos de agua a través del lixiviado de nutrientes o aporte de microorganismos patógenos como la bacteria *Escherichia coli* (Miner *et al*., 2000). En el sector de ordeño es donde los animales permanecen más tiempo por lo que es un área de gran acumulación de nutrientes.

Por otra parte, el efluente puede influenciar positiva o negativamente sobre las propiedades físicas del suelo. Positivamente, al verse incrementada las concentraciones de nutrientes y materia orgánica, aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, incrementa el intercambio catiónico y la infiltración de agua al subsuelo reduciendo la erosión del mismo. Estos cambios se producen porque la materia orgánica favorece la formación de agregados y estabiliza la estructura del mismo. Si el efluente de tambo contiene altas concentraciones por ejemplo de sodio proveniente del lavado de las salas de ordeñe, el mismo podría influenciar negativamente sobre el suelo y agua provocando la salinización de los mismos.

El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos del aporte de efluentes de tambos como fuente de nitrógeno sobre la producción de materia seca y eficiencia en el uso del agua de una secuencia de cultivos de centeno y maíz.

Materiales y métodos

Área de estudio:

El experimento se llevó a cabo en El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), "Ing. Agr. Guillermo Covas". El mismo está ubicado en la localidad de Anguil, Provincia de La Pampa, encontrándose sobre la Ruta Nacional N° 5, a 22 km de la ciudad de Santa Rosa. Pertenece a la Región Fisiográfica Oriental, Subregión de las planicies con tosca en transición con la planicie medanosa del Este de La Pampa. Posee un clima templado con precipitaciones medias anuales entre 600 y 700 mm. El relieve es una planicie uniforme suavemente ondulada donde el suelo dominante es un Haplustol éntico con inclusiones de Ustipsammentes, familia franco gruesa mixta térmica. Actualmente sus tierras son utilizadas para explotación agropecuaria predominando la agricultura. Los cultivos estivales más importantes son sorgos graníferos y forrajeros, maíz, soja y girasol. La vegetación natural está constituida por pastizales naturales, bosques de *Prosopis caldenia*, arbustos halófilos y matorrales.

Tratamiento y diseño experimental:

La experiencia consistió en la siembra de centeno sobre un Entisol que posee textura arenosa-franca con 12 % de arcilla más limo (A+L), 1% de materia orgánica (MO), pH 6, 33 ppm de Fósforo disponible (P Bray-Kurtz N° 1) e influencia de la capa freática seguido de maíz. Se establecieron cuatro tratamientos: T0 (testigo) donde no se aplicó efluentes ni fertilizantes inorgánicos; T1 con aplicación de efluente (5 mm de lámina, equivalente a 30 kg/ha de N); T2 con aplicación de N inorgánico (urea) en dosis de 30 kg N ha^{-1} y T3 en dosis de 60 kg N ha^{-1}. Las fertilizaciones tanto con urea como con efluente fueron realizadas en el momento de la siembra de ambos cultivos.

Los tratamientos fueron dispuestos en parcelas de 25 m^2 (5m x 5m) con cuatro réplicas cada uno. Se utilizó un diseño de bloques al azar y sobre las mismas se estableció en siembra directa y sobre antecesor maíz para silo, un cultivo de centeno (cultivar Don Ewald). Luego sobre el centeno se estableció maíz destinado a silo en el cual se realizaron las mismas determinaciones que en el cultivo antecesor.

El efluente de tambo fue recolectado por una estercolera marca Taurus de una pileta de almacenamiento temporario (sin tratamiento) que posee el tambo de un productor. El mismo se ubica en el departamento Atreucó, más precisamente en la localidad de Miguel Riglos. Hace más de 25 años el establecimiento, que posee 196 ha cultivables, realiza una rotación de tres años de pasturas anuales entre los que se encuentran sorgo, centeno, avena y cebada alternando con cuatro años de pasturas perennes (alfalfa). Es importante destacar que entre 40 y 60 ha al año son destinadas para silaje de maíz picado fino, para luego ser utilizado como alimento para el ganado en los meses de invierno (Diez, 2009).

La aplicación del efluente fue realizada mediante "chorreado" colocándose entre las hileras del cultivo. Su aplicación se desarrolló manualmente para garantizar uniformidad y la dosis prevista en cada parcela fue de 5 mm de lámina. Los mismos estaban constituidos por una fase sólida (bosta depositada en la sala de ordeñe) y una fase líquida (proveniente del lavado de máquinas y del preparado de las ubres). Su composición química se describe a continuación:

Tabla 1: Caracterización química del efluente empleado. Nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), sodio (Na), expresados en ppm, conductividad eléctrica (CE) en dS m^{-1}y pH.

	N	S	P	Ca	Mg	K	Na	CE	pH
Efluente de Tambo	604	48,8	96,9	189	118	506	132	6,01	7,4

Determinaciones:

Al momento de realizarse la siembra del verdeo de invierno se extrajeron muestras de suelo de una parcela por tratamiento para caracterizarlo y determinar sus propiedades iniciales. La materia orgánica (MO) se determinó por el método de Walkley y Black, Fósforo disponible (Bray-Kurtz N° 1), el contenido de arcilla, limo y arena (pipeta de Robinson), nitratos (método de ácido cromotrópico), pH y conductividad eléctrica en pasta saturada.

Previo al riego con efluente y de acuerdo con estudios realizados por Taverna *et al*. (2004) en la EEA del INTA de Rafaela, al mismo se le realizó un análisis determinándose: materia seca (%), ceniza (% de la MS), nitrógeno total, fósforo, azufre, magnesio, estos últimos medidos en (g/l), micro nutriente (zinc, boro, manganeso), pH y conductividad eléctrica (dS m^{-1}).

Para determinar la respuesta del centeno y del maíz al aporte de nutrientes presentes en el efluente y de los fertilizantes, se tomaron muestras de suelo hasta los 120 cm de profundidad a intervalos de 20 cm, en las cuales se determinó humedad con el método gravimétrico. Las mismas se llevaron a cabo el 10/04/2018 (siembra del centeno), el 24/07/2018 (etapa de macollaje) y el 02/10/2018 (secado del centeno). Durante el desarrollo del maíz las muestras se tomaron a la siembra y cosecha del mismo, es decir, el 01/11/2018 y el 19/04/2019 respectivamente.

Durante el tiempo de desarrollo del centeno y del maíz se llevaron a cabo cortes para determinar materia seca (MS, por secado en estufa a 60 ºC por 72 h). Los cortes de centeno se llevaron a cabo durante la etapa de macollaje y secado del mismo. Esta última se realizó cuando la planta se encontraba en estado fenológico de llenado de grano con el fin de determinar su producción. Las muestras del maíz se realizaron el 13/02/2019 (discriminando entre espiga, tallo y hoja) y a la cosecha. Los cortes se llevaron a cabo a través de un área de $1m^2$ dispuesta al azar en cada uno de los tratamientos con sus respectivas réplicas. Luego, las muestras fueron pesadas en húmedo y en seco mediante el secado en estufa.

Para evaluar la influencia que tiene el aporte acumulado de efluentes sobre las características del suelo, el 21/02/2019 se tomó muestras compuestas de 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad del suelo en los tratamientos testigos y efluentes. El fin que tuvo este muestreo fue determinar si la aplicación del efluente de tambo pudo haber incidido negativamente o no en las características químicas del suelo. Para ello, luego de realizados los muestreos se procedió a determinar sus contenidos de fósforo, pH actual, potencial e hidrolítico y la conductividad eléctrica (ms/cm).

Otros datos tenidos en cuenta fueron las precipitaciones (mm) de los últimos 57 años y temperaturas (°C) obtenidas de la estación meteorológica del INTA Anguil ubicada a 200 metros del área de la experiencia. Con estos datos de lluvia y el de las láminas de agua almacenadas en el perfil del suelo se determinó el uso consuntivo (UC, mm) por parte de ambos cultivos. Para esto, fue necesario medir la humedad inicial (siembra del cultivo) y final (corte o cosecha) en el perfil del suelo. Luego con esta determinación se calculó la eficiencia del uso del agua (EUA, kg ha^{-1} mm^{-1}).

Por último, en el mes de mayo se tomaron muestras del residuo del centeno de un área de $1m^2$ al azar las cuales fueron pesadas húmedas y secas.

<u>Análisis de datos:</u>

El diseño experimental que se utilizó fue en bloques al azar con cuatro replicas y parcelas de 25 m^2 (5m x 5m). Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y el método de comparación de medias Test de Fisher con $\alpha < 0,1$. Estos análisis se realizaron mediante el programa InfoStat (Di Rienzo *et al*., 2017).

Resultados

Precipitaciones:

En la Figura 1 se puede visualizar las precipitaciones mensuales registradas durante el período de desarrollo del cultivo del centeno (C) y del maíz (M) (años 2018-2019). Por otra parte, también se ven reflejadas las precipitaciones medias históricas de los últimos 57 años. El cultivo de centeno fue sembrado el 10 de abril del año 2018 y secado el 2 de octubre del mismo año mientras que el maíz se sembró 30 días después y se cosechó el 19 de abril del siguiente año permaneciendo el suelo en barbecho corto (B) entre cultivo y cultivo.

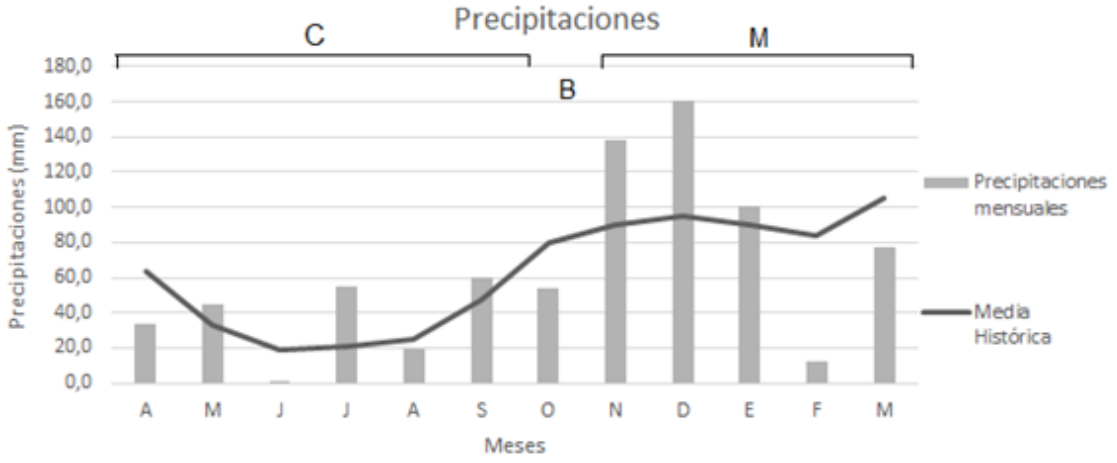

Figura 1: Distribución de las precipitaciones mensuales durante el tiempo de desarrollo del cultivo de centeno (C), del maíz (M) y del barbecho (B). Precipitaciones medias históricas del período 1961-2018 (Comunicación personal de Laura Belmonte, INTA Anguil).

La etapa más crítica para obtener una buena productividad de maíz es la de floración. Durante ese período son muy importantes, entre otras cosas, las precipitaciones adecuadas para obtener luego buenos rendimientos. Este cultivo alcanza el estado fenológico de floración en el mes de enero, y en este mes las lluvias alcanzaron un valor mayor a la media histórica por lo que el maíz no estuvo condicionado por la disponibilidad de agua (Fig.1).

En Argentina, durante los últimos años se ha visto un incremento de sistemas de producción con uso agrícola por períodos largos e incluso continuos lo que ha llevado entre otras cosas a la disminución de materia orgánica en el suelo. Por este motivo se ha implementado la aplicación de cultivos de cobertura (CC) como es el caso del centeno lo cual aporta C al suelo, aumenta el rendimiento del maíz, reducen la compactación, minimizan la lixiviación de nitratos residuales, entre otros beneficios (Ruffo *et al*., 2004). En la figura anterior se

puede observar que durante el mes de junio las precipitaciones han sido casi nulas pero al mes siguiente las mismas superaron la media histórica beneficiando el desarrollo del mismo. Los barbechos tienen como finalidad el descanso de la tierra durante un cultivo y otro. Durante este período el cual puede ser prolongado (barbechos largos) o no (barbechos cortos) el suelo acumula fertilidad (N-nitratos) y agua útil (Quiroga *et al*., 2005). En este ensayo, el barbecho se realizó en el mes de octubre y en dicho mes las precipitaciones registradas fueron menores a la media histórica (Fig.1). Esta baja acumulación de agua útil podría haber condicionado el posterior cultivo de maíz. Esto no ocurrió ya que durante los meses de noviembre y diciembre e incluso enero, las precipitaciones superaron la media histórica recargando el perfil del suelo con abundante agua útil. Esto es muy importante ya que como fue dicho anteriormente, el mes de enero es el tiempo de floración del mismo beneficiando positivamente su productividad.

Producción de biomasa aérea y eficiencia de uso de agua en el cultivo de centeno

Se observó diferencia significativa de materia seca (MS), del centeno en los cortes realizados en el mes octubre (Tabla 2). En la etapa de secado del cultivo, se observó como el tratamiento con efluente superó al resto de los tratamientos. Esta diferencia significativa no se observó al comparar los dos tratamientos fertilizados con dosis diferentes de urea. Esta misma conclusión se ve cuando analizamos la MS producida por la planta por día desde la siembra hasta el secado del centeno (175 días). Durante la etapa de macollaje del centeno las parcelas con efluente duplicaron la MS en relación al testigo. En tanto las fertilizadas tuvieron un 50% más de MS que las de testigo.

Tabla 2: Producción de materia seca (MS) del cultivo de centeno (C) en macollaje y secado del mismo y eficiencia del uso del agua (EUA) en tratamientos testigo, con dosis de N 30, dosis de N 60 y con efluente.

Tratamientos	Macollaje MS (kgha^{-1})	Secado MS (kgha^{-1})	MS (kg/ha día)	EUA (kg/ha mm)
Testigo	2228 a	2956 a	42,23 a	23,1 a
N30	3220 a	4484 b	64,06 b	35,2 ab
N60	3614 a	4684 b	66,92 b	35,2 ab
Efluente	4188 a	6466 c	92,37 c	47,4 b

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Otro análisis estadístico realizado en la etapa de secado del centeno fue comparando la MS de las parcelas donde se les aplicó 30 kg de nitrógeno con aquellas de efluente, el cual como fue dicho anteriormente, 5 mm de lámina del mismo equivale a 30 kg de nitrógeno. Los análisis estadísticos arrojaron diferencias significativas entre ambos tratamientos. Estas mismas diferencias significativas se vieron al comparar las parcelas de efluente con aquellas donde se le aplicó 60 kg de nitrógeno, es decir el doble de N. Esto podría deberse a que el efluente contiene micro y macronutrientes aparte del N, como es el P, Ca, Mg, entre otros que estarían favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Es decir que el cultivo además de responder a nitrógeno, estaría respondiendo a la aplicación de otros nutrientes.

La utilización de centeno influye de manera positiva en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Sin embargo, en algunos casos este cultivo podría afectar negativamente la implantación y rendimiento de los cultivos estivales implantados posteriormente a él. Uno de los motivos que podría generar un resultado desalentador sería por la menor disponibilidad de agua que podría ser utilizada por el cultivo siguiente, en este caso el maíz (Baigorria *et al*., 2010). Se han realizado numerosos trabajos relacionados a la utilización de CC y se ha llegado a la conclusión que secar el mismo previo a su floración favorece la no utilización excesiva de agua, de forma tal que no condicione el desarrollo del cultivo sucesor. En el caso del centeno y de la mayoría de las especies utilizadas como CC, se beneficia también el ciclo del C del suelo, ya que deja abundante cobertura con residuos de alta relación C:N. De esta manera la descomposición de la materia seca es más lenta proporcionándole al suelo mayor protección contra agentes erosivos y aportándole como fue dicho anteriormente carbono. Cabe aclarar que a mayor fertilización, mayor producción de MS y por ende, mayor EUA (Álvarez *et al*., 2012). En este caso se observó diferencias estadísticamente significativas en la EUA entre los tratamientos testigo y efluente. Mientras que las parcelas fertilizadas con distintas dosis de urea mostraron respuesta igual entre ellas.

En la Tabla 3 se observa que la altura de las plantas de centeno entre los tres tratamientos analizados no presentó diferencias significativas pero su tendencia fue en aumento con la fertilización, teniendo la mayor altura con la utilización del efluente. En cuanto al número

de macollos por planta, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos testigo y efluente siendo mayor en este último. Los valores varían entre 6 y 7 macollos por planta, en el tratamiento testigo y con efluente respectivamente.

Tabla 3: Promedio de altura de planta (cm) y número de macollos por planta en tratamientos testigo, con dosis de N 60 y con efluente.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	N° de macollos por planta
Testigo	8,73 a	6 a
N 60	10,2 a	6 ab
Efluente	12,41 a	7 b

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Producción de biomasa aérea y eficiencia de uso de agua en el cultivo de Maíz

La siembra de maíz fue realizada en el mes de noviembre y su posterior cosecha en abril del siguiente año. En el mes de febrero se tomaron muestras de maíz en los tratamientos testigo y efluente donde se procedió a su discriminación en espiga, tallo y hoja y su posterior pesado. Se encontró diferencias estadísticas significativas al observar los resultados de tallos (Tabla 4). Sin embargo en espiga y hoja no se encontró diferencia significativa aunque la materia seca fue mayor en el tratamiento tratado con efluente. Se compararon además, los tratamientos efluente con N 30 y N 60 a la cosecha del maíz y ambos dieron diferencias significativas en cuanto a la producción de MS (Tabla 5). Podemos observar que los valores de MS son 13.046 y 14.524 $kgha^{-1}$ para los tratamientos de N 30 y N 60 de urea respectivamente, sin observarse diferencias significativas. El tratamiento con efluente produjo 16.743 $kgha^{-1}$, encontrándose diferencia significativa con los valores de N 30 y N 60.

En cuanto a la EUA (Tabla 5) se observa que el tratamiento de efluente superó al resto de los tratamientos. Sin embargo entre los tratamientos testigo y N 30 no se encontró diferencias significativas. De esta manera se comprobó que las propiedades del efluente favorecieron significativamente el desarrollo vegetal y la eficiencia del uso del agua.

Tabla 4: Producción de materia seca (MS) del maíz (M) en tratamientos testigo y efluente discriminado en espiga, tallo y hoja el 13 de febrero del año 2019.

Tratamientos	MS Espiga (kgha^{-1})	MS Tallo (kgha^{-1})	MS Hoja (kgha^{-1})
Testigo	6097 a	6027 a	1678 a
Efluente	5712 a	10961 b	3179 a

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Tabla 5: Producción de materia seca (MS) y eficiencia del uso del agua (EUA) del maíz (M) en tratamientos testigo, dosis de N 30, N 60 y efluente.

Tratamientos	MS (kgha^{-1})	EUA (kg/ha mm)
Testigo	11547 a	22,6 a
N 30	13046 ab	25,6 ab
N 60	14524 b	28,5 b
Efluente	16743 c	32,8 c

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Propiedades de suelo:

A continuación se observa el agua disponible (AD) presente en el perfil del suelo durante distintos momentos del desarrollo de los cultivos (Tabla 6).

Tabla 6: Agua disponible (AD) en el perfil del suelo a diferentes profundidades durante el tiempo de desarrollo del centeno y maíz.

Profundidad (cm)	Siembra CC	Macollaje CC	Secado CC	Siembra Maíz	Cosecha Maíz
0-20	2,42	22,29	22,88	22,54	12,08
20-40	1,95	17,66	21,08	21,15	15,21
40-60	3,67	13,59	18,26	18,74	16,08
60-80	7,85	12,34	15,45	15,19	14,91
80-100	10,94	14,17	19,05	16,11	17,64
100-120	15,01	17,38	22,60	19,10	19,54
Agua útil en el perfil (mm)	41,85	97,43	119,33	112,83	95,46

Se observó que luego de la siembra del centeno, el AD en el perfil del suelo aumentó gracias a las precipitaciones ocurridas en los meses de mayo, julio y septiembre las cuales superaron a las medias históricas de los últimos 57 años. Además, al haber secado el centeno previo a su floración, el agua quedó disponible para el cultivo sucesor, es decir, el maíz.

La Tabla 7 muestra que no hubo diferencias significativas entre las parcelas con y sin aporte de efluentes en cuanto a los tres tipos de pH analizados y a CE. Sin embargo se encontró diferencias significativas en P en los primeros 5 cm de suelo siendo mayor en las parcelas con efluente. Además esta diferencia significativa se da también al comparar las diferentes profundidades dentro del tratamiento de efluente siendo mayor en los primeros 5 cm del suelo. Esto se debe a la incorporación de este macronutriente por medio del efluente.

Tabla 7: Concentración de fósforo (P), pH actual, potencial e hidrolítico y conductividad eléctrica (CE) del suelo a tres profundidades diferentes en los tratamientos testigo y con aporte de efluente.

Tratamientos	Profundidad (cm)	P (ppm)	pH Actual	pH Potencial	pH Hidrolítico	CE (ms/cm)
Testigo	5	26,78 b A	6,62 a	5,99 a	6,72 a	0,69 a
Testigo	10	19,78 ab A	6,64 a	5,9 a	6,66 a	0,85 a
Testigo	20	15,78 a A	6,60 a	6,04 a	6,63 a	0,38 a
Efluente	5	43,80 c B	6,70 a	6,01 a	6,77 a	0,32 a
Efluente	10	28,05 b A	6,67 a	6,0 a	6,76 a	0,22 a
Efluente	20	14,85 a A	6,68 a	6,07 a	6,78 a	0,16 a

Nota: Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades de cada tratamiento.
Letras mayúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades entre tratamientos.

Residuo de centeno:

A los 175 días de la siembra del centeno, es decir, al momento del secado del mismo (octubre de 2018) se procedió a tomar muestras de la biomasa aérea del mismo. Se encontró diferencias estadísticas significativas del tratamiento de efluente superando al resto de los tratamientos. Sin embargo entre las dosis de N 30 y N 60 de urea no hubo diferencias significativas (Fig.2). A los 374 días de la siembra del centeno, es decir, momento de la cosecha del maíz (abril de 2019) se procedió a la toma de muestras de los residuos remanentes en superficie del centeno. En la Figura 2 observamos que no hubo diferencias estadísticas entre los cuatro tratamientos analizados. Esto demuestra que la fertilización con urea y efluente no propició una mayor descomposición de la biomasa aérea de centeno. Los valores de MS aérea del centeno en el primer muestreo fueron de 2956 kg ha^{-1} y 6466 kg ha^{-1} para los tratamientos testigo y efluente respectivamente. Los datos de MS del residuo del centeno obtenidos en el último muestreo son de 1322 kg ha^{-1} en la dosis de N 30 y 1078 kg ha^{-1} en el tratamiento de efluente.

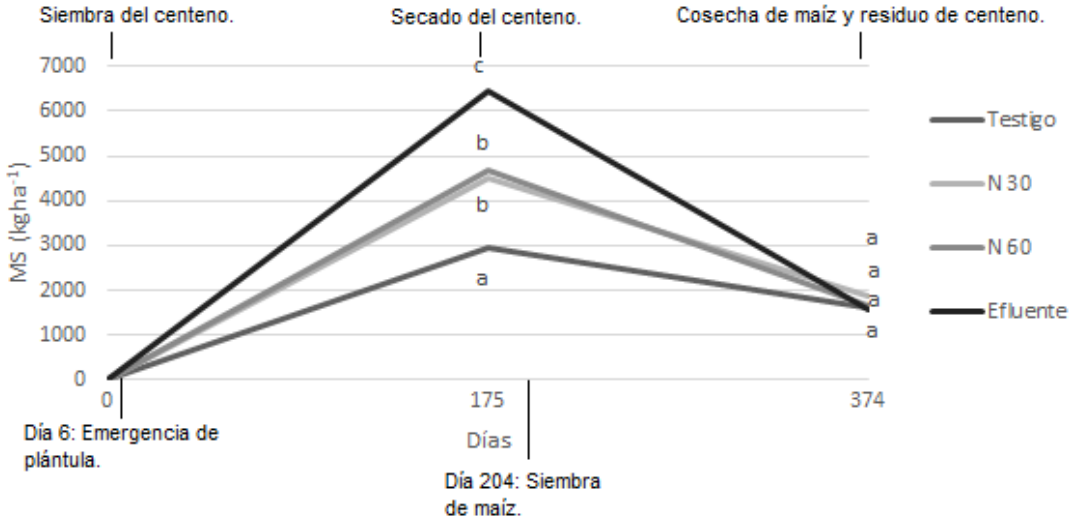

Figura 2: Materia seca de centeno a los 175 y 374 días posteriores a su siembra en los tratamientos testigo, dosis de N 30, dosis de N 60 y efluente.

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Discusión

En el Entisol arenoso franco sobre el que se llevó a cabo la experiencia se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la producción de biomasa tanto para el cultivo de centeno como en el maíz. Además esta importante diferencia también se vio reflejada en el número de macollos por planta, en ambos casos siendo mayor en las parcelas tratadas con efluente. Estas diferencias se deben a que el mismo no solo contiene concentraciones óptimas de nitrógeno y fósforo (esenciales para las plantas) sino también de otros nutrientes que favorecen el desarrollo de los cultivos. Según un estudio realizado por García (2001), en la zona del sudeste bonaerense las concentraciones mínimas de nitrógeno para cultivo de maíz son de 15-25 ppm y de fósforo 20-25 ppm. Para la producción de centeno se requieren 15-20 ppm de fosforo y concentraciones superiores a 20 ppm de nitrógeno (Duggan *et al*., 1998).

Tanto en la producción de biomasa de maíz como de centeno se registraron diferencias significativas entre las parcelas con aplicación de efluentes y el testigo. Mientras que las parcelas con aplicación de urea mostraron un comportamiento intermedio.

Si observamos el pH del suelo vemos que el mismo tiende a ser neutro, favoreciendo el desarrollo de los cultivos. Tanto el pH actual, potencial como el hidrolítico no mostraron variaciones significativas con el aporte del efluente. Esto pudo deberse a que el suelo al tener un pH de 6, en el complejo de intercambio catiónico (CIC) predominan principalmente el Ca, Mg y K (Cátedra de Edafología y Manejo del Suelo, 2018). Teniendo en cuenta las características químicas del efluente, éste aporta una cantidad importante de bases las cuales se incorporan al complejo manteniendo sin grandes modificaciones, la solución del suelo. Esto se debería a que la alimentación del ganado contiene grandes cantidades de biomoléculas que no aportan Al o Fe los cuales podrían llevar a la acidificación del suelo de estar presentes en el efluente. Estudios han determinado que la aplicación de dosis elevadas de efluente podría incrementar la salinidad edáfica, elevar el pH y aumentar las concentraciones de nitratos, amonio, entre otros afectando la germinación y emergencia de los cultivos (Sosa, 2005). Por esta razón es importante una aplicación moderada del mismo.

La conductividad eléctrica del suelo depende principalmente de las altas concentraciones de sales como es el caso de sodio (Na), sulfatos (SO_4) y carbonatos (CO_3) (Cátedra de Edafología y Manejo del Suelo, 2018). Diversos estudios han determinado que el riego es una de las causas del aumento de la salinidad en los suelo, principalmente cuando las concentraciones de Na superan a las de Ca y Mg (Bosch Mayol *et al*., 2012). Si observamos

las características químicas del efluente, el mismo no posee altas concentraciones de Na, y las dosis utilizadas (5 mm de lámina) resultan muy bajas y representan un aporte despreciable de sales que se diluyen con el aporte de las precipitaciones. Por ello la CE del suelo tampoco fue modificada de manera significativa.

En cuanto al P, existen diferencias significativas en los primeros 5 cm de suelo debido a que el efluente le aporta al mismo cantidades importantes de este macroelemento. A mayor profundidad (5-10 y 10-15 cm) las diferencias en el contenido de P resultaron no significativas.

Consideraciones finales

Actualmente el sistema de producción agrícola-ganadera de Argentina está llevando a un marcado deterioro de los suelos. Por un lado vemos como los establecimientos de feed lot, tambos y frigoríficos generan grandes volúmenes de pasivos ambientales provocando contaminación de suelos, capas freáticas, malos olores, entre otros. Por otro lado el sistema agrícola se está intensificando degradando las propiedades físicas y químicas de los suelos (de la Fuente *et al.*, 2008). Frente a estas problemáticas y a la creciente concientización medioambiental de las personas se están llevando a cabo numerosas investigaciones con el fin de plantear alternativas amigables con el ambiente.

Por medio de esta investigación podemos concluir que producir no siempre tiene costos ambientales negativos. Para esto se deben controlar los sistemas de producción ganaderos intensivos con el fin de minimizar posibles daños ambientales y aprovechar estos residuos para una producción agrícola eficiente. Este aprovechamiento no solo disminuye el impacto ambiental sino que también favorece la economía de los productores, ya que los costos en fertilización son elevados. Además hay que tener en cuenta que las fertilizaciones normalmente son nitrogenada o fosforada mientras que mediante la utilización de los efluentes se le provee a las plantas de otros macro y micronutrientes que conjuntamente favorecen aún más el rendimiento. Esta contribución además se traduce en una mayor eficiencia del uso del agua, principal limitante de los sistemas de producción de los sistemas semiáridos.

Como fue mencionado anteriormente, la utilización de efluentes de tambo como abono orgánico en cultivos cuenta con beneficios ambientales y económicos. Sin embargo es importante tener en cuenta el volumen de efluente y la frecuencia a aplicar ya que a mediano o largo plazo podría generar cambios químicos en el suelo como por ejemplo el aumento de P. Es muy importante realizar análisis en el suelo para evitar posibles daños en el mismo debido a la posible acumulación de efectos.

Referencias bibliográficas

- Alvarez, C., Quiroga, A., Santos, D., & Bodrero, M. Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Ediciones INTA- 2012
- Baigorria, T., & Cazorla, C. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXII Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo, 4
- Beegle, D. B., Carton, O. T., & Bailey, J.S. 2000. Nutrient Management Planning: Justification, Theory, Practice. Journal of Environmental Quality 29:72-79
- Bosch Mayol, M., Costa, J. L., Cabria, F. N., & Aparicio, V. C. 2012. Relationship between spatial variability of electrical conductivity and soil sodium content . *Ciencia Del Suelo*, *30*(2), 95–105
- Carbó, L.I., 2011. "Balances de nutrientes como herramienta para estimar el potencial para el reciclado de los efluentes de tambo en recursos forrajeros". Tesis de la Especialidad en Manejo de Sistemas Pastoriles Facultad de Agronomía – UBA. http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2011carbolornaileana.pdf
- Cátedra de Edafología y Manejo del Suelo. 2018. Guía de Trabajos Prácticos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNLPam
- Charlón, V., Taverna. M. A.; Panigatti, C.; & Gaggiotti, M. 2000. Cuantificación y caracterización de los efluentes generados en instalaciones de ordeño. EEA Rafaela. INTA. Rafaela, Santa Fe. AR
- Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 1987. Río de Janeiro, Brasil
- De la Fuente, E. B., & Suarez, S. A. 2008. Environmental problems related to human activities: agriculture TT. *Ecologia Austral*, *18*(3), 239–252
- Diez, M. 2009. Respuesta del maíz a la aplicación de efluentes de tambo en Entisoles y Molisoles de la planicie medanosa. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNLPam
- Di Rienzo, J. A. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G. G., González, L., Tablada, M., Robledo, C. W. W., & Robledo, C. W. W. 2017. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Duggan, M.T., & Melgar, R. 1998. Manejo de la Fetilización en Verdeos Invernales. INTA. Vol 1, número 1. 16 pg
- García, F. O. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. Buenos Aires
- Herrero, M. A., Gil, S. B., Sardi, G. M., Flores, M. C., Carbó, L. I., & Orlando, A. A. 2006. Transferencia de nutrientes del área de pastoreo a la de ordeño, en tambos semiextensivos en Buenos Aires, Argentina. Área de Bioestadística, Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA
- Miner, J. R., Humenik, F. J., & Overchash, M. R. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318
- OCLA. Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. 2018. http://www.ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=6#
- Pereyra, A. V., Pol, M.; Catracchia, C. G., Flores, M.; & Herrero, M. A. 2007. Efecto del riego con efluentes sobre el comportamiento en pastoreo de vacas lecheras. *Fac. de Cs. Veterinarias (UBA)*, *9*(1), 137–144
- Quiroga, A., Funaro, D., Fernandez, R., & Noellemeyer, E. 2005. Soil and management factors that condition fallow efficiency in the Pampa Region | Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. Ciencia Del

Suelo, 23(1), 79–86. Retrieved from http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33745646043&partnerID=MN8TOARS
- Ruffo, M. L., & Parsons, A. T. 2004. Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. Universidad de Illinois, EE.UU. Estudio Cazenave y Asociados, Argentina
- Scherger, E., Frasier, I., Oderiz, J. A., Uhaldegaray, M., Fernández, R., & Quiroga, A. 2017. Efectos del uso de efluentes de tambo sobre la productividad física del agua en maíz para silo. III jornadas nacionales de suelos de ambientes semiáridos y II taller nacional de cartografía digital. Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos, Facultad de Agronomía, UNLPam
- Sosa, O. 2005. Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario
- Taberna, M., & Charlón, V. 1999. Manejo de efluentes en el tambo, Seminario Manejo Integral del Agua en Predios Lecheros
-Taverna, M., Charlón, V., Panigatti, C., Castillo, A., Serrano, P., & Giordano, J. 2002. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Edición Estación Experimental Agropecuaria Rafaela
-Taverna, M., Charlón, V., Panigatti, C., Castillo, A., Serrano, P., & Giordano, J. 2004. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Una contribución al logro de ambientes locales sanos. Ediciones INTA. Rafaela, Santa Fé
- Upton, M. 1997. Intensification or extensification: whitch has the lowest environmental burden? WAR/RMZ. N° 88. FAO. Roma, Italia
- Viglizzo, E. F., Carreño, L. V., Pereyra, H., Ricard, F., Clatt, J., & Pincén, D. 2010. En: Viglizzo, E., Jobbagy, E (Ed). Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto ecológico-ambiental. Buenos Aires, Edición INTA. Cap 1:9-16