

# Evaluación de alternativas de manejo de efluentes de tambos para contribuir al logro del plan de acción del PNA-Agro y las metas de la NDC de Uruguay



## CIRCULARIDAD DE NUTRIENTES EN PRODUCCIÓN DE LECHE EN URUGUAY

Sistemas de gestión de efluentes de tambo implementados por la academia y evaluados en un proyecto multi-institucional: estudio de casos

Reporte de resultados

Enero 2021

Ing. Agr. Marcela Rodríguez Cerchi



## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción .....   | 1  |
| 2. Marco Conceptual .....   | 1  |
| 3. Objetivo del proyecto.....   | 2  |
| 4. Descripción de los sistemas de gestión de efluentes en tambos (SGET) ..... | 3  |
| 5. Metodología .....  | 8  |
| 6. Resultados y discusión .....   | 10 |
| 6.1 EEMAC .....   | 11 |
| 6.1.1 Suelo.....  | 11 |
| 6.1.2 Efluente .....  | 13 |
| 6.1.3 Planta.....   | 14 |
| 6.1.4 Aspectos sanitarios.....  | 18 |
| 6.2 INIA LE .....   | 19 |
| 6.2.1 Suelo.....  | 19 |
| 6.2.2 Efluente .....  | 20 |
| 6.2.3 Planta.....   | 21 |
| 6.2.4 Aspectos sanitarios.....  | 23 |
| 6.3 UTU-UTEC.....   | 23 |
| 6.3.1 Suelo.....  | 23 |
| 6.3.2 Efluente .....  | 25 |
| 6.3.3 Planta.....   | 26 |
| 6.3.4 Aspectos sanitarios.....  | 27 |
| 6.4 FACULTAD DE VETERINARIA.....  | 27 |
| 6.4.1 Suelo.....  | 27 |
| 6.4.2 Efluente .....  | 28 |
| 6.4.3 Aspectos sanitarios.....  | 29 |
| 6.5 IMPACTO AMBIENTAL .....   | 29 |
| 6.5.1 Emisiones y Potencial de eutrofización.....                             | 30 |
| 6.5.2 Balance de nutrientes .....   | 31 |
| 7. Conclusiones.....  | 33 |
| 8. Anexos .....   | 34 |
| 8.1 Anexo 1.....  | 34 |
| 8.2 Anexo 2.....  | 34 |
| 9. Bibliografía .....   | 37 |

## Índice de figuras y gráficos

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Esquema del funcionamiento del SGET de un tambo que aplica el paradigma de la Economía Circular. Objetivos del diseño (extraído de Informe de Avance 2020-Biovalor).....        | 2  |
| Figura 2. SGET en tambo de la Escuela Superior de Lechería, UTU-Utec, Colonia Suiza.....  | 5  |
| Figura 3. SGET en INIA La Estanzuela, Colonia.....  | 6  |
| Figura 4. SGET en Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Paysandú.....  | 7  |
| Figura 5. SGET en Campo Experimental N°2, Facultad de Veterinaria, San José.....  | 8  |
| Figura 6. Efecto residual de la aplicación de la fracción sólida en potrero 24, en plantas de festuca de 1er año, en EEMAC.....   | 16 |
| Gráfico 1. Tasa de crecimiento según tratamiento expresada en Kg de materia seca por hectárea por día, en EEMAC.....  | 17 |
| Gráfico 2. Producción total acumulada de materia seca para la mezcla de raigrás y avena evaluada, en EEMAC.....   | 17 |
| Gráfico 3. Respuesta productiva y aplicaciones de efluente en chacras con mezcla de raigrás/avena para el período abril-setiembre 2020, en Kg de materia seca por hectárea, en EEMAC..... | 18 |
| Gráfico 4. Respuesta vegetal anual en toneladas de Kg MS/ha respecto a la aplicación de líquido y sólido, en INIA LE.....   | 23 |
| Gráfico 5. Respuesta vegetal mensual expresada en Kg MS/ha en primavera 2020, en UTU-Utec.....  | 27 |
| Gráfico 6. Emisión anual de GEI (Kg de CO <sub>2</sub> equivalente/vaca en ordeño), según institución.....  | 30 |
| Gráfico 7. Potencial de eutrofización anual (Kg de PO <sub>4</sub> equivalente/vaca en ordeño), según institución.....  | 31 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Caracterización de los tambos experimentales y sus SGET.....   | 4  |
| Tabla 2. Resultados de análisis de suelo en chacra aplicada con fracción sólida y testigo, respectivamente para 2019 y 2020 en EEMAC..... | 11 |
| Tabla 3. Análisis de suelo de la chacra tratada con sólido y su testigo, para el año 2020, en EEMAC.....                                  | 12 |
| Tabla 4. Resultados analíticos de la línea de base para la futura aplicación del material de la cama caliente, en EEMAC.....              | 12 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 5. Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción líquida y testigo, respectivamente, para los años 2019 y 2020, en EEMAC.....                      | 13 |
| Tabla 6. Resultados analíticos de composición de las fracciones líquida, según estación del año, en EEMAC.....   | 13 |
| Tabla 7. Resultados analíticos del material de la cama caliente, primavera 2020, en EEMAC, incluyendo el material de cama caliente.....                                    | 14 |
| Tabla 8. Resultados de composición de la matriz planta, período marzo 2019-diciembre 2020, en EEMAC.....   | 15 |
| Tabla 9. Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción líquida y testigo, respectivamente, para los años 2019 y 2020, en INIA LE.....                    | 19 |
| Tabla 10. Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción sólida y testigo, respectivamente, para los años 2019 y 2020, en INIA LE.....                    | 20 |
| Tabla 11. Composición química de la fracción líquida del efluente según momento de muestreo, en INIA LE.....   | 21 |
| Tabla 12. Composición química de la fracción sólida del efluente según momento de muestreo, en INIA LE.....  | 21 |
| Tabla 13. Resultados de composición de la matriz planta, período marzo 2019-noviembre 2020, en INIA LE.....  | 21 |
| Tabla N°14. Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción líquida y su testigo, respectivamente para 2019 y 2020, en UTU-UTEC.....                       | 24 |
| Tabla N°15. Resultados analíticos de la línea de base para la futura aplicación de la fracción sólida en 2021, en UTU-UTEC.....  | 24 |
| Tabla N°16. Composición química de la fracción líquida, según estación del año, en UTU-UTEC.....   | 25 |
| Tabla N°17. Composición química de la fracción sólida, según estación del año, en UTU-UTEC.....  | 25 |
| Tabla N°18. Resultados de composición de la matriz planta, según estación del año, en UTU-UTEC.....  | 26 |
| Tabla N°19. Análisis de suelo estratificado de la chacra aplicada con fracción sólida y su testigo, en FVet.....   | 28 |
| Tabla N°20. Composición química de la fracción líquida, primavera 2020, en FVet.....   | 28 |
| Tabla N°21. Composición química de la fracción sólida, según estación del año, en FVet.....  | 29 |
| Tabla N°22. Balance de nutrientes (N, P y K) y eficiencia de uso de cada macronutriente según caso de estudio para el primer año de proyecto (marzo 2019-febrero2020)..... | 32 |
| Tabla N°23. Balance de nutrientes (N, P y K) y eficiencia de uso de cada macronutriente según caso de estudio para el segundo año de proyecto (enero-diciembre 2020).....  | 32 |

## 1. Introducción

Dando continuidad al proyecto “Circularidad de Nutrientes en tambos”, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) apoya la ejecución durante el período octubre 2020 a enero 2021, con fondos del Programa Global de Integración de la Agricultura en los Planes Nacionales de Adaptación (NAP-Ag). El programa financia las consultorías de profesionales calificados y el procesamiento analítico de las muestras necesarias. Con esto, se generan insumos para los reportes de las metas nacionales de la Contribución Nacional determinada al acuerdo de París. No obstante esto, dichos insumos también contribuyen a la promoción de correctos sistemas de gestión de efluentes en tambos (SGET), lo que se alinea al Plan de Acción 2025 del Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y Cambio Climático para el sector Agropecuario (PNA-Agro<sup>1</sup>) en Uruguay. De esta forma se colabora en la implementación efectiva de la Contribución Determinada a Nivel Nacional actual y al mismo tiempo supone sumar eviencia para las discusiones sobre cómo aumentar la ambición en un futuro.

Este informe pretende mostrar los resultados obtenidos hasta el momento en este proyecto de investigación multi-institucional y multi-disciplinario, el cual aspira evaluar el impacto agronómico, productivo, ambiental y económico, que implica la correcta implementación de un SGET. Se considera al SGET como una forma de maximizar la circularidad de nutrientes dentro del sistema tambo y por ende se alinea a los conceptos que rige la economía circular. Cabe señalar que este proyecto fue impulsado inicialmente por el Ministerio de Ganadería y apoyado por Biovalor, donde se incorporaron gradualmente las demás instituciones, entre ellas el Instituto Nacional de la Leche (INALE), entidad que mediante su rol articulador, permitirá dar continuidad durante su último año de ejecución.

Tomando como referencia el informe de avance referente al proyecto, elaborado por quien suscribe (Proyecto Biovalor<sup>2</sup>), durante el primer año de investigación, se presenta en este trabajo una breve descripción de la temática, los objetivos y metodología aplicada en el proyecto, descripción breve de los distintos SGET implementados y los resultados obtenidos desde el comienzo hasta el presente, y por último algunas conclusiones y comentarios finales.

Respecto al análisis económico, ya sea en términos de las inversiones comprometidas y los gastos asociados al mantenimiento y operativa de cada SGET, se presenta un informe específico de Costo-Beneficio, elaborado en la misma orbita que el que aquí se expide, elaborado por el Ec. Guillermo Sena. Por este motivo, se excluye de este trabajo lo relacionado al área económica.

## 2. Marco Conceptual

Para analizar el impacto de la actividad productiva de la lechería con un enfoque ecosistémico, es importante asumir que el reciclaje de nutrientes debe mantenerse como eje conceptual preponderante. La re-utilización de nutrientes provoca la disminución del aporte desde fuentes externas y en consecuencia reduce el impacto ambiental negativo intrínseco de la actividad productiva. La misma debe procurar ser sostenible en el tiempo y conservar e incluso mejorar los recursos naturales involucrados en los procesos. Cuantificando las entradas y salidas de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en el sistema tambo con su área de influencia, se logra determinar el grado de “equilibrio” existente, además de orientar acerca de potenciales fuentes de contaminación originadas por un desbalance de alguno de estos nutrientes. En la figura 1 se muestra en forma esquemática el flujo de nutrientes aplicando los conceptos de la economía circular en un SGET.

<sup>1</sup> [https://www.uy.undp.org/content/uruguay/es/home/library/environment\\_energy/PNA-Agro\\_Uruguay.html](https://www.uy.undp.org/content/uruguay/es/home/library/environment_energy/PNA-Agro_Uruguay.html)

<sup>2</sup> <https://biovalor.gub.uy/>

**Figura 1.** Esquema del funcionamiento del SGET de un tambo que aplica el paradigma de la Economía Circular. Objetivos del diseño (extraído de Informe de Avance 2020-Biovalor).



Fuente: Ing. Agr. Marcela Rodriguez (2020)

### 3. Objetivo del proyecto

Este proyecto de investigación evalúa la implementación de diferentes SGET, en términos de cómo impacta agrónomica, productiva y ambientalmente en el sistema de producción.

En lo que refiere al impacto agronómico-productivo, se analizan las respuestas en el sistema suelo-planta, cuantificando el impacto en las matrices definidas: suelo, efluente líquido y fracción sólida, así como de la matriz planta. Además, evalúa el componente sanitario de ambas fracciones del efluente considerando las características y condiciones particulares de cada sistema. Se determina el balance de nutrientes para cada caso de estudio, con el objetivo de cuantificar los ingresos y pérdidas permitiendo identificar las posibles fuentes de contaminación, así como el grado de eficiencia en la utilización de cada macronutriente. Respecto al impacto ambiental, el proyecto tiene como objetivo adicional, determinar los parámetros de calentamiento global y potencial de eutrofización para cada tambo, otorgando información de calidad para nuestras condiciones locales, en las nuevas condiciones de funcionamiento en lo que refiere a la correcta implementación de cada SGET.

La información generada podrá bien utilizarse como insumo para la elaboración de normas nacionales, como para mejorar los sistemas productivos lecheros a nivel público y privado, así como incorporar el conocimiento a los planes de estudio del nivel terciario.

#### **4. Descripción de los sistemas de gestión de efluentes en tambos (SGET)**

Haciendo referencia al informe de avance elaborado y publicado por Biovalor, los SGET evaluados fueron diseñados e implementados con el objetivo de maximizar el reciclaje de nutrientes y ser sostenibles en términos productivos, ambientales, sociales y económicos. En la Tabla 1 se señalan las principales características de cada uno de los 5 tambos y de sus SGET, operativos desde el comienzo del proyecto, con excepción en FVet donde se comenzó a operar sobre fines del 2020 y CRS que aún está pendiente de realizar las obras civiles necesarias.

La elaboración de los proyectos técnicos y ejecutivos asociados a las obras e implementación de los distintos SGET, fueron realizados por:

- ✳ INIA LE Estanzuela (INIA LE) y Facultad de Veterinaria (FVet): Tambo Sustentable (Conaprole)
- ✳ EEMAC (Facultad de Agronomía-UdelaR): Empresa GEA
- ✳ Escuela Superior de Lechería Colonia Suiza (UTU-UTEC) y Centro Regional Sur (CRS-Facultad de Agronomía-UdelaR): Ing. Agr. Marcela Rodríguez (Proyecto Biovalor)

Los 5 diseños respetan los criterios agronómicos y ambientales establecidos por la institucionalidad nacional de referencia vigente:

- ✳ desvían del SGET las aguas limpias de pluviales
- ✳ capturan la totalidad del efluente generado
- ✳ separan la fracción mineral y posteriormente la fracción sólida orgánica
- ✳ prevén la aplicación a terreno de las fracciones líquida y sólida del efluente en forma controlada, aplicando criterios agronómicos y ambientales, atendiendo las condiciones edafo-climáticas y requerimientos del cultivo.

**Tabla 1.** Caracterización de los tambos experimentales y sus SGET (actualizado a partir de Informe de avance 2020-Biovalor)

| TAMBO  | UTU-UTEC                          | INIA LE  | FVet  | EEMAC                             | CRS                                     |
|--|-----------------------------------|--|---|-----------------------------------|---|
| Propietario                                      | CETP - UTU                        | INIA Uruguay                                   | Facultad de Veterinaria - UdelaR                          | Facultad de Agronomía - UdelaR    |   |
| Departamento                                     | Colonia                           |  | San José  | Paysandú                          | Canelones                               |
| Sistema de ordeño                                | Espina de pescado                 | Voluntario                                     | Espina de pescado   |                                   |   |
| Manejo del rodeo (alimentación)                  | Pastoril a cielo abierto          |  |   | Semi-confinado (cama caliente)    | Pastoril a cielo abierto                |
| Máximo de vacas en ordeño                        | 70                                | 97   | 185   | 130                               | 190                                     |
| Nº de VO/órgano                                  | 8                                 | Ordeño voluntario                              | 15  | 13                                | 16                                      |
| Patio de alimentación (PA)                       | No                                | Sí, piso compactado (para evitar infiltración) | Sí, piso hormigonado (para evitar infiltración)           | No                                | Sí, piso hormigonado                    |
| SGET ¿abarca efluentes de PA?                    | -                                 | PA en proceso de construcción                  | Sí  | -                                 | No, pero está previsto incluirlo        |
| Sistema de limpieza PA                           | -                                 | Está previsto sea con lavado por inundación    | Barrido en seco, pero está previsto lavado por inundación | -                                 | Barrido en seco                         |
| Sistema de limpieza corral de espera             | Limpieza con agua presurizada     |  |   |                                   |   |
| Efluentes gestionados en los nuevos SGET         | Sala de ordeño + Corral de espera | Sala de ordeño + Corral de espera + PA         |   | Sala de ordeño + Corral de espera | Sala de ordeño + Corral de espera + PA  |
| Re-utilización para lavado Corral de espera /PA  | No                                |  | No, pero está previsto a futuro                           |                                   | No                                      |
| Gasto de agua (lts/VO/día)                       | 30 estimados                      | 30 estimados                                   | 50 proyectados  | 30 estimados                      | 50 estimados                            |
| Desarenador (trampa de arena)                    | 1                                 | 1  | 1   | 1                                 | 1 que incluye sólidos orgánicos         |
| Sistema de separación de sólidos orgánicos       | Decantador pasivo                 | Extrusora tipo tornillo                        | Extrusora tipo tornillo                                   | Extrusora tipo pantalla           | -                                       |
| Laguna acopio impermeable                        | 3 (pre-existent)                  | 1  | 1   | 1                                 | 2 (pre-existent)                        |
| Equipo de aplicación a campo de efluente líquido | Cañón móvil autopropulsado        |  |   |                                   | Cañón móvil autopropulsado (a adquirir) |

En las figuras 2, 3, 4 y 5 pueden apreciarse los componentes de cada SGET. Actualmente todos se encuentran operativos, siendo el de FVet el último en implementar el componente de aplicación del efluente por aspersión, con cañón autopropulsado, en el mes de enero de 2021. Aún se están realizando obras necesarias para la instalación del sistema de re-utilización del efluente que destinará al lavado del corral de espera y el patio de alimentación.

Es importante mencionar que esta caracterización si bien incluye el tambo del (CRS) de Facultad de Agronomía de la UdelaR, donde resta concretar algunas mejoras del nuevo SGET, su participación en el proyecto ha sido parcial y únicamente durante el primer año del proyecto. Su SGET no logró implementarse, por este motivo queda excluido del análisis de este trabajo.

**Figura 2.** SGET en tambo de la Escuela Superior de Lechería, UTU-UTEC, Colonia Suiza: a) Desarenador o trampa de arena con rampa para limpieza mediante tractor con pala, b) Separador de sólidos pasivo y bunker de acopio de sólidos, ambos con acceso rampa, c) Sistema de bombeo en 3er pileta de acumulación pre-existente, d) Aplicación a terreno con irrigador autopropulsado (cañón móvil).

a)



b)



c)



d)



Fuente: Ing. Agr. Marcela Rodríguez (2019)

**Figura 3.** SGET en INIA La Estanzuela, Colonia. a) desarenador con rampa, b) pozo de bombeo con revolventor mecánico y bomba estercolera, c) separador de sólidos mecánico (extrusora), d) pileta de acumulación nueva impermeabilizada y f) aplicación a terreno con irrigador autopropulsado (cañón móvil).

a)



b)



c)



d)



e)



Fuente: Ing. Agr. Marcela Rodríguez (2020)

**Figura 4.** SGET en Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Paysandú. a) desarenador con acceso rampa, b) pozo de bombeo con revolventor mecánico y bomba estercolera, c) separador de sólidos mecánico (pantalla tamiz), bunker de acopio de sólidos y d) irrigador autopropulsado (cañón móvil).

a)



b)



c)



d)



Fuente: Ing. Agr. Marcela Rodríguez (2020)

**Figura 5.** SGET en Campo Experimental N°2, Facultad de Veterinaria, San José. a) recolección en patio de alimentación y posterior separación, b) pozo de bombeo con revolvedor mecánico y bomba estercolera, c) separador de sólidos mecánico (extrusora) y d) pileta de almacenamiento impermeabilizada.

a)



b)



c)



d)



Fuente: Ing. Agr. Guillermo Rodríguez (2020)

## 5. Metodología

Debido a que se evalúan 4 sistemas de producción diferentes, tanto en términos de sus recursos naturales, como de infraestructura y humanos, este trabajo se considera un “estudio de casos” y por ende los resultados finales carecen de validez estadística.

Se evalúan aspectos agronómicos, productivos, ambientales y sanitarios. Los efluentes se aplican, como ya fuera mencionado, en las chacras seleccionadas siguiendo criterios agronómicos, pudiendo o no, según el caso, existir fertilización mineral complementaria.

Se definieron 3 matrices de estudio: suelo, planta y efluente (fracción líquida y sólida por separado). Los parámetros a analizar en cada matriz se especificaron en consenso entre los diferentes actores involucrados y se mostraron en su correspondiente capítulo. La metodología para evaluar el impacto agronómico productivo fue, según matriz, la siguiente:

- ✳ Suelo: se realiza el seguimiento en suelo y planta en aquellas chacras tratadas con efluente (fracción líquida y sólida). En suelos se consideran 3 estratos: 0 - 2,5cm, 2,5 - 7,5cm y 7,5 - 15cm. Se tomaron muestras al inicio del ensayo (línea de base) y luego anualmente, preferentemente en otoño, en las chacras testigo y tratadas con ambas fracciones de efluente. La caracterización general de tipos de suelo predominante y número de chacras evaluadas según institución, pueden apreciarse en el Anexo 1, mientras que los croquis con las ubicaciones correspondientes se presentan en el Anexo 2. Ambos han sido actualizados a partir del Informe de Avance-Biovalor (2020). Los parámetros analizados fueron: nitrógeno total, fósforo total, conductividad, fósforo Bray I, potasio intercambiable, pH, materia orgánica, calcio, magnesio, sodio intercambiable, acidez titulable, capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases totales, saturación de bases, azufre, zinc y boro.
- ✳ Planta: los muestreos de plantas se realizaron previo a cada pastoreo determinando el contenido de materia seca (muestra compuesta). Una vez alcanzadas “n” muestras correspondientes a una estación del año y conservadas en freezer, se analizó composición de ese “pool” de muestras. En los casos donde el tratamiento se realice sobre un cultivo, se analizó una sola muestra compuesta en momento post-cosecha. La respuesta vegetal en términos de producción se cuantificó en cultivos y pasturas mediante la determinación de los Kg de materia seca y en algunos casos también mediante la tasa de crecimiento diaria. Los parámetros analizados fueron: materia seca, nitrógeno total, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, boro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno.
- ✳ Efluente: ambas fracciones del efluente, líquido y sólido por separado, se muestrearon previo o durante la aplicación a terreno. Los análisis de composición se realizaron a cada muestra compuesta, comprendiendo un “pool” de sub-muestras correspondiente a cada estación del año. Los parámetros analizados fueron: fósforo total, fosfato, nitrógeno total, materia orgánica, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, sólidos sedimentables, calcio, magnesio, demanda química de oxígeno (DQO) y potasio para la fracción líquida, mientras que para la sólida fueron: fósforo total, nitrógeno total, potasio, sólidos totales, materia orgánica, pH, calcio, magnesio, sulfato, zinc, boro, cobre, molibdeno y manganeso.

Para evaluar el impacto ambiental se emplearon dos metodologías:

1) Balance de macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio, que además aportarán información de utilidad en términos productivos, del tipo “Farm Gate Budget” propuesta por Oborn *et al.* (2003) a nivel predial, validada para las condiciones de predios lecheros de Uruguay por La Manna *et al.* (2008). Permite conocer el flujo de nutrientes dentro del sistema productivo e identificar prácticas de manejo con el fin de mejorar la eficiencia en términos del uso de estos nutrientes y por ende mitigar el impacto ambiental que genera la actividad productiva.

2) Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y potencial de eutrofización, mediante la utilización del instrumento desarrollado por el Ing. Quím. Victor Emmer del Proyecto Biovalor, denominado Estimación de emisiones en los sistemas de gestión de efluentes de establecimiento lecheros (2020). Dicho instrumento o herramienta aplicada, estima dichos parámetros a partir de la información física, productiva y operacional, específica para cada tambo. Incorpora variables que inciden en la determinación del tipo y cantidad de efluente que se genera en cada caso.

- ✳ GEI (gases de efecto invernadero): se considera la cuantificación estimada de los gases CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> atendiendo los valores técnicos nacionales de referencia y expresado

en CO<sub>2</sub> equivalente anual. Se contempla además en cada caso de estudio las variables en términos de producción y manejo correspondientes. Respecto a las emisiones específicas contempladas en los cálculos del simulador utilizado se consideran:

- Emisiones de CH<sub>4</sub> por metanización
- Emisiones directas de N<sub>2</sub>O por nitrificación y desnitrificación
- Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización y lixiviación de N
- Emisiones asociadas al uso de energía fósil (quema de gasoil) destinada a tareas de limpieza de estructuras que conforman un SGET o bien durante las aplicaciones de cada fracción del efluente (líquido y sólido), sin contabilizar las de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O debido a su insignificante aporte.
- Emisiones asociadas al uso de energía eléctrica durante la separación mecánica o de equipos de bombeo y revolador mecanizado.
- Emisiones asociadas a la sustitución de fertilizantes

✳ Potencial de Eutrofización: se considera el aporte de fósforo, nitrógeno y demanda química de oxígeno (DQO), expresando su valor en Kg de fosfato equivalente (PO<sub>4</sub>) que potencialmente contamina un ecosistema. Para la estimación de este valor se contempla, según el caso las siguientes emisiones:

- Emisiones de N mediante lixiviación, volatilización e infiltración
- Emisiones de P mediante lixiviación e infiltración
- Emisiones de DQO mediante lixiviación e infiltración
- Emisiones asociadas a la sustitución de fertilizantes

En lo que respecta a la evaluación del impacto en términos sanitarios, los parámetros analizados fueron: parásitos gastrointestinales pulmonares y microorganismos indicadores. Estos últimos se definen como aquellos que comparten características de crecimiento (pH, temperatura, formación de esporas) con la mayoría de los agentes patógenos. Se cuantificó coliformes totales y fecales, siendo estos últimos los que en términos epidemiológicos indican en mejor forma el nivel de riesgo sanitario. Los métodos de determinación fueron: flotación y sedimentación para los parásitos y membrana filtrante para coliformes. La evaluación implica analizar ambas fracciones del efluente, previo o durante la aplicación a terreno. Para el caso de la fracción líquida se trata de una sola muestra, mientras que la fracción sólida se compone de 4 sub-muestras obtenidas de diferentes sitios de la pila de estiércol: arriba, medio y abajo, más una cuarta sub-muestra donde se mezcla una porción de las anteriores.

## **6. Resultados y discusión**

Considerando el período desde el inicio de la ejecución del proyecto, el cual abarca desde marzo 2019 a diciembre 2020, se muestran y analizan los resultados obtenidos hasta el momento. Dado que el proyecto se desarrolla como un estudio de casos y no como un ensayo de investigación con un diseño experimental apropiado, este capítulo trata de resultados sin validez estadística. Por esta razón, se presentan los resultados de cada institución para las matrices evaluadas: suelo, efluente y planta, así como los aspectos sanitarios. Posteriormente, se muestra lo referente al impacto ambiental y balance de nutrientes, de manera de poder comparar entre las instituciones las posibles ventajas y desventajas, en términos productivos y ambientales.

## 6.1 EEMAC

### 6.1.1 Suelo

En las tablas N°2 y 3 se muestran los resultados analíticos de suelo de las chacras tratadas y testigo para ambas fracciones, según el año y época de muestreo. En la tabla N°4 los resultados de la línea de base del suelo donde se aplicará el próximo otoño el material de la cama caliente.

**Tabla N°2.** Resultados de análisis de suelo en chacra aplicada con fracción sólida y testigo, respectivamente para 2019 y 2020, en EEMAC

| Aplicación fracción sólida 2019-2020 | Potrero       | Potrero 24 |       |            |       |           |       |            |       |           |       |            |       |
|--------------------------------------|---------------|------------|-------|------------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-------|------------|-------|
|                                      | Estrato       | 0-2,5cm    |       |            |       | 2,5-7,5cm |       |            |       | 7,5-15cm  |       |            |       |
|                                      | Muestras      | Oto. 2019  |       | Prim. 2020 |       | Oto. 2019 |       | Prim. 2020 |       | Oto. 2019 |       | Prim. 2020 |       |
|                                      | Parámetro     | Unidad     | Trat. | Test.      | Trat. | Test.     | Trat. | Test.      | Trat. | Test.     | Trat. | Testigo    | Trat. |
| NITROGENO TOTAL                      | (% N total)   | 1,11       | 0,27  | 0.61       | 0.24  | 0,73      | 0,25  | 0.31       | 0.25  | 0,2       | 0,22  | 0.24       | 0.26  |
| FOSFORO TOTAL                        | (ppm P)       | 4565       | 815   | 2646       | 517   | 2543      | 731   | 670        | 438   | 572       | 466   | 1890       | 441   |
| CONDUCTIVIDAD                        | (uS/cm.)      | 662        | 195   | 577        | 94    | 677       | 187   | 285        | 78    | 431       | 171   | 325        | 73    |
| FOSFORO BRAY I (OUA)                 | (ppm P)       | 730        | 133   | 400        | 89    | 526       | 91    | 168        | 58    | 63        | 27    | 358        | 45    |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA)         | (meq.K/100g)  | 4          | 1,6   | 1.90       | 0.64  | 3,5       | 1,08  | 1.30       | 0.68  | 1,8       | 0,59  | 1.40       | 0.56  |
| pH (AGUA)                            | (--)          | 6,6        | 6,2   | 6.8        | 5.8   | 6,7       | 6,2   | 6.7        | 5.6   | 6,6       | 6,6   | 6.7        | 5.6   |
| MATERIA ORGANICA                     | (%)           | 6,6        | 5,5   | 6.2        | 4.2   | 6,3       | 5,2   | 5.6        | 4.2   | 4,5       | 4,3   | 5.6        | 4.4   |
| CALCIO                               | (meq.Ca/100g) | 39,4       | 26,6  | 27.7       | 13.1  | 32,7      | 24,9  | 21.5       | 11.5  | 31,9      | 26,1  | 21.0       | 12.1  |
| MAGNESIO                             | (meq.Mg/100g) | 1,8        | 0,7   | 7.0        | 2.9   | 1,5       | 0,5   | 4.4        | 3.5   | 1         | 0,4   | 5.2        | 2.7   |
| SODIO INTERCAMBIABLE                 | (meq.Na/100g) | 1,5        | 0,5   | 0.4        | 0.2   | 1,7       | 0,6   | 0.4        | 0.2   | 1         | 0,6   | 0.4        | 0.2   |
| ACIDEZ TITULABLE                     | (meq/100 g)   | 3          | 3     | 2.5        | 4.7   | 3         | 2,7   | 2.1        | 4.7   | 2,2       | 2,1   | 3.2        | 4.2   |
| C.I.C.                               | (meq/100 g)   | 49,7       | 32,4  | 39.5       | 21.5  | 42,4      | 29,8  | 29.7       | 20.6  | 37,9      | 29,8  | 31.2       | 19.8  |
| BASES TOTALES                        | (meq/100 g)   | 46         | 29,4  | 37.0       | 16.8  | 39,4      | 27,1  | 27.6       | 15.9  | 35,7      | 27,7  | 28.0       | 15.6  |
| SATURACION DE BASES                  | (%)           | 46,7       | 91    | 94         | 78    | 93        | 91    | 93         | 77    | 94        | 93    | 90         | 79    |
| AZUFRE                               | (ppm S-SO4)   | 101        | 15    | 41         | 24    | 47        | 14    | 15         | 10    | 27        | 12    | 19         | 14    |
| ZINC (MEHLICH 1)                     | (ppm Zn)      | 3,8        | 2     | 44.0       | 1.1   | 1         | 0,4   | 4.7        | 1.2   | 0,7       | 0,7   | 7.5        | 1.1   |
| BORO                                 | (ppm B)       | 3          | 0,5   | 1.3        | 0.5   | 1         | 0,4   | 0.8        | 0.7   | 0,8       | 0,7   | 0.6        | 0.5   |

Observando los resultados se puede afirmar un efecto sustancial y positivo en todos los parámetros evaluados, incluso en términos de las relaciones entre los principales cationes como calcio y magnesio con las bases totales (Del Pino, publicación web), además de las relaciones entre el potasio y sodio intercambiables con estas últimas (menores al 10% de las bases totales). Esto implica una mejora que contempla una mayor presencia de nutrientes en general, sobre todo en los micronutrientes zinc y boro, una mejora en las propiedades físico-químicas, debido principalmente al aumento del pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases totales.

Los niveles de P Bray I y Potasio intercambiable superan los niveles críticos definidos por Perdomo para diferentes cultivos y para suelos medios a pesados, respectivamente (Perdomo, publicación web "a"). Se sugiere considerar la inclusión de cultivos más extractivos de este nutriente en la rotación y la "cero" aplicación de fertilizante fosfatado.

**Tabla N°3.** Análisis de suelo de la chacra tratada con sólido y su testigo, para el año 2020, en EEMAC

| Aplicación fracción sólida 2020 | Potrero       | Potrero 21 |         |           |           |          |          |
|---------------------------------|---------------|------------|---------|-----------|-----------|----------|----------|
|                                 | Muestréos     | Prim. 2020 |         |           |           |          |          |
|                                 | Estrato       | 0-2,5cm    | 0-2,5cm | 2,5-7,5cm | 2,5-7,5cm | 7,5-15cm | 7,5-15cm |
| Parámetro                       | Unidad        | Trat.      | Test.   | Trat.     | Test.     | Trat.    | Test.    |
| NITROGENO TOTAL                 | (% N total)   | 0.27       | 0.31    | 0.32      | 0.28      | 0.24     | 0.29     |
| FOSFORO TOTAL                   | (ppm P)       | 543        | 693     | 584       | 588       | 455      | 588      |
| CONDUCTIVIDAD                   | (uS/cm.)      | 228        | 313     | 240       | 250       | 190      | 308      |
| FOSFORO BRAY I (OUA)            | (ppm P)       | 63         | 52      | 62        | 31        | 40       | 42       |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA)    | (meq.K/100g)  | 0.63       | 0.56    | 0.67      | 0.61      | 0.53     | 0.54     |
| pH (AGUA)                       | (--)          | 5.5        | 6.8     | 5.5       | 7.0       | 5.5      | 7.0      |
| MATERIA ORGANICA                | (%)           | 4.8        | 5.4     | 5.2       | 4.9       | 4.3      | 5.0      |
| CALCIO                          | (meq.Ca/100g) | 14.8       | 30.0    | 16.7      | 30.0      | 17.6     | 27.1     |
| MAGNESIO                        | (meq.Mg/100g) | 2.7        | 2.6     | 4.2       | 4.1       | 2.2      | 3.7      |
| SODIO INTERCAMBIABLE            | (meq.Na/100g) | 0.2        | 0.1     | 0.3       | 0.3       | 0.3      | 0.2      |
| ACIDEZ TITULABLE                | (meq/100 g)   | 5.4        | 2.4     | 5.8       | 2.0       | 4.9      | 2.6      |
| C.I.C.                          | (meq/100 g)   | 23.7       | 35.7    | 27.7      | 37.0      | 25.5     | 34.1     |
| BASES TOTALES                   | (meq/100 g)   | 18.3       | 33.3    | 21.9      | 35.0      | 20.6     | 31.5     |
| SATURACION DE BASES             | (%)           | 77         | 93      | 79        | 95        | 81       | 92       |
| AZUFRE                          | (ppm S-SO4)   | 15         | 17      | 13        | 20        | 14       | 11       |
| ZINC (MEHLICH 1)                | (ppm Zn)      | 1.9        | 0.8     | 1.3       | 0.7       | 0.9      | 0.6      |
| BORO                            | (ppm B)       | 0.5        | 0.6     | 0.7       | 0.6       | 0.6      | 0.7      |

**Tabla N°4.** Resultados analíticos de la línea de base para la futura aplicación del material de la cama caliente, en EEMAC

| Línea de base 2020 (cama caliente) | Área          | Potrero 23 |           |          |
|------------------------------------|---------------|------------|-----------|----------|
|                                    | Muestréos     | Prim. 2020 |           |          |
|                                    | Estrato       | 0-2,5cm    | 2,5-7,5cm | 7,5-15cm |
| Parámetro                          | Unidad        |            |           |          |
| NITROGENO TOTAL                    | (% N total)   | 0.28       | 0.26      | 0.24     |
| FOSFORO TOTAL                      | (ppm P)       | 545        | 424       | 424      |
| CONDUCTIVIDAD                      | (uS/cm.)      | 269        | 233       | 228      |
| FOSFORO BRAY I (OUA)               | (ppm P)       | 29         | 17        | 12       |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA)       | (meq.K/100g)  | 0.68       | 0.51      | 0.49     |
| pH (AGUA)                          | (--)          | 7.2        | 7.1       | 7.3      |
| MATERIA ORGANICA                   | (%)           | 5.2        | 4.6       | 4.5      |
| CALCIO                             | (meq.Ca/100g) | 28.9       | 31.3      | 32.1     |
| MAGNESIO                           | (meq.Mg/100g) | 4.4        | 4.7       | 4.0      |
| SODIO INTERCAMBIABLE               | (meq.Na/100g) | 0.3        | 0.2       | 0.3      |
| ACIDEZ TITULABLE                   | (meq/100 g)   | 2.1        | 2.1       | 2.0      |
| C.I.C.                             | (meq/100 g)   | 36.4       | 38.8      | 38.9     |
| BASES TOTALES                      | (meq/100 g)   | 34.3       | 36.7      | 36.9     |
| SATURACION DE BASES                | (%)           | 94         | 95        | 95       |
| AZUFRE                             | (ppm S-SO4)   | 13         | 27        | 26       |
| ZINC (MEHLICH 1)                   | (ppm Zn)      | 1.1        | 0.7       | 0.6      |
| BORO                               | (ppm B)       | 0.4        | 0.4       | 0.4      |

Respecto a los resultados de análisis de suelo de las chacras tratadas con efluente y correspondiente testigo, se muestran en el tabla N°5, el cual fue extraído del Informe de Avance (Biovalor, 2020) ya que no se realizaron nuevos muestreos.

**Tabla N°5.** Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción líquida y testigo, respectivamente, para los años 2019 y 2020, en EEMAC

| Suelo con efluente           |               | Potrero 23 |       |           |       |          |       |
|------------------------------|---------------|------------|-------|-----------|-------|----------|-------|
|                              |               | 2019       | 2020  | 2019      | 2020  | 2019     | 2020  |
|                              | Estrato       | 0-2,5cm    |       | 2,5-7,5cm |       | 7,5-15cm |       |
| Parámetro                    | Unidad        | Test.      | Trat. | Test.     | Trat. | Test.    | Trat. |
| NITROGENO TOTAL              | (% N total)   | 0,28       | 0,57  | 0,22      | 0,22  | 0,24     | 0,18  |
| FOSFORO TOTAL                | (ppm P)       | 504        | 458   | 281       | 354   | 325      | 291   |
| CONDUCTIVIDAD                | (uS/cm.)      | 165        | 314   | 103       | 147   | 108      | 118   |
| FOSFORO BRAY I (OUA)         | (ppm P)       | 44         | 39    | 8         | 11    | 12       | 5     |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA) | (meq.K/100g)  | 1          | 0,86  | 0,37      | 0,61  | 0,51     | 0,49  |
| pH (AGUA)                    | (--)          | 5,8        | 5,8   | 5,9       | 5,6   | 5,6      | 5,7   |
| MATERIA ORGANICA             | (%)           | 5,9        | 4,8   | 4,1       | 3,1   | 4,3      | 2,9   |
| CALCIO                       | (meq.Ca/100g) |            |       |           |       |          |       |
| MAGNESIO                     | (meq.Mg/100g) |            |       |           |       |          |       |
| SODIO INTERCAMBIABLE         | (meq.Na/100g) | 0,4        | 0,6   | 0,5       | 0,5   | 0,3      | 0,6   |
| ACIDEZ TITULABLE             | (meq/100 g)   |            |       |           |       |          |       |
| C.I.C.                       | (meq/100 g)   | 31,2       | 24,2  | 30        | 22    | 26,1     | 23,2  |
| BASES TOTALES                | (meq/100 g)   |            |       |           |       |          |       |
| SATURACION DE BASES          | (%)           | 86         | 87    | 90        | 88    | 86       | 90    |

### 6.1.2 Efluente

En la tabla N°6 se muestran los resultados de composición del efluente en sus dos fracciones, de manera de poder interpretar el aporte del mismo ya sea en términos del suelo como en la respuesta vegetal.

**Tabla N°6.** Resultados analíticos de composición de la fracción líquida, según estación del año, en EEMAC

| FRACCIÓN LÍQUIDA            |          | MUESTREOS  |           |           |            |           |
|-----------------------------|----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| PARÁMETRO                   | UNIDAD   | PRIM. 2019 | VER. 2020 | OTO. 2020 | PRIM. 2020 | VER. 2021 |
| FÓSFORO TOTAL               | (mg P/l) | 33         | 24        | 820       | 27,3       | 52,5      |
| FOSFATO                     | (mg)     | 58,3       | 58        | 99        | 74,0       | 106,0     |
| NITRÓGENO TOTAL             | (mg/l)   | 121        | 110       | 66,6      | 115,0      | 160,8     |
| CARBONO ORGÁNICO            | (%)      | 0,044      | 0,035     | 0,035     | 0,058      | 0,13      |
| SÓLIDOS TOTALES             | (%)      | 0,15       | 0,13      | 0,072     | 0,18       | 0,22      |
| POTASIO                     | (mg/l)   | -          | -         | 45        | 74,5       | 127,0     |
| CALCIO                      | (ppm)    | -          | -         | -         | -          | 185,0     |
| MAGNESIO                    | (ppm)    | -          | -         | -         | -          | 44,0      |
| DQO                         | (mgO2/l) | -          | -         | -         | -          | 820,0     |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | (mg/l)   | -          | -         | -         | -          | 408,0     |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES       | (ml/l)   | -          | -         | -         | -          | 18,0      |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES       | (ml/l)   | -          | -         | -         | -          | 14,0      |

**Tabla N°7.** Resultados analíticos de composición de la fracción sólida, según estación del año, en EEMAC, incluyendo el material de cama caliente

| FRACCIÓN SÓLIDA  |         | MUESTREOS   |          |           |             |                       |
|------------------|---------|-------------|----------|-----------|-------------|-----------------------|
| PARÁMETRO        | UNIDAD  | VER.2019-20 | OTO.2020 | PRIM.2020 | VER.2020-21 | CAMA CALIENTE_27/11/2 |
| FÓSFORO TOTAL    | (%P2O5) | 0,046       | 0,78     | 0,16      | 0,7         | 0,40                  |
| NITRÓGENO TOTAL  | (%)     | 0,71        | 1,7      | 0,45      | 1,53        | 1,20                  |
| POTASIO          | (%K2O)  | 0,14        | 1,2      | 0,24      | 1,05        | 1,00                  |
| SÓLIDOS TOTALES  | (%)     | 28,6        | 24,4     | 23,5      | 40,7        | 60,30                 |
| MATERIA ORGÁNICA | (%)     | 19,4        | 81       | 18,2      | 83,4        | 32,00                 |
| pH               | -       | 8,26        | 8,2      | 8,2       | 9,14        | 6,80                  |
| CALCIO           | (%)     | -           | -        | -         | 2,2         | 5,2                   |
| HIERRO           | (% Fe)  | -           | -        | -         | 0,15        | 0,9                   |
| MAGNESIO         | (%)     | -           | -        | -         | 0,41        | 0,6                   |
| SULFATO          | (%)     | -           | -        | -         | 0,39        | 0,4                   |
| BORO             | (mg/kg) | -           | -        | -         | 27          | 13                    |
| COBRE            | (mg/kg) | -           | -        | -         | 27          | 20                    |
| MOLDIBENO        | (mg/kg) | -           | -        | -         | 4           | 13                    |
| MANGANESO        | (mg/kg) | -           | -        | -         | 203         | 370                   |
| ZINC             | (mg/kg) | -           | -        | -         | 78          | 68                    |

En términos generales los valores se encuentran cercanos a lo señalado en la bibliografía nacional (INIA-FPTA N°138, 2008 y Del Pino, 2019) y con los datos recabados en Recopilación de antecedentes nacionales, Biovalor, 2020 (no publicada). Cabe decir que sólo algunos de los valores nacionales de referencia refieren a la fracción líquida del efluente específicamente. Por otro lado, la bibliografía es limitada en lo que respecta al concepto de circularidad de nutrientes y por ende a la discreción entre las fracciones líquida y sólida al momento de evaluar su composición. Cabe señalar también, que algunas de las técnicas utilizadas en la determinación de los parámetros difieren con las aquí aplicadas. Las diferencias entre los resultados de EEMAC y los encontrados en la bibliografía se explican además, por el manejo intrínseco de ese tambo, el cual implica la convivencia de dos lotes con alimentación diferencial, además de las diferencias explicadas por el momento del muestreo y su método de separación de sólidos a través de tamiz.

Para el caso de EEMAC, se incorpora la evaluación de la respuesta a la aplicación del material de la cama caliente a terreno (potrero 22). Dicho material sufre un proceso de compostaje durante su utilización en la cama y se almacena en pilas previo a su aplicación. Los elementos originales que se mezclan para conformar la cama son aserrín, cáscara de arroz, corteza de pino y madera chipiada. En la tabla N°7 se muestran los resultados de composición del material apilado previo a su aplicación.

### 6.1.3 Planta

Para analizar el impacto en la matriz planta, se muestran los resultados de composición obtenidos hasta el momento y la respuesta vegetal en términos cuantitativos y su posible explicación de acuerdo a las cantidades y composición del material aplicado.

A continuación se presentan en el Tabla N°8 los resultados de análisis de composición obtenidos hasta el momento.

**Tabla N°8.** Resultados de composición de la matriz planta, período marzo 2019-diciembre 2020, en EEMAC.

| FRACCIÓN        |        | SÓLIDA     |       |                   |       | LÍQUIDA      |       |                 |       |       |            |       |
|-----------------|--------|------------|-------|-------------------|-------|--------------|-------|-----------------|-------|-------|------------|-------|
| ESPECIES        |        | MAÍZ SILO  |       | FESTUCA-T.BLANCO- |       | FESTUCA 3°   |       | AVENA Y RAIGRÁS |       |       |            |       |
| MUESTREOS       |        | OTO. 2020  |       | PRIM. 2020        |       | VER. 2019-20 |       | OTO. 2020       |       |       | PRIM. 2020 |       |
| POTREROS        |        | POTRERO 24 |       |                   |       | POTRERO 23   |       |                 |       |       |            |       |
| PARÁMETRO       | UNIDAD | TRAT.      | TEST. | TRAT.             | TEST. | TRAT.        | TEST. | TRAT.           | TEST. | TRAT. | TEST.      | TRAT. |
| MS COSECHADA    | %      | -          | -     | 24,5              | 19.4  | -            | -     | -               | -     | -     | -          | -     |
| NITROGENO TOTAL | % BS   | 1,1        | 0,6   | 3,2               | 3.7   | 2,2          | 1,9   | 4,6             | 2.1   | 5,0   | 3,0        | 1.5   |
| FOSFORO (oua)   | % BS   | 0,24       | 0,24  | 0.32              | 0.29  | 0,31         | 0,25  | 0.43            | 0.38  | 0.53  | 0.39       | 0.30  |
| POTASIO         | % BS   | -          | -     | 2.47              | 1.78  | 1,7          | 2,14  | 2.98            | 2.96  | 3.63  | 2.92       | 1.79  |
| AZUFRE          | % BS   | 0,02       | 0,02  | 0.09              | 0.03  | 0,02         | 0,07  | 0.09            | 0.10  | 0.08  | 0.09       | 0.04  |
| CALCIO          | % BS   | 0,4        | 0,4   | 0.7               | 1.4   | 0,8          | 0,7   | 0.4             | 1.0   | 0.4   | 0.4        | 0.3   |
| MAGNESIO        | % BS   | 0,3        | 0,3   | 0.3               | 0.3   | 0,5          | 0,3   | 0.3             | 0.4   | 0.3   | 0.3        | 0.2   |
| BORO            | ppm BS | 8          | 9     | 9                 | 24    | 12           | 3     | 4               | 2     | 3     | 4          | 4     |
| COBRE           | ppm BS | 6          | 4     | 6                 | 11    | 8            | 7     | 13              | 25    | 10    | 10         | 5     |
| HIERRO (oua)    | ppm BS | 145        | 122   | 168               | 192   | 129          | 140   | 200             | 19    | 115   | 170        | 63    |
| MANGANESO (oua) | ppm BS | 28         | 29    | 71                | 68    | 60           | 80    | 55              | 54    | 57    | 85         | 52    |
| MOLIBDENO       | ppm BS | -          | -     | <1                | <1    | 2            | 1     | 1               | 1     | 1     | 1          | 1     |
| ZINC (oua)      | ppm BS | 12         | 11    | 24                | 35    | 37           | 13    | 33              | 51    | 27    | 21         | 13    |

Tal como se observa en la tabla, las diferencias entre los valores de la fracción plantas tratadas respecto a las sin tratar corresponden principalmente al nitrógeno, fósforo y zinc, y en menor grado al cobre y hierro. En los demás parámetros las diferencias son casi inexistentes o al menos no existe correlación aparente.

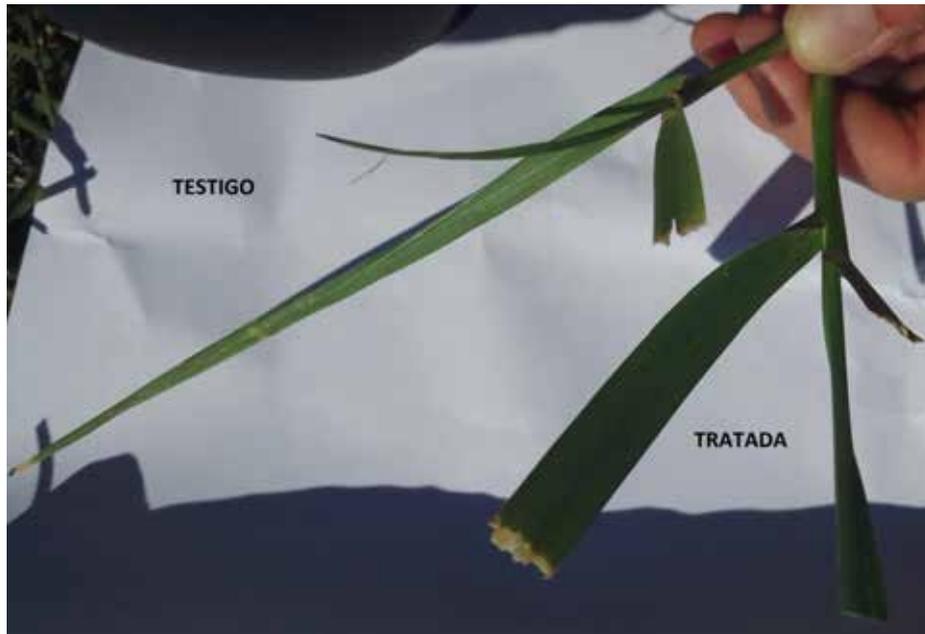
En lo que respecta a la respuesta vegetal, en las chacras aplicadas con efluente se determinó la producción acumulada de materia seca y tasas de crecimiento, mientras que en las aplicadas con fracción sólida se cuantificó el rendimiento en materia seca. En el primer caso se trata de una pastura de festuca de 3er año que luego rota a un verdeo (mezcla de raigrás y avena), para el segundo se evaluó maíz con destino a silo planta entera.

#### Aplicación de fracción sólida:

En el cultivo de maíz 2019-20 (potrero 24), la aplicación de la fracción sólida permitió obtener un 40% más de rendimiento en grano que la chacra testigo, con 5.580 y 3.360KgMS/ha, respectivamente. Ninguna chacra recibió fertilización química. La dosis aplicada fue de 32tt/ha, aportando 186, 33 y 61 Kg/ha de Fósforo, Nitrógeno y Potasio, respectivamente. Considerando los fertilizantes más comúnmente utilizados para este cultivo, esto significa un aporte equivalente a 404Kg de urea (fórmula 46-0/0-0), 63.5Kg de fosfato mono-amónico (fórmula 12-52/52-0) y 102Kg de Cloruro de Potasio (fórmula 0-0/0-60). Estos resultados indican un aporte de 69,4Kg MS por cada 1.000Kg de sólido aplicado.

El método de aplicación fue mediante el volcado en tolva sin incorporación y distribuido en el terreno en forma heterogénea. Una distribución más homogénea con incorporación del material previo a la siembra, podría haber mostrado resultados aún más contundentes. En la figura N°6 se pueden apreciar las diferencias entre dos plantas de festuca (1er año), sembrada luego del maíz evaluado, que reflejan el efecto residual de la aplicación del sólido en 2019 durante el barbecho previo al maíz. Se puede observar una mayor área foliar, mejor estructura y estado nutricional (tonos verde oscuro). Exceptuando el tratamiento con la fracción sólida del efluente ambas plantas recibieron igual manejo de fertilización y pastoreo.

**Figura N°6.** Efecto residual de la aplicación de la fracción sólida en potrero 24, en plantas de festuca de 1er año, en EEMAC.



Fuente: Ing. Agr. Marcela Rodriguez (2020)

Para el período 2020-21, se aplicó la fracción sólida en otras dos fajas a razón de 7.6 y 9.4tt/ha en otra chacra (potrero 21) en setiembre 2020, luego de haber cosechado avena con destino a silo planta entera y como preparación para la siembra de maíz. La evaluación de la respuesta vegetal en este caso se podrá apreciar sobre otoño 2021, una vez cosechado el cultivo.

Aplicación de fracción líquida:

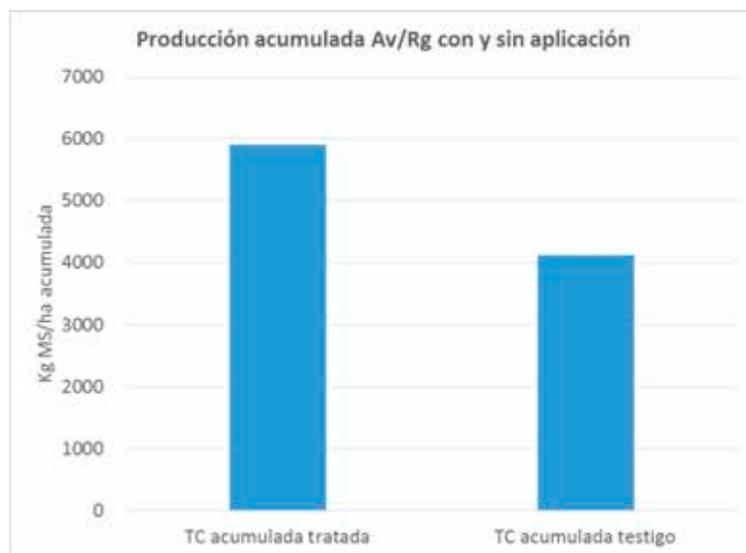
En términos generales se puede afirmar un impacto positivo significativo en la tasa de crecimiento (gráfico N°1) y producción acumulada en pasturas (gráfico N°2), tanto en praderas permanentes (festuca con trébol blanco 3er año en 2019) como en verdeos (raigrás y avena en 2020). En el gráfico N°3 se puede apreciar la evolución diferencial de las tasas de crecimiento para la mezcla de raigrás y avena, atendiendo a la respuesta de cada aplicación realizada y su dosis.

**Gráfico N°1.** Tasa de crecimiento según tratamiento expresada en Kg de materia seca por hectárea por día, en EEMAC.



Fuente: Ing. Agr. Gastón Ortega (EEMAC, 2020)

**Gráfico N°2.** Producción total acumulada de materia seca para la mezcla de raigrás y avena evaluada, en EEMAC.

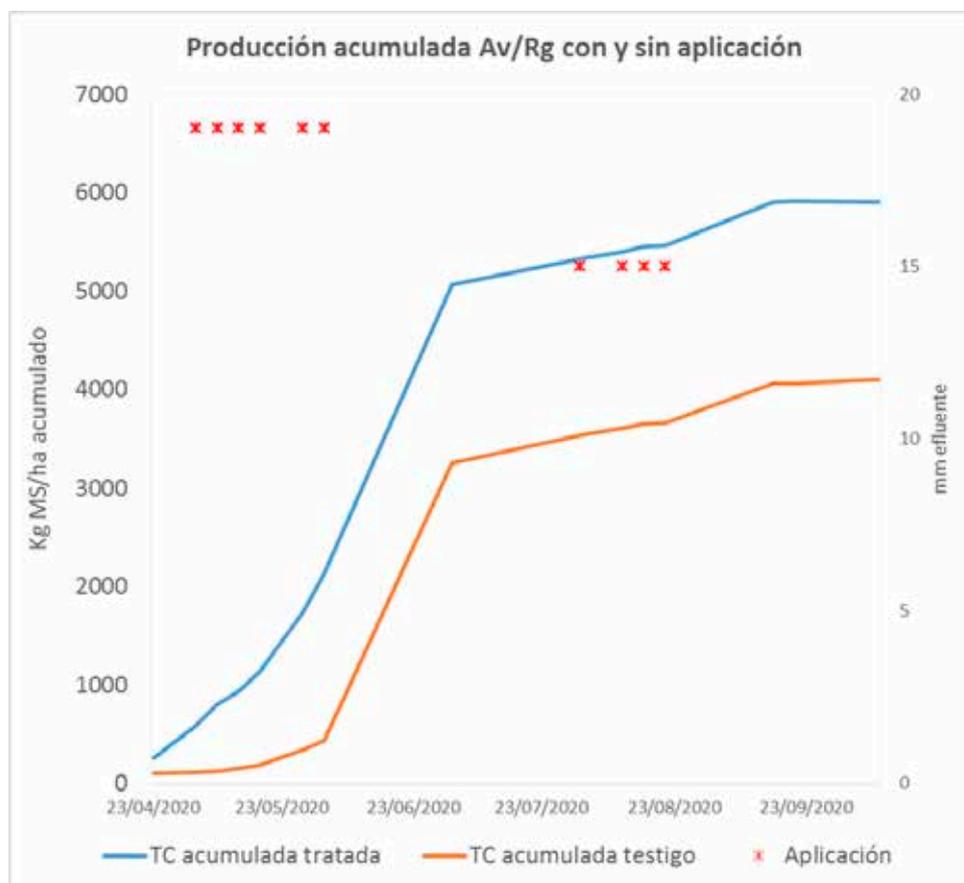


Fuente: Ing. Agr. Gastón Ortega (EEMAC, 2020)

Para el período abril-setiembre 2020 se realizaron 10 aplicaciones (gráfico N°3). Las 6 primeras a razón de 19mm de lámina, es decir 190m<sup>3</sup>/ha y 4 aplicaciones hacia el final del ciclo de 15mm de lámina cada una (150m<sup>3</sup>/ha). Por otro lado, se midió la producción mediante un corte en jaula en la misma chacra de verdeos, obteniendo 802 y 210Kg MS/ha en área aplicada con efluente y testigo sin tratar, respectivamente. Respecto a la producción total acumulada, el rendimiento de la mezcla de verdeos tratada con efluente fue un 30.4% superior al testigo sin tratar.

Considerando estos resultados, se puede calcular un indicador del aporte de cada m<sup>3</sup> aplicado que traduzca la respuesta vegetal en términos de la materia seca incremental lograda. Es decir, para este caso de estudio, cada m<sup>3</sup> aplicado produjo en promedio 1,03Kg de materia seca.

**Grafico N°3.** Respuesta productiva y aplicaciones de efluente en chacras con mezcla de raigrás/avena para el período abril-setiembre 2020, en Kg de materia seca por hectárea, en EEMAC.



Fuente: Ing. Agr. Gastón Ortega (EEMAC, 2020)

#### 6.1.4 Aspectos sanitarios

Se realizaron un total de 28 análisis, dentro de los cuales 25 son referidos a la determinación de parásitos gastrointestinales y pulmonares, y 3 a microorganismos indicadores (coliformes fecales y totales). Los resultados indican total ausencia de parásitos así como de sus elementos parasitológicos (huevos, larvas o quistes). Respecto al recuento de microorganismos indicadores, los valores para la fracción líquida son menores que en la fracción sólida. En la fracción líquida se analizó en primavera 2019, encontrándose un total de 98.000UFC/100ml de coliformes fecales y 162.000UFC/100ml de coliformes totales, en verano 2020-21 se hizo otro recuento encontrando 300.000 y 380.000UFC/100ml, respectivamente. En la fracción sólida el recuento se realizó en primavera 2019 y 2020, con un recuento de más de 500.000UFC/100g de coliformes fecales en 2019, mientras que en 2020 se cuantificaron 220.000 y 240.000UFC/100g de coliformes fecales y totales, respectivamente. También se analizó el material de la cama caliente en primavera 2020, detectando 240.000UFC/100g de coliformes fecales.

## 6.2 INIA LE

### 6.2.1 Suelo

En este caso, se analizaron cuatro chacras, dos corresponden a las tratadas y las otras dos a las testigos. En la tabla N°9 se muestran los resultados de suelo tratado con efluente y su testigo, y en la tabla N°10 aquellos referidos a la aplicación de la fracción sólida.

**Tabla N°9.** Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción líquida y testigo, respectivamente, para los años 2019 y 2020, en INIA LE.

| Aplicación fracción líquida  | Estrato       | 0-2,5cm    |           |       | 2,5-7,5cm  |           |       | 7,5-15cm   |           |       |
|------------------------------|---------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|-------|------------|-----------|-------|
|                              | Muestras      | Nov. 2019  | Nov. 2020 |       | Nov. 2019  | Nov. 2020 |       | Nov. 2019  | Nov. 2020 |       |
| Parámetro                    | Unidad        | Linea Base | Trat.     | Test. | Linea Base | Trat.     | Test. | Linea Base | Trat.     | Test. |
| NITROGENO TOTAL              | (% N total)   | 0,23       | 0,19      | 0,29  | 0,2        | 0,29      | 0,17  | 0,18       | 0,31      | 0,25  |
| FOSFORO TOTAL                | (ppm P)       | 722        | 740       | 516   | 488        | 561       | 302   | 481        | 555       | 366   |
| CONDUCTIVIDAD                | (uS/cm.)      | 160        | 85        | 92    | 251        | 111       | 65    | 101        | 108       | 64    |
| FOSFORO BRAY I (OUA)         | (ppm P)       | 36         | 13        | 29    | 16         | 29        | 6     | 8          | 32        | 13    |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA) | (meq.K/100g)  | 0,72       | 1         | 0,68  | 0,48       | 0,87      | 0,45  | 0,4        | 0,74      | 0,52  |
| pH (AGUA)                    | (--)          | 5,5        | 5,9       | 5,8   | 5,1        | 6,2       | 5,7   | 5,1        | 6,2       | 5,8   |
| MATERIA ORGANICA             | (%)           | 4,9        | 4,1       | 5,3   | 3,7        | 5,2       | 3,5   | 2,9        | 5,3       | 4,4   |
| CALCIO                       | (meq.Ca/100g) | 15,6       | 24,5      | 19,1  | 13,3       | 14,9      | 21,9  | 13,5       | 13,8      | 19,4  |
| MAGNESIO                     | (meq.Mg/100g) | 4,5        | 7,2       | 5,1   | 5,8        | 6         | 4,8   | 4          | 5,6       | 6,8   |
| SODIO INTERCAMBIABLE         | (meq.Na/100g) | 0,7        | 1,3       | 0,3   | 0,5        | 0,7       | 0,3   | 0,4        | 0,7       | 0,4   |
| ACIDEZ TITULABLE             | (meq/100 g)   | 4,6        | 5,2       | 5,4   | 6,6        | 4,5       | 4,8   | 3          | 4,7       | 5     |
| C.I.C.                       | (meq/100 g)   | 26,1       | 39,2      | 30,6  | 26,7       | 27        | 32,3  | 21,3       | 25,5      | 32,1  |
| BASES TOTALES                | (meq/100 g)   | 21,5       | 34        | 25,2  | 20,1       | 22,5      | 27,5  | 18,3       | 20,8      | 27,1  |
| SATURACION DE BASES          | (%)           | 82         | 87        | 82    | 75         | 83        | 85    | 86         | 82        | 84    |
| AZUFRE                       | (ppm S-SO4)   | 16         | 10        | 6     | 17         | 6         | 6     | 15         | 12        | 8     |
| ZINC (MEHLICH 1)             | (ppm Zn)      | 1,1        | 1,2       | 0,9   | 1,3        | 1,5       | 0,5   | 0,5        | 1,4       | 0,5   |
| BORO                         | (ppm B)       | 0,9        | 0,5       | 0,6   | 1,1        | 0,4       | 0,4   | 1,5        | 0,5       | 0,6   |

El impacto en el suelo por recibir sucesivas aplicaciones de efluente durante un año es positivo tanto en términos del aporte de nutrientes como de sus propiedades fisicoquímicas. Es destacable el aumento en el contenido de materia orgánica y mejora en la acidez del suelo. La estratificación, si bien existe, es relativamente baja, al menos en lo que refiere al fósforo Bray I, incluso es mayor en los estratos más profundos, lo que es contrario a lo esperable. Respecto a las relaciones catiónicas respecto a las bases totales, los valores se encuentran dentro de los rangos normales sin grandes diferencias entre el suelo tratado y testigo. Cabe decir que ambas chacras recibieron urea post-pastoreo a razón de 280 y 270Kg/ha, tratada y testigo, respectivamente, por lo que el efecto de la aplicación de efluente es el que explicaría las diferencias y no un manejo diferencial en la fertilización química. Se podría considerar la inclusión de un cultivo más extractivo en fósforo de manera de disminuir los niveles del mismo o bien extender el área de aplicación, próximamente.

**Tabla N°10.** Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción sólida y testigo, respectivamente, para los años 2019 y 2020, en INIA LE.

| Aplicación fracción sólida   | Estrato       | 0-2,5cm    |           |            | 2,5-7,5cm  |            |           | 7,5-15cm   |       |       |
|------------------------------|---------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|-------|-------|
|                              |               | Muestreos  | Nov. 2019 | Prim. 2020 | Nov. 2019  | Prim. 2020 | Nov. 2019 | Prim. 2020 |       |       |
| Parámetro                    | Unidad        | Linea Base | Trat.     | Test.      | Linea Base | Trat.      | Test.     | Linea Base | Trat. | Test. |
| NITROGENO TOTAL              | (% N total)   | 0,33       | 0,32      | 0,37       | 0,24       | 0,21       | 0,28      | 0,16       | 0,21  | 0,28  |
| FOSFORO TOTAL                | (ppm P)       | 619        | 535       | 492        | 386        | 355        | 411       | 378        | 381   | 400   |
| CONDUCTIVIDAD                | (uS/cm.)      | 99         | 124       | 217        | 70         | 112        | 112       | 179        | 80    | 116   |
| FOSFORO BRAY I (OUA)         | (ppm P)       | 44         | 27        | 26         | 19         | 15         | 11        | 13         | 14    | 14    |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA) | (meq.K/100g)  | 0,77       | 0,78      | 1,18       | 0,43       | 0,54       | 0,51      | 0,48       | 0,48  | 0,52  |
| pH (AGUA)                    | (--)          | 5,3        | 5,6       | 5,8        | 5,3        | 5,7        | 5,6       | 5,2        | 5,7   | 5,7   |
| MATERIA ORGANICA             | (%)           | 5,6        | 5,8       | 5,5        | 3,4        | 4          | 4,6       | 2,6        | 3,1   | 4,6   |
| CALCIO                       | (meq.Ca/100g) | 14         | 16        | 21,8       | 15,3       | 17,3       | 20,9      | 14,1       | 14,8  | 21,2  |
| MAGNESIO                     | (meq.Mg/100g) | 3,5        | 5,4       | 4,9        | 4,7        | 5,9        | 6,1       | 5,6        | 5,3   | 6,1   |
| SODIO INTERCAMBIABLE         | (meq.Na/100g) | 0,3        | 0,3       | 0,3        | 0,5        | 0,4        | 0,2       | 0,5        | 0,3   | 0,3   |
| ACIDEZ TITULABLE             | (meq/100 g)   | 4,1        | 6,3       | 5,1        | 3,9        | 4,4        | 5,6       | 4          | 4,1   | 4,9   |
| C.I.C.                       | (meq/100 g)   | 22,7       | 28,8      | 33,3       | 24,8       | 28,5       | 33,3      | 24,7       | 25    | 33    |
| BASES TOTALES                | (meq/100 g)   | 18,6       | 22,5      | 28,2       | 20,9       | 24,1       | 27,7      | 20,7       | 20,9  | 28,1  |
| SATURACION DE BASES          | (%)           | 82         | 78        | 85         | 84         | 85         | 83        | 84         | 84    | 85    |
| AZUFRE                       | (ppm S-SO4)   | 10         | 8         | 10         | 11         | 9          | 9         | 14         | 8     | 8     |
| ZINC (MEHLICH 1)             | (ppm Zn)      | 1,4        | 2,2       | 1,7        | 0,6        | 0,7        | 0,6       | 0,4        | 0,8   | 0,7   |
| BORO                         | (ppm B)       | 0,9        | 0,7       | 0,8        | 0,9        | 0,5        | 0,5       | 0,7        | 0,9   | 0,4   |

Si bien los valores se corresponden en general a los esperados para este tipo de suelos (brunosoles sub-eutricos), el efecto de la aplicación del sólido no es visible en términos del aporte de nutrientes y mejoras físico-químicas. Por el contrario, aparentemente la chacra testigo logra mejorar su condición respecto a la tratada. Esto podría explicarse por un manejo diferencial en la fertilización química, la cual fue mayor en la tratada que en la testigo. Adicionalmente, podría explicarse por diferencias en la intensidad del pastoreo que resultan en mayor aporte por deposición directa de heces y orina en la parcela, pero no resulta ser el caso.

### 6.2.2 Efluente

En las tablas N°11 y N°12 se muestran los resultados analíticos de composición del efluente tanto en su fracción líquida como sólida, según estación del año en que se realizó el muestreo. Cabe decir, tal como se señala en el capítulo referido a la metodología aplicada, cada resultado corresponde a un "pool" de muestras, obtenidas previo a la aplicación a terreno.

**Tabla N°11.** Composición química de la fracción líquida del efluente según momento de muestreo, en INIA LE.

| FRACCIÓN LÍQUIDA              |                         | MUESTREOS  |              |
|-------------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| PARÁMETRO                     | UNIDAD                  | PRIM. 2020 | VER. 2020-21 |
| FÓSFORO TOTAL                 | (mg P/l)                | 92,5       | 67,5         |
| FOSFATO                       | (mg PO <sub>4</sub> /l) | 88         | 65           |
| NITRÓGENO TOTAL               | (mg/l)                  | 200        | 225,8        |
| CARBONO ORGÁNICO              | (%)                     | 0,14       | 0,10         |
| SÓLIDOS TOTALES               | (mg/l)                  | 4,8        | 3,6          |
| POTASIO                       | (mg/l)                  | 100        | 142          |
| CALCIO                        | (ppm)                   | 293        | 190          |
| MAGNESIO                      | (ppm)                   | 76         | 88           |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | (mg/l)                  | 1430       | 1485         |
| SOLIDOS SEDIMENTABLES (10min) | (ml-l)                  | 40         | 35           |
| SOLIDOS SEDIMENTABLES (60min) | (ml-l)                  | 35         | 30           |
| DQO                           | (mgO <sub>2</sub> /l)   | 2390       | 2015         |

**Tabla N°12.** Composición química de la fracción sólida del efluente según momento de muestreo, en INIA LE.

| FRACCIÓN SÓLIDA  |                                 | MUESTREOS |          |           |             |
|------------------|---------------------------------|-----------|----------|-----------|-------------|
| PARÁMETRO        | UNIDAD                          | OTO.2020  | INV.2020 | PRIM.2020 | VER.2020-21 |
| FÓSFORO TOTAL    | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,34      | 0,23     | 0,27      | 0,48        |
| NITRÓGENO TOTAL  | %                               | 0,90      | 1,00     | 0,69      | 1,80        |
| POTASIO          | %K <sub>2</sub> O               | 0,13      | 0,08     | 0,20      | 0,15        |
| SÓLIDOS TOTALES  | %                               | 95,70     | 96,60    | 42,00     | 26,00       |
| MATERIA ORGANICA | %                               | 73,96     | 68,60    | 49,36     | 87,69       |
| pH               | -                               | 7,13      | 7,45     | 7,94      | 7,38        |
| CALCIO           | (%)                             | 0,53      | 0,39     | 0,49      | 0,8         |
| MAGNESIO         | (%)                             | 0,32      | 0,09     | 0,23      | 0,22        |
| SULFATO          | (%)                             | 0,13      | 0,15     | 0,15      | 0,33        |
| ZINC             | (mg/kg)                         | 118       | 62       | 46        | 92          |
| BORO             | (mg/kg)                         | 8         | 12       | 4         | 16          |
| COBRE            | (mg/kg)                         | 11        | 9        | 9         | 17          |
| MOLIBDENO        | (mg/kg)                         | 10        | 2        | 9         | 4           |
| MANGANESO        | (mg/kg)                         | 95        | 45       | 101       | 119         |

En general los valores podrían considerarse dentro de los rangos esperados para nuestras condiciones, contemplando la variabilidad propia de estos materiales y demás razones ya mencionadas en el numeral 6.1.2.

### 6.2.3 Planta

A continuación se presentan en la tabla N°13 los resultados de análisis de composición obtenidos hasta el momento. Cabe decir que únicamente se cuenta con los resultados de

composición de planta respecto a la aplicación de la fracción líquida del efluente ). No obstante esto, se presentan luego los resultados en términos de la respuesta vegetal obtenida en las chacras aplicadas con líquido y sólido en relación a sus respectivos testigos.

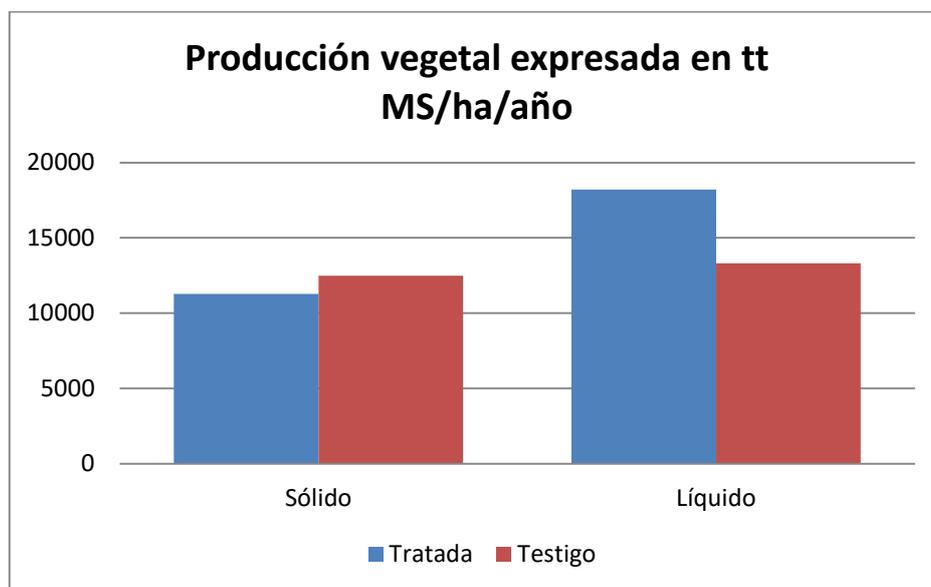
**Tabla N°13.** Resultados de composición de la matriz planta, período marzo 2019-noviembre 2020, en INIA LE.

| Fracción        |         | Líquida   |       |           |       |            |       |
|-----------------|---------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| Especies        |         | Festuca   |       |           |       |            |       |
| Muestreos       |         | Oto. 2020 |       | Inv. 2020 |       | Prim. 2020 |       |
| Parámetro       | Unidad  | Trat.     | Test. | Trat.     | Test. | Trat.      | Test. |
| NITROGENO TOTAL | (%)     | 1.7       | 1.6   | 1.9       | 2.5   | 1.3        | 1.5   |
| FOSFORO (OUA)   | (%)     | 0.22      | 0.29  | 0.28      | 0.29  | 0.21       | 0.24  |
| POTASIO         | (%)     | 1.2       | 1.1   | 1.4       | 1.5   | 1.05       | 1.24  |
| AZUFRE          | (%)     | 0.04      | 0.04  | 0.06      | 0.07  | 0.05       | 0.05  |
| CALCIO          | (%)     | 0.64      | 0.74  | 0.71      | 0.75  | 0.7        | 0.7   |
| MAGNESIO        | (%)     | 0.20      | 0.34  | 0.30      | 0.28  | 0.1        | 0.1   |
| BORO            | (mg/kg) | 10        | 10    | 6         | 9     | 6          | 8     |
| COBRE           | (mg/kg) | 4         | 3     | 4         | 5     | 3          | 5     |
| HIERRO (OUA)    | (mg/kg) | 369       | 350   | 337       | 227   | 165        | 235   |
| MANGANESO       | (mg/kg) | 62        | 46    | 58        | 58    | 41         | 40    |
| MOLIBDENO       | (mg/kg) | 1         | 2     | 1         | 1     | 1          | 1     |
| ZINC (OUA)      | (mg/kg) | 20        | 10    | 10        | 12    | 13         | 16    |

En general los valores no presentan variaciones sustanciales, salvo por los aportes en Zinc, Hierro y Manganeseo. Las diferencias más notorias se aprecian en otoño, lo cual es razonable dado el metabolismo de la festuca entrando a su segundo año de ciclo.

En el gráfico N°4 se presentan los resultados respecto a la respuesta vegetal anualizada, obtenida de acuerdo a las cantidades aplicadas de líquido y sólido, evaluado en 23 y 22 meses, respectivamente. Para el caso de la fracción líquida se aplicaron 1.147m<sup>3</sup>/ha distribuidos en un total de 31 aplicaciones. Para el caso de la fracción sólida se aplicaron 15.400Kg/ha en una única oportunidad, durante la primavera. Se aprecia claramente el efecto positivo de la aplicación de la fracción líquida pero por el contrario, en la chacra donde se aplicó la fracción sólida los rendimientos fueron levemente menores. En términos de la producción , la chacra tratada con efluente líquido produjo un 37% más que la testigo, mientras que la chacra tratada con la fracción sólida produjo -10% respecto a la testigo. Las chacras que recibieron fracción sólida y su testigo, recibieron durante el período de evaluación un total de 260 y 440Kg/ha de urea, lo que explica el menor rendimiento de la tratada respecto a la testigo.

**Gráfico N°4.** Respuesta vegetal anual en toneladas de Kg MS/ha respecto a la aplicación de líquido y sólido, en INIA LE.



Para cuantificar el impacto de la aplicación de la fracción líquida, al asumir una eficiencia de utilización de la pastura del orden del 60% considerando el disponible total, es decir cuantificando la MS efectivamente cosechada, la aplicación de 1m<sup>3</sup>/ha se traduce en aumento de 4.26Kg MS/ha.

#### 6.2.4 Aspectos sanitarios

Se realizaron un total de 8 análisis, dentro de los cuales 6 son referidos a la determinación de parásitos gastrointestinales y pulmonares, y 2 a microorganismos indicadores (coliformes fecales y totales). Los resultados indican total ausencia de parásitos así como de sus elementos parasitológicos (huevos, larvas, quistes). Respecto al recuento de microorganismos indicadores, los valores para la fracción líquida son menores que en la fracción sólida. En la fracción líquida se analizó solamente en primavera 2020, encontrándose a los coliformes fecales como “no cuantificables”, mientras que el recuento de los coliformes totales fueron de 640.000UFC/100ml.

### 6.3 UTU-UTEC

#### 6.3.1 Suelo

En la tabla N°14 se muestran los resultados de análisis de suelo de las chacras tratadas con efluente y su testigo (potrero 17) para los años 2019 y 2020, mientras que la tabla N°15 señala los valores de la línea de base para la futura aplicación de la fracción sólida a realizarse en otoño 2021 (potrero 9).

**Tabla N°14.** Análisis de suelo estratificado en chacra aplicada con fracción líquida y su testigo, respectivamente para 2019 y 2020, en UTU-UTEC.

| APLICACIÓN FRACCIÓN LÍQUIDA  | ESTRATO MUESTREOS UNIDAD | 0-2,5cm    |            |       | 2,5-7,5cm  |            |       | 7,5-15cm   |            |       |
|------------------------------|--------------------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|
|                              |                          | PRIM. 2019 | PRIM. 2020 |       | PRIM. 2019 | PRIM. 2020 |       | PRIM. 2019 | PRIM. 2020 |       |
|                              |                          | LINEA BASE | TRAT.      | TEST. | LINEA BASE | TRAT.      | TEST. | LINEA BASE | TRAT.      | TEST. |
| NITROGENO TOTAL              | (% N total)              | 0,37       | 0,32       | 0,27  | 0,21       | 0,2        | 0,2   | 0,15       | 0,13       | 0,3   |
| FOSFORO TOTAL                | (ppm P)                  | 475        | 500        | 300   | 308        | 200        | 200   | 285        | 200        | 400   |
| CONDUCTIVIDAD                | (uS/cm.)                 | 101        | 326        | 101   | 64         | 113        | 98    | 58         | 69         | 133   |
| FOSFORO BRAY I (OUA)         | (ppm P)                  | 39         | 38         | 13    | 8          | 14         | 5     | 5          | 6          | 34    |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA) | (meq.K/100g)             | 0,72       | 1,1        | 0,49  | 0,47       | 0,5        | 0,51  | 0,48       | 0,39       | 0,78  |
| pH (AGUA)                    | (-)                      | 5,3        | 5,5        | 5,4   | 5,3        | 5,4        | 5,7   | 5,5        | 5,7        | 5,4   |
| MATERIA ORGANICA             | (%)                      | 5,5        | 4,9        | 4,3   | 2,7        | 3          | 3,2   | 2,7        | 2,1        | 5,2   |
| CALCIO                       | (meq.Ca/100g)            | 13         | 12,1       | 13,1  | 13         | 11,2       | 16,2  | 13,8       | 13,6       | 12,5  |
| MAGNESIO                     | (meq.Mg/100g)            | 6,3        | 4,9        | 3,4   | 4,8        | 3          | 4,4   | 5,6        | 5,6        | 5     |
| SODIO INTERCAMBIABLE         | (meq.Na/100g)            | 0,3        | 0,6        | 0,3   | 0,4        | 0,5        | 0,4   | 0,4        | 0,5        | 0,3   |
| ACIDEZ TITULABLE             | (meq/100 g)              | 5          | 5,1        | 5,2   | 4,1        | 5,2        | 3,5   | 3,1        | 3,8        | 5,3   |
| C.I.C.                       | (meq/100 g)              | 25,3       | 23,8       | 22,5  | 22,8       | 20,4       | 25    | 23,4       | 23,9       | 23,9  |
| BASES TOTALES                | (meq/100 g)              | 20,3       | 18,7       | 17,3  | 18,7       | 15,2       | 21,5  | 20,3       | 20,1       | 18,6  |
| SATURACION DE BASES          | (%)                      | 80         | 79         | 77    | 82         | 75         | 86    | 87         | 84         | 78    |
| AZUFRE                       | (ppm S-SO4)              | 15         | 10         | 8     | 14         | 13         | 10    | 14         | 8          | 11    |
| ZINC (MEHLICH 1)             | (ppm Zn)                 | 2,1        | 1,4        | 0,7   | 1,2        | 1,2        | 0,4   | 1,4        | 0,5        | 1,9   |
| BORO                         | (ppm B)                  | 1,6        | 0,5        | 0,3   | 1,2        | 0,3        | 0,4   | 1,2        | 0,4        | 0,3   |

**Tabla N°15.** Resultados analíticos de la línea de base para la futura aplicación de la fracción sólida en 2021, en UTU-UTEC.

| APLICACIÓN FRACCIÓN SÓLIDA   | ESTRATO       | 0-2,5cm              | 2,5-7,5cm  | 7,5-15cm   |
|------------------------------|---------------|----------------------|------------|------------|
|                              | MUESTREOS     | PRIM. 2020_Potrero 9 |            |            |
|                              | UNIDAD        | LINEA BASE           | LINEA BASE | LINEA BASE |
| NITROGENO TOTAL              | (% N total)   | 0,33                 | 0,29       | 0,28       |
| FOSFORO TOTAL                | (ppm P)       | 0,05                 | 0,04       | 0,04       |
| CONDUCTIVIDAD                | (uS/cm.)      | 120                  | 76         | 92         |
| FOSFORO BRAY I (OUA)         | (ppm P)       | 26                   | 25         | 19         |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA) | (meq.K/100g)  | 0,64                 | 0,35       | 0,44       |
| pH (AGUA)                    | (-)           | 5,3                  | 5,2        | 5,3        |
| MATERIA ORGANICA             | (%)           | 5,8                  | 4,6        | 4,8        |
| CALCIO                       | (meq.Ca/100g) | 13,4                 | 13,5       | 13,2       |
| MAGNESIO                     | (meq.Mg/100g) | 5,2                  | 4,2        | 5,3        |
| SODIO INTERCAMBIABLE         | (meq.Na/100g) | 0,4                  | 0,3        | 0,5        |
| ACIDEZ TITULABLE             | (meq/100 g)   | 6,7                  | 6,8        | 6,7        |
| C.I.C.                       | (meq/100 g)   | 26,3                 | 25,2       | 26,1       |
| BASES TOTALES                | (meq/100 g)   | 19,6                 | 18,4       | 19,4       |
| SATURACION DE BASES          | (%)           | 75                   | 73         | 74         |
| AZUFRE                       | (ppm S-SO4)   | 16                   | 8          | 9          |
| ZINC (MEHLICH 1)             | (ppm Zn)      | 1,1                  | 0,9        | 1          |
| BORO                         | (ppm B)       | 0,4                  | 0,4        | 0,3        |
| Ca/Btotales                  |               | 68,4                 | 73,4       | 68,0       |
| Mg/Btotales                  |               | 26,5                 | 22,8       | 27,3       |
| K+Na/Btotales                |               | 5,3                  | 3,5        | 4,8        |

En términos generales los valores son acordes a los esperados para este tipo de suelo (vertisol rúptico lúvico). El efecto de la aplicación de efluente (fracción líquida) fue positivo en la mayoría de los nutrientes, pero las mejoras en las propiedades físico-químicas no están claras. Sin motivo aparente el tercer estrato muestra cierta incongruencia con la tendencia de los dos primeros.

Respecto a los nutrientes y a las relaciones entre cationes y bases, existe un exceso de Mg y el Ca resulta limitante. Las relaciones catiónicas principales como Ca/Mg y K/Mg distan sustancialmente de lo definido para estos suelos según la cátedra de fertilidad de Suelos de la UdelaR (Nutrición catiónica, código 449), mientras que las relaciones entre principales cationes y bases totales se encuentran dentro de los rangos esperados (Del Pino, publicación web).

### 6.3.2 Efluente

Se presenta en el cuadro N°15 y N°16 los resultados analíticos de la composición del efluente líquido y sólido, respectivamente.

**Tabla N°16.** Composición química de la fracción líquida, según estación del año, en UTU-UTEC.

| FRACCIÓN LÍQUIDA                  |            | MUESTREOS    |          |            |
|-----------------------------------|------------|--------------|----------|------------|
| PARÁMETRO                         | UNIDAD     | VER. 2019-20 | INV 2020 | PRIM. 2020 |
| FÓSFORO TOTAL                     | (mg P/l)   | 24           | 32.5     | 35.0       |
| FOSFATO                           | (mg PO4/l) | 61,3         | 29.5     | 45.8       |
| NITRÓGENO TOTAL                   | (mg/l)     | 44           | 48.4     | 81.4       |
| CARBONO ORGÁNICO                  | (%)        | 0,0087       | 0,032    | 0,061      |
| SÓLIDOS TOTALES                   | (%)        | 0,158        | 0,12     | 0,17       |
| POTASIO                           | (mg/l)     | -            | 74.1     | 74.1       |
| CALCIO                            | (ppm)      | -            | 52       | 84         |
| MAGNESIO                          | (ppm)      | -            | 7        | 15         |
| DQO                               | (mgO2/l)   | -            | 505      | 720        |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) | (mg/l)     | -            | 264      | 470        |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES             | (ml-l)     | -            | 30       | 30         |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES             | (ml-l)     | -            | 25       | 25         |

**Tabla N°17.** Composición química de la fracción sólida, según estación del año, en UTU-UTEC.

| FRACCIÓN SÓLIDA  |         | MUESTREOS    |            |
|------------------|---------|--------------|------------|
| PARÁMETRO        | UNIDAD  | VER. 2019-20 | PRIM. 2020 |
| FÓSFORO TOTAL    | (%)     | 0,22         | 0,15       |
| NITRÓGENO TOTAL  | (%)     | 0,43         | 0,47       |
| POTASIO          | (%)     | 0,09         | 0,30       |
| SÓLIDOS TOTALES  | (%)     | 30,90        | 34,00      |
| MATERIA ORGÁNICA | (%)     | 16,00        | 69,66      |
| pH               | -       | 4,68         | 4,84       |
| CALCIO           | (%)     | -            | 0,52       |
| HIERRO           | (% Fe)  | -            | 0,83       |
| MAGNESIO         | (%)     | -            | 0,22       |
| SULFATO          | (%)     | -            | 0,16       |
| BORO             | (mg/kg) | -            | 3          |
| COBRE            | (mg/kg) | -            | 17         |
| MOLDIBENO        | (mg/kg) | -            | 14         |
| MANGANESO        | (mg/kg) | -            | 153        |
| ZINC             | (mg/kg) | -            | 69         |

Respecto a la fracción líquida, los valores de fósforo total y nitrógeno son menores lo señalado en INIA-FPTA N°138 (2008) respecto al líquido y en mayor medida el contenido de sólidos totales. Se debe tener presente que la información trata acerca del efluente clarificado luego de un tratamiento microbiano por acumulación en lagunas de decantación (anaeróbica y facultativa) y no a partir de una separación mecánica como se analiza en este caso de estudio.

Analizando la fracción sólida, se puede afirmar que también se encuentran dentro de lo esperado (Del Pino, 2019), con la salvedad de que presenta un contenido mayor de sólidos totales y una acidez más alta, y por otro lado el nitrógeno resulta ser sustancialmente menor a los datos publicados.

Como ya fuera mencionado, sería poco preciso comparar con todos los valores de referencia nacionales ya que existen diferencias en términos de los tipos de materiales (efluente con y sin separación de sólidos) y métodos analíticos aplicados.

### 6.3.3 Planta

En la tabla N°18 se muestran los resultados de composición de la matriz planta, considerando únicamente una de las chacras aplicadas con la fracción líquida (potrero 17) y su correspondiente testigo sin aplicar.

**Tabla N°18.** Resultados de composición de la matriz planta, según estación del año, en UTU-UTEC.

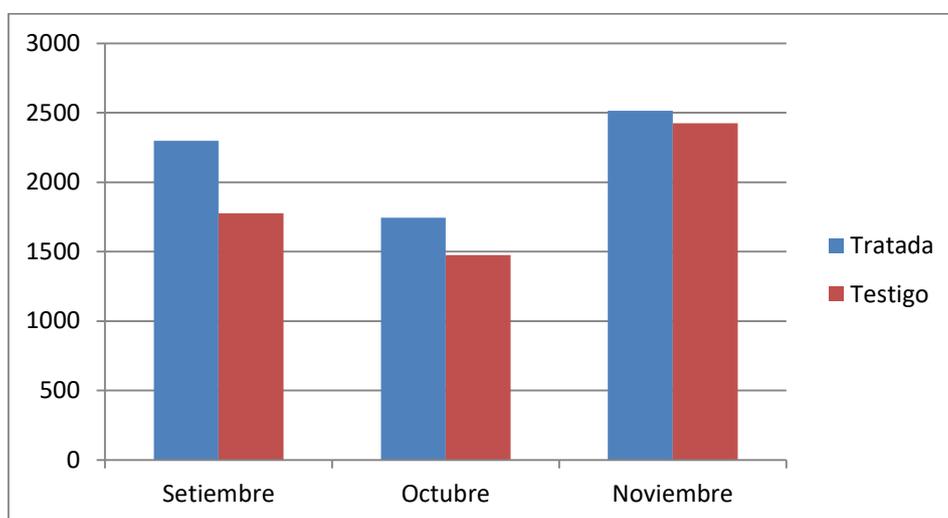
| APLICACIÓN LÍQUIDA |        | Potrero 17           |       |           |       |                               |       |           |       |            |       |
|--------------------|--------|----------------------|-------|-----------|-------|-------------------------------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| ESPECIES           |        | ALFALFA +DACTYLIS 2° |       |           |       | ALFALFA 3°, RAIGRÁS OTO. 2020 |       |           |       |            |       |
| MUESTREOS          |        | PRIM. 2019           |       | VER. 2020 |       | OTO. 2020                     |       | INV. 2020 |       | PRIM. 2020 |       |
| PARÁMETRO          | UNIDAD | TRAT.                | TEST. | TRAT.     | TEST. | TRAT.                         | TEST. | TRAT.     | TEST. | TRAT.      | TEST. |
| MS COSECHADA       | %      | 28                   | 27,4  | 23.6      | 26.2  | 23.9                          | 24.9  | 22.9      | 21.6  | 29.2       | 27.9  |
| NITRÓGENO TOTAL    | % BS   | 3,6                  | 3,8   | 4.4       | 4.9   | 3.8                           | 4.2   | 3.7       | 3.8   | 3.2        | 3.0   |
| FÓSFORO (oua)      | % BS   | 0,3                  | 0,27  | 0.35      | 0.27  | 0.33                          | 0.32  | 0.31      | 0.34  | 0.29       | 0.24  |
| POTASIO            | % BS   | 1,97                 | 2,07  | 1.66      | 1.75  | 1.99                          | 1.84  | 1.88      | 2.30  | 2.21       | 1.61  |
| AZUFRE             | % BS   | 0,06                 | 0,07  | 0.07      | 0.05  | 0.11                          | 0.04  | 0.08      | 0.06  | 0.07       | 0.04  |
| CALCIO             | % BS   | 1,4                  | 1,4   | 1.7       | 1.6   | 1.5                           | 1.4   | 0.9       | 0.9   | 1.3        | 1.0   |
| MAGNESIO           | % BS   | 0,5                  | 0,4   | 0.3       | 0.3   | 0.3                           | 0.3   | 0.3       | 0.3   | 0.3        | 0.3   |
| BORO               | ppm BS | 50                   | 40    | 39        | 38    | 46                            | 43    | 28        | 25    | 20         | 35    |
| COBRE              | ppm BS | 13                   | 13    | 9         | 12    | 11                            | 16    | 10        | 9     | 10         | 9     |
| HIERRO (oua)       | ppm BS | 150                  | 120   | 175       | 191   | 176                           | 237   | 484       | 254   | 359        | 178   |
| MANGANESO (oua)    | ppm BS | 72                   | 71    | 53        | 62    | 73                            | 66    | 75        | 87    | 115        | 43    |
| MOLIBDENO          | ppm BS | <5                   | <5    | 2         | 1     | 1                             | 1     | 1         | 2     | 1          | 1     |
| ZINC (oua)         | ppm BS | 28                   | 32    | 25        | 29    | 31                            | 33    | 29        | 26    | 28         | 22    |

En relación a los macronutrientes, el nitrógeno varía en forma diferente y en forma leve, por el contrario el fósforo tiende a aumentar, mientras el potasio comienza siendo inferior en el tratado pero luego aumenta y se observa con mayores niveles que el testigo en primavera 2020. Respecto a los demás nutrientes, tanto el azufre, calcio, cobre, hierro como manganeso resultan mayores en las plantas tratadas, siendo el hierro el que lo hace en mayor proporción hacia el final del período evaluado. Las diferencias en magnesio y molibdeno son prácticamente nulas. En cuanto al comportamiento del zinc, al inicio del período es superior en plantas testigos y luego, a partir del invierno 2020 resulta superior en la planta tratada.

En el gráfico N°5 se observa la respuesta vegetal de la aplicación de la fracción líquida en términos de los Kg de MS disponibles, medida durante la primavera 2020, mediante el corte del material disponible en jaula previo al pastoreo. Se desconoce el volumen aplicado, lo que imposibilita a determinar la producción diferencial por m3 aplicado. El impacto de las

aplicaciones es positivo, produciendo un beneficio de 888Kg MS/ha para los tres meses. Cabe decir que el manejo de la fertilización fue igual en ambas chacras.

**Gráfico N°5.** Respuesta vegetal mensual expresada en Kg MS/ha en primavera 2020, en UTU-UTEC.



#### 6.3.4 Aspectos sanitarios

Se realizaron un total de 14 análisis, dentro de los cuales 8 son referidos a la determinación de parásitos gastrointestinales y pulmonares, y 6 a microorganismos indicadores (coliformes fecales y totales). Los resultados indican total ausencia de parásitos así como de sus elementos parasitológicos (huevos, larvas, quistes). Respecto al recuento de microorganismos indicadores, los valores para la fracción líquida son menores que en la fracción sólida. La fracción líquida se analizó en las estaciones de invierno, verano y primavera, mientras que la sólida en invierno 2019 y primavera 2020. El recuento indica un rango entre 68.000-98.000UFC/100ml de coliformes fecales y entre 120.000 a más de 500.000UFC/100ml de coliformes totales.

#### 6.4 FACULTAD DE VETERINARIA

Para este caso de estudio, solamente se lograron obtener resultados analíticos de suelo y efluente (ambas fracciones), dado que si bien se aplicó el sólido en la chacra donde se produjo maíz, no se pudieron obtener las muestras de la matriz planta. Por otro lado, cabe decir que el sistema de aplicación del líquido se encuentra en sus primeras operaciones, por lo que la distribución a terreno de la fracción líquida y su composición durante la aplicación será información a obtener en el 2021, tercer año de proyecto.

##### 6.4.1 Suelo

A continuación se muestran en la tabla N°19 los resultados de análisis de suelo de la línea de base obtenida en 2019 y el comparativo en 2020 de la chacra tratada con fracción sólida y su testigo.

**Tabla N°19.** Análisis de suelo estratificado de la chacra aplicada con fracción sólida y su testigo, en FVet.

| Aplicación fracción sólida   | Estrato       | 0-2,5cm    |       |       | 2,5-7,5cm  |       |       | 7,5-15cm   |       |       |
|------------------------------|---------------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
|                              | Muestréos     | 2019       | 2020  |       | 2019       | 2020  |       | 2019       | 2020  |       |
| Parámetro                    | Unidad        | Linea Base | Trat. | Test. | Linea Base | Trat. | Test. | Linea Base | Trat. | Test. |
| NITRÓGENO TOTAL              | (% N total)   | 0,17       | 0,25  | 0,23  | 0,19       | 0,1   | 0,19  | 0,13       | 0,18  | 0,15  |
| FÓSFORO TOTAL                | (ppm P)       | 462        | 485   | 400   | 472        | 481   | 400   | 338        | 428   | 300   |
| CONDUCTIVIDAD                | (uS/cm.)      | -          | 188   | 73    | -          | 177   | 53    | -          | 131   | 48    |
| FÓSFORO BRAY I (OUA)         | (ppm P)       | 37         | 38    | 38    | 26         | 36    | 20    | 9          | 36    | 14    |
| POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA) | (meq.K/100g)  | 0,3        | 0,48  | 0,43  | 0,22       | 0,59  | 0,26  | 0,2        | 0,31  | 0,22  |
| pH (AGUA)                    | (--)          | 4,9        | 5     | 5,2   | 4,6        | 4,9   | 5     | 4,9        | 4,9   | 5,2   |
| MATERIA ORGÁNICA             | (%)           | 3,4        | 3,4   | 3,4   | 2,8        | 3     | 2,8   | 2          | 3,4   | 2,7   |
| CALCIO                       | (meq.Ca/100g) | 7,1        | 8,3   | 6,6   | 6,3        | 7     | 7,3   | 5,5        | 9,2   | 7,4   |
| MAGNESIO                     | (meq.Mg/100g) | 2,6        | 2,5   | 3     | 2,4        | 3     | 2,4   | 3,5        | 2,2   | 2,3   |
| SODIO INTERCAMBIABLE         | (meq.Na/100g) | 0,4        | 0,3   | 0,5   | 0,4        | 0,3   | 0,4   | 0,6        | 0,3   | 0,6   |
| ACIDEZ TITULABLE             | (meq/100 g)   | 5,1        | 6,8   | 5,6   | 5,1        | 7,1   | 5,3   | 4          | 7,4   | 5,2   |
| C.I.C.                       | (meq/100 g)   | 15,5       | 18,4  | 16,1  | 14,4       | 18    | 15,7  | 13,8       | 19,4  | 15,7  |
| BASES TOTALES                | (meq/100 g)   | 10,4       | 11,6  | 10,5  | 9,3        | 10,9  | 10,4  | 9,8        | 12    | 10,5  |
| SATURACION DE BASES          | (%)           | 67         | 63    | 65    | 65         | 61    | 66    | 71         | 62    | 67    |
| AZUFRE                       | (ppm S-SO4)   | 10         | 9     | 7     | 10         | 10    | 11    | 11         | 6     | 8     |
| ZINC (MEHLICH 1)             | (ppm Zn)      | 1,8        | 1,6   | 1,6   | 0,8        | 1,3   | 1,3   | 1,1        | 1,3   | 0,9   |
| BORO                         | (ppm B)       | 0,6        | 0,5   | 0,3   | 0,6        | 0,7   | 0,3   | 0,7        | 0,6   | 0,2   |

Los valores en general corresponden a los esperados para brunosoles éutricos encontrados en estas chacras. Se observa un aporte importante en los niveles de fósforo, nitrógeno y potasio, así como de en los micronutrientes a excepción del azufre y magnesio, los cuales resultan inferiores en la chacra tratada en los estratos más profundos. Respecto a las relaciones catiónicas y bases totales, son también favorecidas con la aplicación. Las propiedades físico-químicas en términos del aporte de materia orgánica también impacta en forma positiva aumentando su valor haciéndose mayor aún más en los estratos más profundos.

#### 6.4.2 Efluente

En las tablas N°20 y N°21 se muestran los resultados de las fracciones líquida y sólida, según la estación del año en que se realizó el muestreo.

**Tabla N°20.** Composición química de la fracción líquida, primavera 2020, en FVet.

| FRACCIÓN LÍQUIDA            |            | MUESTREO       |
|-----------------------------|------------|----------------|
| PARÁMETRO                   | UNIDAD     | Primavera 2020 |
| FOSFORO TOTAL               | (mg P/l)   | 29.5           |
| FOSFATO                     | (mg PO4/l) | 10.5           |
| NITROGENO TOTAL             | (mg/l)     | 167.9          |
| CARBONO ORGÁNICO            | %          | 0,15           |
| POTASIO                     | (mg/l)     | 140            |
| DQO                         | (mgO2/l)   | 2750           |
| SOLIDOS TOTALES             | (mg/l)     | 2925           |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | (mg/l)     | 1405           |
| SOLIDOS SEDIMENTABLES       | (ml/l)     | 40             |
| SOLIDOS SEDIMENTABLES       | (ml/l)     | 30             |
| CALCIO                      | (ppm)      | 185            |
| MAGNESIO                    | (ppm)      | 12             |

Esta muestra, además de que refleja la composición de una sola estación del año, se trata del efluente que se encuentra recientemente almacenado en la nueva pileta de acumulación

impermeable, con un período de generación menor a un mes, por lo que los valores resultan inferiores a los encontrados en la bibliografía o bien en comparación con los demás estudio de casos.

**Tabla N°21.** Composición química de la fracción sólida, según estación del año, en FVet.

| FRACCIÓN SÓLIDA  |        | MUESTREOS                |                                   |                          |                                      |                       |
|------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| PARÁMETRO        | UNIDAD | INV. 2019<br>(extrusora) | INV. 2019 (patio<br>alimentación) | NOV. 2020<br>(extrusora) | NOV. 2020<br>(patio<br>alimentación) | DIC. 2020<br>(mezcla) |
| FÓSFORO TOTAL    | %      | 0,03                     | 0,05                              | 0,15                     | 0,27                                 | 0,14                  |
| NITRÓGENO TOTAL  | %      | 0,38                     | 0,39                              | 0,46                     | 0,58                                 | 1,8                   |
| POTASIO          | %      | 0,04                     | 0,30                              | 0,35                     | 0,8                                  | 0,2                   |
| SÓLIDOS TOTALES  | %      | 19,7                     | 27,4                              | 31                       | 33                                   | 20,5                  |
| MATERIA ORGÁNICA | %      | 15,8                     | 13                                | 40,8                     | 49,2                                 | 90,1                  |
| pH               | -      | 6,6                      | 6,4                               | 7,48                     | 7,2                                  | 8,62                  |
| CALCIO           | %      | -                        | -                                 | 0,97                     | 0,54                                 | 0,72                  |
| MAGNESIO         | %      | -                        | -                                 | 0,33                     | 0,7                                  | 0,09                  |
| HIERRO TOTAL     | (% Fe) | -                        | -                                 | 1,04                     | 0,86                                 | 0,29                  |
| SULFATO          | %      | -                        | -                                 | 0,26                     | 0,24                                 | 0,29                  |
| BORO             | mg/kg  | -                        | -                                 | 19                       | 14                                   | 64                    |
| COBRE            | mg/kg  | -                        | -                                 | 21                       | 35                                   | 17                    |
| MOLIBDENO        | mg/kg  | -                        | -                                 | 14                       | 14                                   | < 5                   |
| MANGANESO        | mg/kg  | -                        | -                                 | 0,83                     | 0,33                                 | 89                    |
| ZINC             | mg/kg  | -                        | -                                 | 47                       | 91                                   | 38                    |

Tanto la fracción sólida de la extrusora como del patio de alimentación son similares en cada estación del año, excepto por el mayor nivel de potasio y sólidos totales en el segundo caso. La mezcla de ambos materiales resulta con un mayor contenido de nitrógeno, materia orgánica y pH, lo cual puede ser explicado por el poco tiempo entre la generación y la extracción de la muestra, sin embargo el nivel de sólidos totales es similar a los demás materiales evaluados en este trabajo.

#### 6.4.3 Aspectos sanitarios

Se analizaron un total de 13 muestras de la fracción sólida, correspondiente al producto del extrusado, material recogido del patio de alimentación en noviembre 2020 y la mezcla de ambos en diciembre 2020, debido a las reformas en la estructura de acopio. En ningún caso se encontraron parásitos o elementos parasitológicos de origen gastrointestinal ni pulmonar. Por otro lado, se cuantificaron coliformes totales en un rango de 28.000 a 730.000UFC/100ml y coliformes fecales a razón de 19.000 a 500.000UFC/100ml. Respecto a la fracción líquida, muestreada únicamente en diciembre 2020 por las razones ya mencionadas, tampoco se encontraron signos de parásitos y se cuantificó un total de 640.000UFC/100ml de coliformes totales.

#### 6.5 IMPACTO AMBIENTAL

Si bien existen varias maneras de cuantificar el impacto ambiental que produce la implementación de un SGET, se muestran y analizan a continuación los resultados preliminares considerando 23 meses de evaluación. Por un lado, se determina el balance de nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio aplicando la metodología “Farm Gate Budget” que también refleja la eficiencia en el uso de los mismos, y por otro, la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), expresado en Kg de CO<sub>2</sub> equivalente y potencial de eutrofización que están generando los diferentes sistemas. De esta manera se logra cuantificar el impacto que produce implementar un correcto SGET. La condición “inicial” para todos los casos se trata de

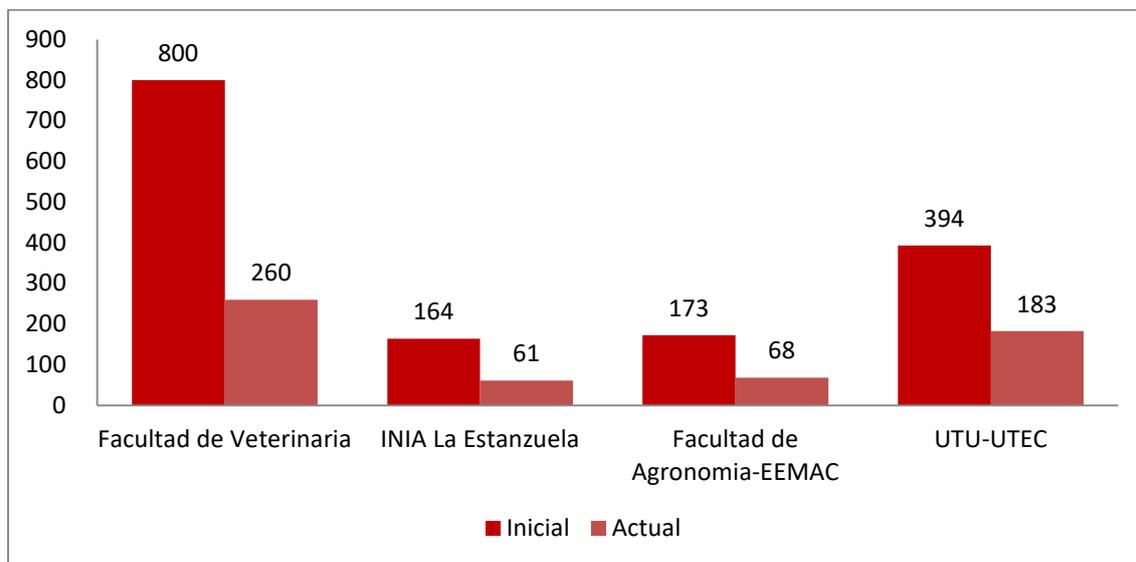
un sistema con doble laguna de almacenamiento y vertido no controla el efluente, mientras que la situación “actual” es la particular de cada SGET implementado.

### 6.5.1 Emisiones y Potencial de eutrofización

Los resultados reflejan la realidad de cada caso de estudio. El sistema que produce menos emisiones resulta ser INIA LE, seguido por EEMAC. Esto se debe a que estos tambos generan menor cantidad de efluente, dado un menor tiempo de espera de ordeño. En INIA LE, el ordeño es voluntario, por tanto las vacas se mantienen con menos estrés y el flujo de pasaje por los órganos es casi constante pero con fluctuaciones. El simulador utilizado para estimar las emisiones considera un tambo convencional, por lo que se debió aplicar un supuesto de 10 lotes en una sala con los 2 órganos existentes. Por otro lado, el que genera más emisiones es FVet, debido a que genera mayor cantidad de residuos al poseer patio de alimentación y por ende mayor tiempo de deposición de excretas.

En el gráfico N°6 se logra apreciar la disminución, en la emisión de GEI generada anualmente en cada institución, cuantificada en términos de los Kg de CO<sub>2</sub> generados por vaca en ordeño. En ambas situaciones (inicial y actual) se mantienen constantes las variables que definen la cantidad de efluente generado, por lo que el impacto se visualiza únicamente considerando el cambio en el SGET en términos de las estructuras de separación mineral y orgánica, acumulación y destino final del efluente.

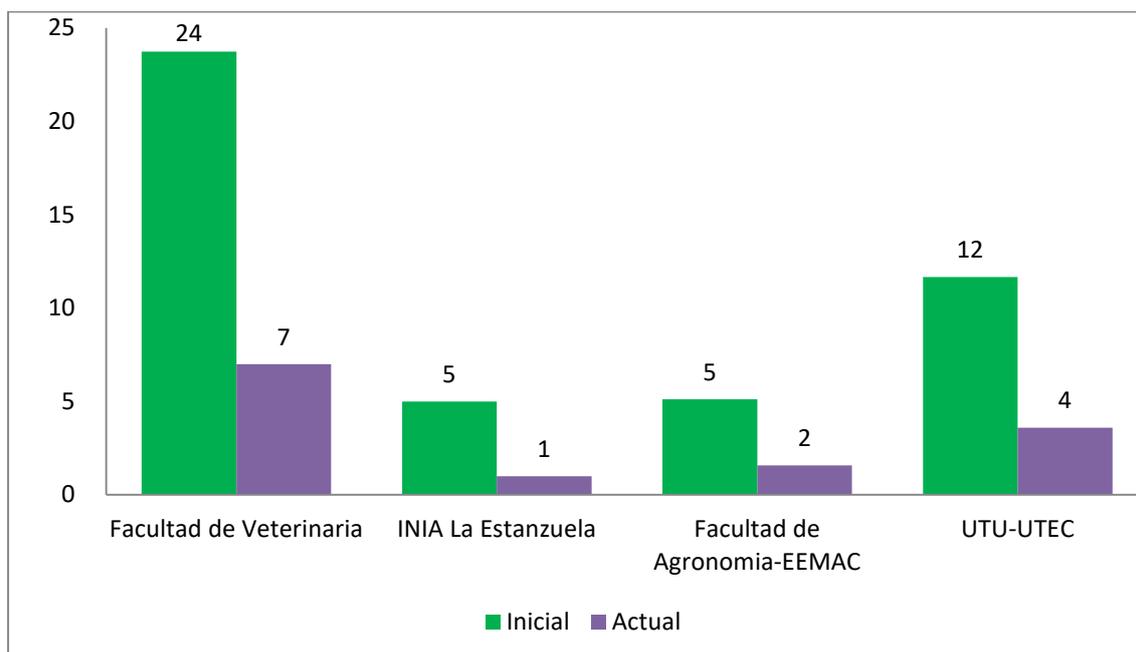
**Gráfico N°6.** Emisión anual de GEI (Kg de CO<sub>2</sub> equivalente/vaca en ordeño), según institución.



La reducción en las emisiones resulta superior al 61% en todos los casos de estudio. En términos relativos, el mayor impacto se explica por la disminución en las emisiones resultado de la sustitución de una sola pileta de acumulación, que almacena efluente clarificado con menor contenido de sólidos y por un período de tiempo menor, y porque ese efluente se devuelve al terreno en forma controlada. Si bien en todos los casos el destino final del efluente es el suelo, existen diferencias entre los sistemas. La cantidad y el manejo del efluente generado, es el principal causal de estas diferencias.

Respecto al potencial de eutrofización expresado en Kg de PO<sub>4</sub> equivalente anual, generado por vaca en ordeño en cada uno de los casos, los resultados se muestran a continuación en el gráfico N°7.

**Gráfico N°7.** Potencial de eutrofización anual (Kg de PO<sub>4</sub> equivalente/vaca en ordeño), según institución.



Al igual que sucede con las emisiones, se aprecia una reducción del potencial de eutrofización asociado a la implementación de estos nuevos SGET en todos los casos, reduciendo el potencial de eutrofización en el orden de un 72% en promedio. Tal como se aprecia en el gráfico, el mayor impacto existe en INIA LE, donde la situación actual significa un 20% de la inicial.

### 6.5.2 Balance de nutrientes

El resultado del balance predial de macronutrientes comparativo para el primer y segundo año de proyecto, según institución, se muestra en tablas N°22 y N°23, respectivamente. Cabe señalar que se excluyen del cálculo las pérdidas por escurrimiento, volatilización, lixiviación y denitrificación, por lo que los resultados en términos absolutos de los balances se infiere estén sobre-estimados. De todas formas se logra analizar la información y visualizar las diferencias entre los casos estudiados. Para la realización del análisis se cuantifican los nutrientes por unidad de superficie, de manera que permita la comparación equivalente entre los diferentes sistemas tal como aplica la bibliografía nacional e internacional, y con el fin de aportar información extrapolable a cualquier otro sistema productivo de nuestro país.

**Tabla N°22.** Balance de nutrientes (N, P y K) y eficiencia de uso de cada macronutriente según caso de estudio para el primer año de proyecto (marzo 2019-febrero2020)

| INSTITUCIÓN                                 | UTU-UTEC (120ha) |      |      | FAGRO-EEMAC (127ha) |       |       | FVET- C. Exp. N°2 (180ha) |      |       | INIA LE (50ha) |      |       |
|---|------------------|------|------|---------------------|-------|-------|---------------------------|------|-------|----------------|------|-------|
| Unidad                                      | Kg/ha/año        |      |      | Kg/ha/año           |       |       | Kg/ha/año                 |      |       | Kg/ha/año      |      |       |
| Macronutriente                              | N                | P    | K    | N                   | P     | K     | N                         | P    | K     | N              | P    | K     |
| ENTRADAS                                    | 92,2             | 36,2 | 58,7 | 346,6               | 110,1 | 176,3 | 286,1                     | 65,8 | 125,1 | 430,7          | 43,0 | 200,1 |
| SALIDAS                                     | 25,9             | 3,9  | 7,8  | 48,0                | 7,6   | 17,3  | 34,5                      | 5,3  | 11,9  | 153,2          | 24,5 | 56,3  |
| ENTRADAS - SALIDAS =                        | 66,3             | 32,3 | 50,8 | 298,6               | 102,4 | 159,0 | 251,6                     | 60,5 | 113,3 | 277,5          | 18,5 | 143,8 |
| Variación de stock animal                   | -16,4            | -4,7 | -1,2 | -20,2               | -5,8  | -1,5  | -16,3                     | -4,6 | -1,2  | -26,5          | -7,6 | -2,0  |
| ENTRADAS - SALIDAS - VARIACIÓN DE STOCK * = | 82,7             | 37,0 | 52,1 | 318,8               | 108,2 | 160,5 | 267,8                     | 65,1 | 114,5 | 304,1          | 26,1 | 145,8 |
| Eficiencia de uso (área total)              | 28,1             | 10,8 | 13,4 | 13,9                | 6,9   | 9,8   | 12,1                      | 8,0  | 9,5   | 35,6           | 57,0 | 28,2  |

**Tabla N°23.** Balance de nutrientes (N, P y K) y eficiencia de uso de cada macronutriente según caso de estudio para el segundo año de proyecto (enero-diciembre 2020).

| INSTITUCIÓN                                 | UTU-UTEC (120ha) |      |       | FAGRO-EEMAC (127ha) |      |       | FVET- C. Exp. N°2 (156ha) |      |       | INIA LE (50ha) |      |       |
|---|------------------|------|-------|---------------------|------|-------|---------------------------|------|-------|----------------|------|-------|
| Unidad                                      | Kg/ha/año        |      |       | Kg/ha/año           |      |       | Kg/ha/año                 |      |       | Kg/ha/año      |      |       |
| Macronutriente                              | N                | P    | K     | N                   | P    | K     | N                         | P    | K     | N              | P    | K     |
| ENTRADAS                                    | 174,2            | 51,0 | 103,5 | 223,8               | 91,7 | 144,3 | 369,4                     | 84,6 | 142,8 | 357,3          | 42,2 | 199,1 |
| SALIDAS                                     | 25,2             | 3,8  | 9,7   | 41,5                | 6,6  | 14,9  | 34,2                      | 6,3  | 13,8  | 160,9          | 25,5 | 59,5  |
| ENTRADAS - SALIDAS =                        | 149,0            | 47,2 | 93,8  | 182,3               | 85,1 | 129,4 | 335,2                     | 78,3 | 129,0 | 196,4          | 16,7 | 139,6 |
| Variación de stock animal                   | -12,2            | -3,5 | -0,9  | -11,4               | -3,3 | -0,9  | -17,0                     | -4,9 | -1,3  | -26,4          | -7,5 | -2,0  |
| ENTRADAS - SALIDAS - VARIACIÓN DE STOCK * = | 161,2            | 50,7 | 94,8  | 193,7               | 88,3 | 130,2 | 352,2                     | 83,1 | 130,3 | 222,8          | 24,2 | 141,6 |
| Eficiencia de uso (área total)              | 14,4             | 7,5  | 9,3   | 18,6                | 7,2  | 10,3  | 9,3                       | 7,5  | 9,7   | 45,0           | 60,5 | 29,9  |

Los resultados muestran que las entradas siempre superan a las salidas de macronutrientes en todos los sistemas y para ambos años evaluados. Así mismo la variación de stock animal muestra, en términos de nutrientes, que existen más animales al inicio que al final del período considerado, en ambos años.

En UTU-UTEC, ingresa menos nitrógeno y potasio que en las demás instituciones en los dos balances realizados, mientras que para el primer año sucede para todos los nutrientes. Esto se explica por una tasa menor de ingresos en alimentación animal y fertilización inorgánica que los demás casos.

Por el contrario, los sistemas que importan mayor cantidad de nutrientes son EEMAC y FVet, aunque el primero mejora la eficiencia en la utilización en el segundo año para todos los nutrientes en mayor grado que el segundo.

Es importante aclarar que durante todo el período evaluado, FVet aún no contaba con el sistema de distribución de líquido a terreno, por lo que no se contempla el reciclaje de nutrientes del mismo y sólo se considera el relacionado a la aplicación de la fracción sólida.

Considerando lo señalado por Oenema (2015), el rango deseable en las eficiencias de uso del nitrógeno se encuentra entre 50 y 90%. Por debajo del 50%, como sucede en los 4 sistemas evaluados, se podría afirmar que todos son ineficientes en el uso de este nutriente, tanto para el primer como segundo año evaluado. Por otro lado, la información nacional (La Manna, A., Duran, H., 2008) indica valores de eficiencia de 22,2% para sistemas con similares características y un máximo de 62,3% para un sistema muy extensivo con un grado de intensificación casi nulo, es decir con muy escasa importación de nutrientes. Considerando

entonces la eficiencia determinada para condiciones nacionales, INIA LE seguido por UTU-UTEC resultarían ser los que mejor utilizan este nutriente. Cabe decir, que el ingreso de nitrógeno al sistema de INIA LE y de UTU-UTEC se explica en un 43 y 65% respectivamente, por la fijación biológica (área y especies de leguminosas). La disponibilidad de este nitrógeno es sustancialmente menor que otras fuentes como fertilizantes inorgánicos o alimentos concentrados, lo que implica un potencial contaminante menor al ambiente.

En lo que refiere a la eficiencia de uso del fósforo, la referencia nacional para un sistema productivo similar a los evaluados aunque con un grado de intensificación probablemente menor, señala un valor de 36,9%. De acuerdo a esto, INIA LE es el sistema que resulta más eficiente en utilizar este nutriente en ambos períodos evaluados. No obstante esto, incluso mejora la utilización de los tres macronutrientes en el segundo año de proyecto, lo que podría suponer una tendencia a reducir la importación de alimentos y fertilización inorgánica y al mismo tiempo, un aumento en el reciclaje de nutrientes. De esta forma, resultaría en un sistema productivo más sostenible en el tiempo, mitigando el impacto ambiental que produce.

Según lo citado en el trabajo nacional mencionado, Aarts et al. (1992) y Berentsen y Giesen (1995) señalan que los suelos tienen capacidad de acumular dentro de ciertos niveles, lo que significa que no necesariamente habrá pérdidas al medio ambiente con acumulaciones posibles de 30 a 100Kg N/ha/año, aunque en el largo plazo es esperable sucedan. Actualmente, está constatado el impacto ambiental negativo causado por la actividad productiva tal como se concebía en el pasado.

## **7. Conclusiones**

Si bien los resultados son preliminares, puede afirmarse que son promisorios en respaldar el beneficio de implementar un correcto SGET en términos agronómicos y ambientales. Se está generando información fundamental para definir acciones que permitan desarrollar sistemas productivos sostenibles, que implican ser más eficientes y más sostenibles. Por este motivo, se mantiene la necesidad de continuar desarrollando investigación nacional en estos temas.

En el transcurso de estos dos primeros años de proyecto, se reafirma la condición de que cada SGET debe ser diseñado y dimensionado según las características del predio, contemplando las particularidades de sus recursos naturales, humanos y económicos, sin olvidar el manejo agronómico, animal y sanitario.

Los niveles de nutrientes en suelo así como sus propiedades fisicoquímicas, reflejan en la mayoría de los casos, un efecto positivo. Incluso, en EEMAC e INIA LE, sería recomendable incorporar en la rotación alguna especie vegetal más extractiva en términos de nutrientes o bien exportar los mismos en forma de forraje con destino a producción de reservas. En lo que refiere al contenido de Fósforo Bray I, se observa la estratificación encontrada por Perdomo en suelos de sistemas lecheros (García Préchac, 2019), donde es notorio el mayor contenido de este nutriente en los primeros 2.5 cm del perfil que en los restantes 12.5cm. Por este motivo, se respalda la recomendación de Perdomo et al. (2015) respecto a la incorporación del efluente al suelo, tanto la fracción líquida como la sólida y así disminuir la llegada de Fósforo soluble a las fuentes agua. Respecto al Potasio intercambiable, los resultados muestran ser superiores a los señalados por Perdomo (2015) para los suelos comprometidos, y se constata respuesta vegetal al agregado de efluente como aporte de este y otros nutrientes.

Para todos los casos de estudio, la aplicación de la fracción líquida del efluente genera un impacto positivo en la producción de forraje. Cuantificando la respuesta anualizada, en Kg de materia seca producida por hectárea (KgMS/ha), las chacras tratadas con efluente fue desde un 30.4% a un 37% superior a las testigos, en EEMAC e INIA LE, respectivamente. En este

sentido y considerando el volumen aplicado en cada caso, el efecto de aplicar 1m<sup>3</sup> de efluente provocó un aumento de 1,03 y 4,26 KgMS/ha, respectivamente en dichas instituciones. La respuesta de la fracción sólida se logra determinar únicamente en EEMAC durante el primer año de proyecto, respetando las condiciones de evaluación, obteniendo un rendimiento 40% superior al testigo sin aplicar.

En lo que respecta al riesgo sanitario potencial, que existe por la aplicación de efluente a terreno, los resultados indican la ausencia de cualquier elemento parasitológico, tal como huevos, larvas o quistes, que afectan la salud humana y bovina. Por ende, se podría inferir que no existe riesgo sanitario de infestación de parásitos en las aplicaciones de ambas fracciones de efluente. No obstante esto, se recomienda continuar con la práctica analítica hasta lograr mayor cantidad de contextos al momento de extraer las muestras, por ejemplo diferentes tiempos de almacenamiento, condiciones climáticas y de manipulación de las pilas de sólidos. Respecto a la presencia de microorganismos indicadores (coliformes fecales), la normativa nacional vigente señala un máximo de 5.000 UFC/100ml para vertido de efluente a cursos de agua (Decreto 253/79), práctica que se evita en estos casos. Por otro lado, estudios de INIA (FPTA N°138) y Facultad de Agronomía indican valores de entre 2.000-130.000UFC/100ml en fracción líquida y 100.000-1.400.000 UFC/100ml para la fracción sólida, pero resta aún correlacionarlo con el pastoreo de las chacras donde se aplican tales fracciones. A priori, siendo que los recuentos realizados se encuentran dentro de los rangos señalados o incluso son en su mayoría inferiores, la implementación de un correcto SGET se supone sea de bajo riesgo sanitario.

Considerando las estimaciones de GEI y potencial de eutrofización en cada caso de estudio, es notoria la reducción en ambos indicadores al incorporar adecuados SGET. Se obtuvieron en promedio para todas las instituciones, una disminución promedio del orden del 60 y 72%, respectivamente. INIA LE resulta el menos contaminante mientras que FVet es en donde mayor emisiones se producen dado que existe un patio de alimentación donde. El mayor impacto en términos de la emisión de GEI existe en FVet, seguido por EEMAC y UTU-UTEC. En cambio, el potencial de eutrofización se redujo más significativamente en INIA LE.

## 8. Anexos

### 8.1 Anexo 1. Chacras evaluadas en el proyecto según tratamiento en cada institución.

| Institución        | Aplicación       |                 | Testigo          |                 | Tipo de suelo                    |                                  | Cultivo   |                 |
|--------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------|
|                    | Fracción líquida | Fracción sólida | Fracción líquida | Fracción sólida | Fracción líquida                 | Fracción sólida                  | Fracción líquida                                | Fracción sólida |
| INIA La Estanzuela | 2 chacras        | 1 chacra        | 2 chacras        | 1 chacra        | Brunosol Sub-éútrico             | Brunosol Sub-éútrico             | Festuca   | -               |
|                    |                  |                 |                  |                 |                                  |                                  | Festuca   |                 |
| UTU-UTEC           | 2 chacras        | 1 chacra        | 2 chacras        | 1 chacra        | Vertisol rúptico lúvico          | Vertisol rúptico lúvico          | Alfalfa + dactylis 2do año                      | -               |
|                    |                  |                 |                  |                 |                                  |                                  | Alfalfa 3er año (2019) y Raigras (2020)         |                 |
| EEMAC              | 1 chacra         | 1 chacra        | 1 chacra         | 1 chacra        | Brunosol éútrico típico y lúvico | Brunosol éútrico típico y lúvico | Festuca 3er año (2019) y Avena y Raigras (2020) | Maíz            |
| FVET*              | 1 chacra         | 1 chacra        | 1 chacra         | 1 chacra        | Brunosol sub-éútrico típico      | Brunosol éútrico lúvico          | -   | Maíz            |

**8.2 Anexo 2.** Ubicación de las chacras alcanzadas por el proyecto en cada SGETT. Referencias: T-FL: testigo fracción líquida; FL: tratada fracción líquida, T-FS: testigo fracción sólida, FS: tratada fracción sólida





## 9. Bibliografía

- Perdomo, C., 2015. Recomendación de Dosis de Fertilización. [http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/RecDosis\\_impr.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/RecDosis_impr.pdf)
- Perdomo, C. Publicación web “a”. Niveles críticos ambientales de P en el suelo para la Cuenca del Río Santa Lucía. FAGRO-UdelaR. [http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Las%20Brujas/Sustentabilidad/FPTA%20medio%20ambiente/6.%20Perdomo\\_FPTA301.pdf](http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Las%20Brujas/Sustentabilidad/FPTA%20medio%20ambiente/6.%20Perdomo_FPTA301.pdf)
- García Préchac. 2019. Contaminación de Aguas Superficiales y Profundas en Uruguay. Foro INALE 2019. <https://www.inale.org/wp-content/uploads/2019/06/PPT-Fernando-Garcia-FORO-2019.pdf>.
- Del Pino, A. Cationes. [http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/cationes\\_impr.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/cationes_impr.pdf)
- [Del Pino, A. Nutrición catiónica \(código 449\). Departamento de Suelos y Aguas. Cátedra de Fertilidad. Facultad de Agronomía.](#)
- Oenema O. et al. EU Nitrogen Expert Panel (2015) Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. 2015. [https://www.researchgate.net/publication/312554339\\_Nitrogen\\_Use\\_Efficiency\\_NUE\\_-\\_an\\_indicator\\_for\\_the\\_utilization\\_of\\_nitrogen\\_in\\_agriculture\\_and\\_food\\_systems\\_Prepared\\_by\\_the\\_EU\\_Nitrogen\\_Expert\\_Panel](https://www.researchgate.net/publication/312554339_Nitrogen_Use_Efficiency_NUE_-_an_indicator_for_the_utilization_of_nitrogen_in_agriculture_and_food_systems_Prepared_by_the_EU_Nitrogen_Expert_Panel)
- La Manna, A., Durán, H. 2008. XXXVI Jornadas Uruguayas de Buiatria. Balance de nutrientes en tambos, una primera aproximación al proceso de identificación y su potencial impacto en el ambiente., pp. 12-17. INIA La Estanzuela. <https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/handle/123456789/98>
- Cartilla N°2: Criterios de aplicación de efluente al terreno y su implicancia práctica en el diseño e implementación. 2019. MGAP-DGRN, DINAMA, BIOVALOR, CONAPROLE. Primera edición. 30 pág. [https://www.inale.org/tipo\\_de\\_informe/efluentes/](https://www.inale.org/tipo_de_informe/efluentes/)
- Manual de medidas exigibles para cultivos y pasturas: Instructivo para la elaboración y presentación de Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos (actualización). DGRN. 2019, 7 pág. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Actualizaci%C3%B3n%20del%20manual%20de%20medidas%20exigibles%205-2019.pdf>
- Manual para la Gestión Ambiental de Tambos. 2016. OPP, DINAMA, LATU. 83 pág. <http://179.27.152.247/ambiente/prevencion-y-control-para-el-cuidado-del-ambiente/control/guias-para-el-sector-industrial-y-agropecuario/item/10008029-manual-para-la-gestion-ambiental-de-tambos>