

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO,
ANTE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES DE TAMBO CON DIFERENTES
SISTEMAS DE GESTIÓN DE EFLUENTES

por

María José ALEGRETTE ALFONSO

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2020

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Gabriel Oleggini

Ing. Civil H/A Manuel Giménez

Ing. Agr. Amabelia del Pino

Fecha:

10 de agosto de 2020

Autora:

María José Alegrette

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, pareja y amigos por el apoyo brindado durante todas las etapas de la carrera, y en especial a mi madre, por recordarme la importancia de recorrer y disfrutar el camino. A mi abuela Carmen, quien desde pequeña, me inculcó el amor por la lechería.

A CONAPROLE por seleccionar y permitir realizar la tesis en tambos remitentes.

A los productores Justino Zavala, Héctor Blum y Erwin Klaassen, quienes junto a sus familias me brindaron el acceso a sus establecimientos, y todas las herramientas y apoyo necesario para realizar el fin de carrera en sus tambos.

A mis tutores, por la paciencia en cada instancia, así como la buena disposición y amabilidad para la realización y culminación de este proceso.

Al equipo de laboratorio de suelos de Facultad de Agronomía, quienes me realizaron la inducción en las técnicas de laboratorio y me guiaron en diferentes instancias.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. EFLUENTES	2
2.2. ESTIÉRCOL	4
2.3. USO DE ESTIÉRCOL PARA NUTRICIÓN DE CULTIVOS	5
2.4. EFECTOS DE LA LECHERÍA SOBRE EL SUELO Y EL AGUA	6
2.5. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	7
2.6. ANTECEDENTES DE MANEJO DE EFLUENTES A NIVEL NACIONAL	10
2.7. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	13
2.8. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	15
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	17
3.1. MARCO DE TRABAJO	17
3.2. CRITERIO DE SELECCIÓN	17
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS.....	17
3.3.1. <u>Tambo 1</u>	17
3.3.2. <u>Tambo 2</u>	19
3.3.3. <u>Tambo 3</u>	22
3.4. MANEJO DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES, MUESTREOS Y ANÁLISIS.....	25
3.4.1. <u>Determinación de franjas</u>	25
3.4.2. <u>Muestreo de suelos</u>	26
3.4.3. <u>Análisis de suelo</u>	27
3.4.4. <u>Tasa de aplicación de efluentes</u>	27
3.4.5. <u>Medición de compactación</u>	30
3.4.6. <u>Muestreo efluentes y estiércol</u>	30
3.4.7. <u>Operación y mantenimiento de los SGET</u>	31
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	32

4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES.....	32
4.2.	CARACTERIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL PROVENIENTE DEL EXTRUSADO DE LOS EFLUENTES DEL TAMBO 2	35
4.3.	LÁMINA DE APLICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ASPERSIÓN.....	38
4.4.	MANO DE OBRA PARA GESTIÓN DE EFLUENTES	40
4.5.	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE APLICACIÓN	46
4.6.	PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	48
4.6.1.	<u>Textura</u>	48
4.6.2.	<u>Profundidad del horizonte A</u>	49
4.6.3.	<u>Medidas de compactación y comparación entre sitios</u>	50
4.7.	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	54
4.7.1.	<u>Carbono orgánico y materia orgánica</u>	54
4.7.2.	<u>pH del suelo</u>	55
4.7.3.	<u>Conductividad eléctrica</u>	58
4.7.4.	<u>Fósforo disponible</u>	59
4.7.5.	<u>Cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na)</u>	62
4.8.	CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS DEL ESTUDIO DE CASOS CON APLICACIÓN DE EFLUENTES	65
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	69
6.	<u>RESUMEN</u>	71
7.	<u>SUMMARY</u>	72
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	74

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Rangos de concentración de nitrógeno y fósforo para efluente a la salida del sistema de tratamiento biológico	3
2. Rangos de pH en el efluente	3
3. Composición del estiércol vacuno	4
4. Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo:agua de 1:1.	15
5. Muestras de efluentes y estiércol, según estacionalidad	30
6. Caracterización del efluente del tambo 1	32
7. Caracterización del efluente del tambo 2	33
8. Caracterización de efluentes del tambo 3.....	34
9. Caracterización del estiércol extrusado de tambo 2.....	35
10. Resumen de tiempos operativos y tareas relativas al SGET del tambo 1	41
11. Resumen de tiempos operativos y tareas relativas al SGET del tambo 2	44
12. Resumen de tiempos operativos y tareas relativas al SGET del tambo 3	45
13. Dificultades operativas detectadas en los sistemas de aplicación de efluentes.....	46
14. Ventajas y desventajas de los sistemas de aplicación de efluentes.....	47
15. Proporciones granulométricas de los suelos en las franjas con y sin aplicación de efluentes	48
16. Contenido de CO y MO del suelo (0-15 cm) en los tres tambos	54
17. pH en los tres tambos	57
18. Niveles de fósforo disponible en el suelo del tambo 1 según estratos	61
19. Niveles de fósforo disponible en el suelo del tambo 2 según estratos	61
20. Niveles de fósforo disponible en el suelo del tambo 3 según estratos	62
21. Cationes intercambiables en el suelo del tambo 1	63
22. Cationes intercambiables en el suelo del tambo 2	64
23. Cationes intercambiables en el suelo del tambo 3	65

FiguraNo.

1. Ubicación geográfica del tambo 1	18
2. Separación de sólidos pasiva del tambo 1	19
3. Ubicación geográfica del tambo 2	20
4. Prensa extrusora del tambo 2.....	21
5. Estercolera del tambo 2.....	22
6. Ubicación geográfica del tambo 3	23
7. Weeping wall en trampa de sólidos del tambo 3	24
8. Trampa de sólidos del tambo 3.....	24
9. Determinación de tasa de aplicación y lámina aplicada (tambo 1).....	28
10. Determinación de tasa de aplicación y lámina aplicada (tambo 2).....	28
11. Determinación de tasa de aplicación y lámina aplicada (tambo 3).....	29
12. Caracterizaciones del estiércol fresco y estiércol extrusado del tambo 2	36
13. Comparación de caracterizaciones de estiércol extrusado	37
14. Lámina aplicada total (mm) en el tambo 1.....	39
15. Lámina aplicada total en el tambo 3.	40
16. Operario y tractor luego del flushing	42
17. Carga de la estercolera desde laguna No. 1.....	42
18. Resistencia a la penetración en tambo 1.....	50
19. Resistencia a la penetración en tambo 2.....	51
20. Resistencia a la penetración en tambo 3.....	52
21. Boxplot para los valores de pH en suelo.	56
22. Boxplot para los valores de CE en suelo.....	58
23. Boxplot para los valores de P Bray I de 0-15 cm..	59
24. Boxplot para los valores de P Bray I de 0-5 cm..	60

1. INTRODUCCIÓN

Por la coyuntura económica internacional que atraviesa la lechería desde el año 2014 en el Uruguay el número de tambos ha disminuido de 4.000 a 3.600. Simultáneamente, desde el ejercicio 2013/2014 hasta el ejercicio 2017/2018 el stock de vacunos lecheros pasó de 778.000 a 766.000 cabezas (MGAP. DIEA, 2019).

La lechería se caracteriza por ser una actividad intensiva desde el punto de vista del uso de recursos e insumos, lo que puede ocasionar un deterioro de los mismos si no son manejados adecuadamente (por ejemplo degradación de estructura de los suelos por el pisoteo). El intensivo uso de insumos, trae consigo la importación de nutrientes al sistema (por ejemplo compra de reservas y suplementos, entre otros).

Las tecnologías utilizadas pueden estar provocando efectos sobre el ambiente no deseados. Según los resultados obtenidos por Arocena et al. (2012), para diferentes microcuencas (cinco eran afluentes directos del embalse Paso Severino, una desembocaba en el Río Santa Lucía Chico, y las cuatro restantes eran afluentes del Arroyo Pintado), se observó que los niveles de fósforo disponible en el suelo estuvieron en un rango entre 11 y 104 mg/kg. Se adujo este aspecto a las aplicaciones de fertilizantes fosfatados sin incorporación al suelo, debido a la siembra directa.

Los residuos orgánicos del tambo (fracción líquida y sólida) deben visualizarse como un recurso debido a su aporte de nutrientes, así como por sus potenciales efectos sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Se ha establecido que contribuyen a incrementar la aireación y la capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico, y mejorar la estructura del suelo, contribuyendo a reducir la erosión (La Manna, 1992).

El presente trabajo tuvo como finalidad, determinar los cambios sobre las propiedades químicas y físicas del suelo, ante la aplicación de efluentes de tambo con diferentes sistemas de gestión, y se pretende evaluar tendencias y/o variaciones a partir de la aplicación de efluentes.

Como segundo objetivo se realizó el estudio de tres sistemas de tratamiento y aplicación de efluentes buscando detectar posibles problemas en la operación y mantenimiento de las diferentes unidades de los sistemas de gestión de efluentes (SGET) de los establecimientos lecheros en estudio. Sin embargo, debido a dificultades en la obtención de la información a partir de los datos recolectados, este objetivo se logró solo parcialmente. Se pretende contar con una línea de base para futuras propuestas de mejoras operativas y/o de diseño.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los residuos orgánicos de tambo, se componen por dos fracciones: una fracción líquida con elevado contenido de agua, materia orgánica y nutrientes, y una fracción sólida con menor porcentaje de humedad, mayor contenido de fibra y sólidos, que también posee nutrientes. Es por ello, que durante el presente trabajo se referirá a efluentes, cuando se trate de la fracción más líquida, y de estiércol, cuando se trate de la fracción más sólida.

2.1. EFLUENTES

Debido a la composición de los efluentes, se reconoce la importancia de su gestión ambiental. Los efluentes de tambo se componen de una fracción sólida (heces, restos de alimentos) y una líquida (agua de limpieza, orina y restos de productos de limpieza y leche). Posee cantidades importantes de materia orgánica, nutrientes y microorganismos junto a cantidades de agua que varían de acuerdo a las características de trabajo de cada tambo. Si bien la problemática de los efluentes de tambos puede ser visualizada y analizada bajo diferentes ópticas, otra opción es tomar conciencia de que los efluentes constituyen un recurso, una fuente de nutrientes que se puede reciclar en el establecimiento, cuando se lo aplica al suelo (La Manna 1992, Longhurst et al. 2000, Richmond 2017).

Los efluentes se diferencian respecto a los fertilizantes inorgánicos, entre otras características, en que los primeros presentan variabilidad y heterogeneidad en su composición lo cual se debe a múltiples factores, y además, presentan un efecto fertilizante menor (La Manna 1992, Longhurst et al. 2000, Salazar et al. 2007).

La composición de los efluentes depende de múltiples factores, entre ellos: momento de los ordeños, la edad y la raza del ganado, la fertilización química del predio, la calidad del alimento, el manejo del agua de lavado y el momento de la lactancia. A la complejidad de los cambios en la composición de los efluentes, se le agrega también la falta de conocimientos de la interacción de las fracciones que componen el efluente (orgánicas e inorgánicas) con las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Longhurst et al. 2000, Hawke y Summers 2006).

Una vez que el animal realiza las deyecciones, los niveles de nutrientes van sufriendo variaciones, lo cual dependerá también del tipo de tratamiento y gestión que se le realice a los mismos. En cuanto al nivel de nitrógeno, se producen pérdidas por volatilización, lo cual se incrementa durante la estación de verano, y ocurre durante el almacenamiento como durante el tratamiento de los efluentes, cuando se trata de sistemas lagunares. Respecto a los niveles de fósforo y potasio, no se producen pérdidas, sin embargo, puede ocurrir algo de precipitación con los sedimentos que decantan en las unidades (MGAP, 2008).

La composición de los efluentes, dependerá del gasto de agua y la dilución o concentración por el ingreso de pluviales. Las concentraciones de nitrógeno total (mg/L) y de fósforo total (mg/L), para sistemas construidos según los criterios aplicados por

PRENADER (Programa para el Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego) y operativos desde al menos 3 años para 22 muestreos realizados por MGAP (2008) presentaron rangos amplios y variables (Cuadro No.1).

Cuadro No.1.Rangos de concentración de nitrógeno y fósforo para efluente a la salida del sistema de tratamiento biológico

	N total (mg/L)	P total (mg/L)
Salida laguna anaerobia	88-433	40-118
Salida laguna facultativa	28-265	23-180

Fuente:tomado de MGAP (2008).

En cuanto a los sistemas de almacenamiento y aplicación de dicha mezcla, dependiendo del tiempo de almacenamiento y de las condiciones meteorológicas, es que existirá en mayor o menor medida la pérdida por volatilización de nitrógeno. Se estima una pérdida por volatilización de 10 a 15 % para efluente almacenado durante un mes, y de 25 a 35% para efluentes almacenados durante aproximadamente 3 meses.En sistemas de doble laguna, en la laguna facultativa ocurren pérdidas de nitrógeno no solo por volatilización, sino que ocurren procesos de asimilación y nitrificación, y desnitrificación. Se estima una pérdida de nitrógeno por volatilización de 30 a 45% para lagunas anaerobias, y de 25% para lagunas facultativas, respecto al nivel de este nutriente en el efluente crudo (MGAP, 2008).

En cuanto al pH, los rangos varían respecto a la etapa del tratamiento de efluente (Cuadro No.2).

Cuadro No.2.Rangos de pH en el efluente

	pH
Efluente crudo	6.5 – 8.5
Lagunas anaerobias	6.0 – 8.0
Lagunas facultativas	7.5 – 9.5

Fuente: tomado de MGAP (2008).

La reutilización de efluentes para el lavado de instalaciones, de acuerdo a Environmental Best... (s.f.), contribuye no solo al ahorro de agua limpia, sino que reduce el volumen total de efluente a gestionar. Los efluentes no son recomendados para la limpieza de la sala de ordeño dado que se requiere mejor calidad del agua. El rociado con manguera de alta presión de efluentes para limpieza, puede contener bacterias y otros materiales peligrosos que pueden causar problemas respiratorios y otros.

Sin embargo, es escasa la información relativa al efecto de la reutilización de efluentes para el lavado de explanadas, las implicancias operativas de los diferentes sistemas (lavado mediante manguera a presión, inundación, otros), sobre la composición del efluente, y no fue posible obtener amplia información de este aspecto.

2.2. ESTIÉRCOL

La composición del estiércol y su contenido de humedad dependen de la dieta y del manejo del ganado pero también de las rutinas de limpieza, y principalmente de las unidades para separación de sólidos que se tenga en el tambo.

El estiércol vacuno proveniente de las unidades de producción de la Facultad de Agronomía y caracterizado por del Pino et al. (2008), para los parámetros analizados presentó un importante contenido de materia orgánica y nutrientes (Cuadro No.3). Este estiércol era fresco, es decir, una muestra de las deyecciones que se acumularon durante la permanencia de las vacas sobre el corral de espera.

Cuadro No.3. Composición del estiércol vacuno

	Estiércol vacuno
pH (H ₂ O)	7.7
C org. total (g/kg)	381.4
N total (g/kg)	21.8
C:N	17.5
C org. soluble (g/kg)	56.4
N org. soluble (g/kg)	4.7
N -NO ₃ ⁻ (mg/kg)	7.6
N -NH ₄ ⁺ (mg/kg)	104.4
P (g/kg)	9.1
Ca (g/kg)	9.2
Mg (g/kg)	3.6
K (g/kg)	3.5
Na (g/kg)	0.7
Cenizas (g/kg)	237.7

Fuente: adaptado de del Pino et al. (2008).

Si los residuos orgánicos provenientes de la limpieza de instalaciones posteriores al ordeño (efluentes y estiércol) pasan por una unidad de separación de sólidos mecánica como una prensa extrusora, la composición de estiércol presenta

algunas diferencias respecto al estiércol fresco. De acuerdo a una caracterización realizada a partir de 10 muestras de estiércol de prensa extrusora presentada por del Pino et al. (2019), esta fracción presenta un pH más alcalino, un mayor contenido de carbono, mayor densidad y mayor relación C/N y concentraciones de nutrientes inferiores a las de un estiércol fresco. También, del Pino et al. (2019) presentaron la composición del estiércol fresco obtenida a partir de caracterizar 11 muestras, observándose mayor contenido de nutrientes, un pH inferior, baja relación C/N, menor contenido de carbono, baja densidad y poca materia seca respecto a un estiércol de prensa extrusora.

Cuando se realiza la separación de la fracción sólida de la fracción líquida de los residuos, se producen materiales que varían en su composición. Esto se debe a las diferencias en el tiempo de estacionamiento y al porcentaje de los sólidos totales que fueron retenidos en las primeras etapas del tratamiento. En aquellos establecimientos en que las pilas de estiércol se almacenan a la intemperie, se producen pérdidas por lixiviación de N, K y algo de P, así como pérdidas gaseosas (Casanova y del Pino, 2008).

A partir de una evaluación operativa de diferentes separadores de sólidos en tambos realizada por Hernández et al. (2019) en Uruguay, específicamente de 2 prensas extrusoras de diferentes proveedores, un tamiz y un estercolero, se obtuvieron resultados relativos a las eficiencias de separación de sólidos sedimentables. Debido a que fueron evaluaciones en solo 4 unidades, se consideran estudios de caso y los resultados no pretenden tener validez estadística. De los muestreos de sólidos retenidos por estas unidades, se observó que las prensas extrusoras separan principalmente las fracciones que poseen tamaños superiores a 0,5 mm (72 y 78%). Mientras que de las fracciones entre 0,5 mm y 8 micras, que son las que sedimentan en las lagunas provocando la colmatación, solo se retuvieron entre el 1 y 9 %. En cuanto a las fracciones inferiores a 8 micras, que ocasionan turbidez al efluente presente en las lagunas, se retienen entre 2 y 8 %. Es decir, que estas fracciones que no fueron retenidas por las prensas extrusoras, ingresarán junto a la fracción líquida a las posteriores unidades del sistema de gestión de efluentes. Esto explicaría por qué el estiércol extrusado posee menor contenido de nutrientes, quedando un mayor componente de fibra.

2.3. USO DE ESTIÉRCOL PARA NUTRICIÓN DE CULTIVOS

Según los resultados obtenidos del experimento realizado por Qian y Schoenau (2002), donde se evaluó la disponibilidad del N en enmiendas orgánicas con diferentes relaciones de C:N, no hubo incrementos en los rendimientos de canola ante el agregado de enmiendas, excepto cuando se aplicó estiércol de aves con un mayor contenido de N orgánico fácilmente mineralizable. Lo mismo ocurrió con la aplicación de estiércol de cerdo granulado fortificado con fertilizante químico nitrogenado. Asimismo, se concluyó que la disponibilidad de N en el suelo luego de la aplicación de las enmiendas, suele estar influenciado por los siguientes factores: la relación C:N del estiércol, la forma del estiércol y el procesamiento (por ejemplo compostaje). Respecto al estiércol de ganado, se observó que el N disponible en el suelo en el corto plazo no se incrementaba cuando

las relaciones de C:N se encontraba en rangos de 13-15, y la disponibilidad de N tendía a disminuir en el corto plazo, cuando la relación C:N era superior a 15.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Diez (2010), a partir de un experimento realizado en Atreuco, La Pampa, Argentina, una proporción del nitrógeno se encuentra bajo formas orgánicas lo que limita la disponibilidad para las plantas, pero la mayor parte se encuentra de estructuras como proteínas y aminoácidos, que pueden rápidamente quedar disponibles para las plantas.

Se ha observado que la disponibilidad de nutrientes de los efluentes y estiércol es alta, de acuerdo al estudio realizado por Richmond (2017), donde se evaluó el efecto de la aplicación de efluente líquido de tambo en la productividad forrajera (para los cultivos maíz para silo, raigrás anual para pastoreo, soja y alfalfa de pastoreo), se observó una elevada producción de materia seca específicamente para el raigrás anual y la alfalfa.

Según los resultados obtenidos por Casanova et al. (2007), a partir de la aplicación del material acumulado durante un período de 5 años desde la laguna anaeróbica en dos dosis diferentes, al encontrarse más estabilizado, se observaron incrementos en la producción de forraje en el transcurso de los tres años posteriores. El tratamiento que recibió mayor dosis, tuvo mayor incremento en la producción de materia seca. Contrariamente a lo esperado, las aplicaciones directas de los materiales de la laguna de retención de sólidos, no produjeron cambios positivos en las propiedades del suelo ni en la producción de forraje.

2.4. EFECTOS DE LA LECHERÍA SOBRE EL SUELO Y EL AGUA

En Uruguay uno de los problemas ambientales vinculados a la actividad lechera y a los diferentes usos de suelo, es la erosión hídrica. El fósforo es un nutriente poco móvil, y su movimiento depende del transporte de partículas de suelo a las cuales se encuentra adherido. Una estratificación superficial de este nutriente, incrementa los riesgos de contaminación de cursos de agua, si los sedimentos llegan a éstos. La pérdida de nitrógeno y fósforo por erosión acelerada, desplazándose de partes más elevadas y culminando en los cursos de agua, causan eutrofización (Durán y García, 2007).

En suelos dedicados a la lechería, en el área de Young, se encontraron valores promedios de fósforo disponible (Bray I) de 20 y máximos de 65 mg/kg, mientras que en la zona de Libertad, Villa Rodríguez, Tarariras, San José y San Ramón, los promedios fueron de 30 y los máximos de 99 (Morón y Baethgen, citados por Perdomo et al., 2015). De los resultados preliminares obtenidos del relevamiento realizado por Perdomo et al. (2015) en 35 sitios dentro de la zona lechera de la cuenca del río Santa Lucía, se evaluó el contenido de fósforo disponible (Bray I) en el estrato más superficial del suelo, de 0 a 2,5 cm. La distribución de la concentración de fósforo en diferentes rangos, mostró una gran estratificación de este nutriente en el suelo, mostrando proporción de 66% en el rango de 31-60 mg/kg de fósforo disponible, y 25% en el rango de 61-100 mg/kg. Los aportes de fósforo desde los suelos agrícolas hacia las aguas superficiales,

estarían ocurriendo mediante aportes en forma de particulado y soluble, y el control de la erosión no sería suficiente por si sola para resolver esta problemática. Es por ello que se recomienda el control de la fertilización fosfatada y que se incorpore en el suelo, de forma de disminuir la estratificación de este nutriente, con mayor proporción en los horizontes superficiales (Perdomo et al., 2015).

Arocena et al. (2012) realizaron una investigación sobre 10 cursos de agua ubicados en microcuencas (8 de ellas lecheras), cuyos aportes provenían solo de actividades agropecuarias. Los muestreos de fósforo disponible (Bray I) fueron superiores a 20 mg/kg sobre aquellas parcelas con cobertura de pradera respecto a los efectuados sobre campo natural. Este nivel de nutriente en el suelo, es el límite por encima del cual no habría respuesta vegetal ante el incremento en el agregado de fósforo. En las diez microcuencas evaluadas, los valores de fósforo disponible se encontraron entre 11 y 104 mg/kg

Debido a la composición de los efluentes de tambo, la percolación de efluentes al agua subterránea, puede provocar afectación de las perforaciones para abastecimiento del propio establecimiento (Richmond, 2017). En muchos países, las aguas subterráneas y superficiales, se han contaminado gravemente por la acumulación de nitratos provenientes de los efluentes, por la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados, y por aplicaciones de residuos orgánicos enriquecidos en nutrientes (Carter, citado por Hawke y Summers, 2006).

La aplicación a terreno de los efluentes permite que no sean enviados nutrientes a las vías fluviales, pero puede ocasionar otros problemas ambientales si no se realiza adecuadamente (Hawke y Summers, 2006). Si las tasas de aplicación de efluentes son inadecuadas o el tiempo durante el cual se aplican los mismos, puede ocurrir lixiviación de nitratos y contaminación de agua subterránea, contaminación de cursos de agua superficiales, desequilibrio de nutrientes en el suelo y afectación en la salud animal (Wang, citado por Hawke y Summers, 2006).

El efluente sin tratamiento, o vertidos directos desde la sala de ordeño y corral de espera, generan una presión sobre el suelo y las fuentes de agua superficiales (La Manna 1992, Casanova y del Pino 2008). No solo provoca pérdidas de nutrientes que contaminan las aguas superficiales y profundas, sino que si se realiza sobre áreas reducidas, hace que la capacidad buffer del suelo se vea saturada, o en su defecto, se realice una retención selectiva de algunos nutrientes (Casanova y del Pino, 2008).

2.5. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

En cuanto al diseño de lagunas de almacenamiento y disposición al terreno, estos sistemas para gestión de los residuos orgánicos, son utilizados en Europa occidental y Estados Unidos, donde los sistemas productivos difieren de las características que presentan los sistemas nacionales. Estas diferencias se dan tanto en la alimentación (confinados vs. pastoril), como en el manejo del rodeo y volúmenes de excretas manejadas (24 horas y material de las camas de animales vs. horas en área de

ordeño). En algunos sistemas, se realiza una separación primaria por sedimentación de sólidos gruesos tales como arena, piedras y partículas orgánicas rápidamente sedimentables.¹

Respecto a los SGET compuestos por sistemas lagunares, fueron ampliamente utilizados en Australia y Nueva Zelanda, principalmente durante las décadas del 70 y 90 del siglo XX. En Australia, este tipo de tratamiento fue empleado por la necesidad de reutilizar el agua residual, luego del tratamiento, presenta reducción de olores, sólidos y patógenos. En Nueva Zelanda, fue empleado el sistema de doble laguna (una anaeróbica en serie con una facultativa), que tiene efectividad en reducción de la carga orgánica, pero no en la remoción de nutrientes (Zaman et al., 2002)¹, mencionan que antes del crecimiento de la aplicación de efluentes de tambo al terreno, en Nueva Zelanda, se trataban los mismos típicamente en un sistema de dos lagunas (anaeróbico y aeróbico), y luego eran descargados a cursos de agua. El proceso de intensificación de los sistemas lecheros por incremento en el número de vacas lecheras en Nueva Zelanda, así como la disminución del número de tambos que ocasionó un crecimiento del tamaño promedio de cada establecimiento pasando de 121 a 220 vacas, provocó un incremento en los volúmenes de efluentes generados en las superficies de ordeño. El número de vacas lecheras en Nueva Zelanda se ha incrementado en 57% en un período reciente, de 2.05 millones a 3.22 millones en la temporada 1997/1998 (Anon, citado por Longhurst et al. 2000, Longhurst et al. 2000).

Actualmente en Nueva Zelanda, la aplicación de los efluentes de tambo en el suelo, se ha convertido en el método preferido para minimizar el riesgo de contaminación de las aguas superficiales, y para abordar las preocupaciones sociales sobre el vertido de desechos a las vías fluviales (Hawke y Summers, 2006).

Desde un punto de vista ambiental, en Nueva Zelanda, el nitrógeno (N) es el elemento de mayor importancia, a diferencia de las condiciones de Uruguay donde el mayor problema es la eutrofización de los cursos de agua por llegada principalmente de fósforo. Desde 1991, la Ley de Gestión de Recursos designó a los consejos regionales la responsabilidad legal de proporcionar un marco general para gestionar las descargas permitidas en el medio ambiente (Longhurst et al., 2000).

En Argentina, desde el comienzo de la década del 90, ha ocurrido una intensificación en el uso de los recursos en los tambos, debido a que tambos de mayor porte fueron absorbiendo tambos más pequeños. Esto ha provocado que se concentren mayores cantidades de excretas en establecimientos que no se encontraban dimensionados para estos crecimientos productivos, ni dimensionados para gestionar elevados volúmenes de excretas. En este país, gran parte de los antecedentes relativos a la gestión de efluentes y estiércol, se corresponden con los resultados obtenidos en la Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. En este sitio se investiga y se han

¹INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2006. Estimación de los parámetros nacionales y básicos para el procesamiento y utilización de los residuos sólidos y líquidos de tambos: informe final (sin publicar).

realizado evaluaciones a partir de las cuales surgen recomendaciones y pautas técnicas, lo cual es de importancia para lograr un aprovechamiento agronómico de los nutrientes presentes en los residuos orgánicos de tambo. Se ha hecho cada vez más notoria la necesidad de gestión de los efluentes de tambo dado que la normativa ambiental se ha vuelto cada vez más exigente, y está siendo considerado como un factor condicionante para exportaciones. Sin embargo, de acuerdo a García (2017), la normativa en Argentina relativa a la gestión de los efluentes, al 2018 sigue siendo poco específica.

En Argentina también se busca aplicar los efluentes y estiércol al suelo por sus efectos beneficiosos en las propiedades del mismo, así como los cambios que ocasiona sobre los cultivos. De acuerdo a los resultados obtenidos por Diez (2010) a partir de su experimento realizado en el departamento de Atreuco, La Pampa, Argentina, las parcelas de maíz que recibieron aplicaciones de efluentes brutos (sin tratamiento) presentaron mayor producción. Además, los contenidos de nitrato en los primeros 20 cm del perfil del suelo se incrementaron. A partir de los resultados fue posible aseverar que los aportes de nutrientes de los efluentes, puede tener beneficios económicos dado que puede sustituirse parte de los fertilizantes químicos aplicados.

Un problema que incluso en los años de realización del presente trabajo no se ha resuelto en su totalidad, es la falta y/o limitado desarrollo del marco legal para gestionar los efluentes y estiércol en varios países. Según los datos relevados y obtenidos por Yapur (2011) durante la evaluación de un sistema de riego de efluentes de tambore de la empresa Delaval Bosio instalado en la Estación Experimental Rafaela del INTA, se llegó a la conclusión de que la carencia de legislación aplicada y específica que regule la gestión ambiental de los efluentes de tambo, determinó que en aquellos establecimientos lecheros donde no se utilizaba el sistema de aspersion por diferentes causas, los efluentes eran arrojados a cunetas y fuentes de agua cercanas al tambo, o se esparcían en zonas aledañas a las instalaciones de ordeño, pudiendo ocasionar contaminación y malos olores.

Hacia el Sur de Chile existen condiciones de suelos y climáticas óptimas para la producción ganadera y láctea, concentrándose en las regiones de Los Ríos y Los Lagos la mayor cantidad de cabezas de stock de ganado lechero, y la mayoría de los productores lecheros totales del país, de acuerdo a los datos reportados por Consorcio Lechero (2015). Los efluentes caracterizados por Salazar et al. (2007) presentaron elevado contenido de materia orgánica, bajo porcentaje de materia seca y un pH ligeramente básico. El bajo contenido de materia seca se adujo al uso de agua para limpiezas, y al ingreso de agua directa e indirectamente a la unidad de acumulación de efluentes, por ejemplo la lluvia en áreas de mucha precipitación. El uso del estiércol en los suelos del Sur de Chile que se caracterizan por ser ácidos, contribuiría a elevar su pH. En cuanto a los contenidos de nutrientes, se observó variabilidad entre tambos y en el mismo establecimiento pero en diferentes estaciones, lo que puede deberse a las dietas de los animales, edad y raza del ganado, manejo de los animales, entre otros.

En México, se dispone de una gran base de datos sobre los efectos por la aplicación de aguas residuales sobre suelos con diferentes cultivos, y las repercusiones sobre el agua subterránea, la salud humana y el suelo. Si bien no se trata de efluentes provenientes de la lechería, se consideran un antecedente para evidenciar la relevancia de gestionarlos y verlos como un recurso, y no como un residuo. Según lo reportado por Siebe et al. (s.f.), los suelos sobre los cuales se han aplicado aguas residuales de tipo doméstico tuvieron un incremento en el contenido de materia orgánica en una proporción de más del 60% luego de recibir aplicaciones de 30 a 40 años, y se alcanza un equilibrio entre incrementos en la producción de biomasa y la descomposición. Además, el incremento en el contenido de materia orgánica incrementa la capacidad de adsorción de los suelos, no solo de nutrientes, sino de contaminantes. Respecto al pH del suelo, hubo una ligera disminución, aunque no considerada significativa, lo cual demuestra la capacidad buffer del suelo. En cuanto al nitrógeno de las aguas residuales, las cantidades aportadas a los cultivos eran excesivas. Además, las emisiones de dióxido de carbono en suelos bajo aplicaciones de aguas residuales fueron superiores respecto a suelos bajo agricultura de secano, debido al incremento en la actividad microbiana.

A partir de las aplicaciones de efluentes no tratados sobre alfalfa en un área cercana a la ciudad de México, Siebe (1998) observó que los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en el suelo variaron durante el período evaluado, lo cual lo atribuyó a la rotación de cultivos, así como al método de aplicación del efluente (inundación y por canales) lo que haría una distribución heterogénea de los nutrientes en el suelo. Sin perjuicio de lo anterior, los contenidos de fósforo se incrementaron en el suelo durante los años de aplicación, mientras que respecto al nitrógeno, se incrementó ligeramente. Sobre las posiciones de intercambio catiónico, el calcio disminuyó, mientras que la saturación por sodio, magnesio y potasio se incrementaron, a la vez que se incrementó el contenido de materia orgánica, lo que pudo contribuir a que no ocurriera pérdida de estructura de esos suelos. De acuerdo a los resultados reportados por Siebe y Fisher (1996), la conductividad eléctrica de los suelos bajo riego de aguas residuales (alcalina, con pH entre 7,75 y 8,37) fue superior a los valores encontrados sobre suelos bajo agricultura de secano. Los contenidos de carbono orgánico de los suelos bajo riego de aguas residuales, de acuerdo a los resultados reportados por Siebe y Fischer (1996), Siebe (1998) se vieron incrementados, respecto a los suelos que se encontraron bajo agricultura de secano, lo cual no solo fue aducido al efecto de los efluentes, sino también al incremento en la producción de biomasa de los cultivos, lo que también se refleja con mayores restos de cultivos incorporados al suelo.

2.6. ANTECEDENTES DE MANEJO DE EFLUENTES A NIVEL NACIONAL

En Uruguay, a lo largo del tiempo, han existido diferentes concepciones respecto a cuáles son las mejores prácticas de gestión de efluentes de tambo a promoverse, cuál puede ser el destino final admisible para el efluente y el estiércol, así como las diferentes exigencias a los establecimientos por parte del organismo contralor (MVOTMA. DINAMA). Los SGET evaluados inicialmente por los investigadores e

implementados por los productores, consideraban procesos de tratamiento para poder verter los efluentes a cursos de agua.

En la década del 90 e incluso hasta la primera década del 2000, las investigaciones y recomendaciones consideraban el vertido de efluentes a cursos de agua. Como antecedentes nacionales, se encuentran, entre otros, 1) el acuerdo firmado en 1997 entre Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, CONAPROLE y UdelaR. Facultad de Veterinaria, con participación del MGAP, LATU y representantes de Gremiales de Productores Lecheros, para el desarrollo de directrices para el manejo de efluentes de tambo; 2) el PRENADER implementado en el año 1998, donde se construyeron y evaluaron 56 sistemas de doble laguna y 9 sistemas de fosa séptica construidos con dicho programa. Los sistemas de doble laguna estaban compuestos por trampas de arena, laguna anaeróbica en serie con una facultativa¹.

Dado que la posibilidad de verter efluentes al curso era considerado como una opción, se promovían diseños que permitieran minimizar la cantidad de sólidos, reducir el contenido de materia orgánica y disminuir en una parte, la concentración de nutrientes. Sobre los diseños y tipos de SGET, y específicamente respecto al sistema de doble laguna, se establece como ventaja de este sistema el bajo costo relativo para el largo plazo de almacenamiento. Bien diseñado sería esperable un bajo costo de mantenimiento. De acuerdo a las recomendaciones de La Manna (1992), un efluente saliente de una laguna de régimen aerobia presentaría características como para su vertido a curso de agua, o puede ser utilizado para la aplicación al terreno sobre cultivos. Las aseveraciones de La Manna (1992) evidencian que en aquel año, era una opción el verter efluentes a cursos de agua, aun cuando un sistema lagunar no es suficiente para remover los nutrientes hasta dar cumplimiento a los estándares establecidos en el Art 11°. del Decreto 253/979. Posteriormente el vertido a cursos de agua dejó de ser admisible, en particular a partir de los aumentos en las exigencias ambientales para el sector lechero a consecuencia del evento de proliferación de algas en la cuenca del río Santa Lucía en el 2013, lo que ocasionó mal olor y mal sabor al agua que abastecía a la población de Montevideo.

Actualmente se privilegia la disposición de efluentes al terreno frente a otras alternativas, para valorizar el agua, materia orgánica y los nutrientes contenidos en el efluente, lo cual lleva a un ahorro de fertilizantes químicos. Es por ello, que los SGET antes promovidos de múltiples lagunas para reducir la materia orgánica y la carga de sólidos, dejan de tener sentido cuando el objetivo es aportar estos componentes al suelo. La configuración de varias lagunas, se promueve como alternativa para tambos que reutilizan las aguas para limpieza, y en los cuales se necesita obtener un líquido más clarificado con menor contenido de sólidos y bacteriológico (Correa et al., 2016).

Respecto a la contaminación del agua subterránea, esto puede deberse, entre otras razones, a que las unidades utilizadas para tratamiento/almacenamiento de los efluentes o estiércol (lixiviados de los mismos), infiltran en profundidad, y no estén desvinculadas hidráulicamente del entorno. En el marco regulatorio de las leyes No.

16.466 y el código de Aguas No. 14.859, MVOTMA. DINAMA establece que se alcance un coeficiente de conductividad hidráulica menor o igual a 1×10^{-7} cm/seg para considerar que una unidad es impermeable, como lo establece el “Manual para la gestión ambiental de tambos” de Correa et al. (2016). Cabe aclarar que una importante proporción de los suelos de la zona Sur de Uruguay tiene una baja conductividad hidráulica (Molfino y Califra, 2004).

Si los efluentes son aplicados en condiciones de saturación de agua de los suelos y condiciones climáticas adversas se producirá un escurrimiento superficial altamente contaminante. El aplicar el estiércol e incorporarlo inmediatamente al suelo, evita que haya escurrimiento superficial a la vez de disminuir las pérdidas de nitrógeno (La Manna, 1992). De todos modos, esta incorporación se refiere a estiércol proveniente de la separación de sólidos, ya que no tiene sentido incorporar efluentes líquidos al suelo mediante laboreo. La recomendación para líquidos es aplicarlos mediante riego cuando el contenido de agua de los suelos permita la infiltración.

De modo general, a nivel de todo el territorio nacional, existe normativa, específicamente a través del Art. 11º. del Decreto 253/979 y sus modificativos, donde se establece la distancia mínima a curso de agua y pozos manantiales de 50 metros cuando las aplicaciones de efluentes, cuando el sitio de disposición final sea mediante infiltración al terreno. Particularmente, en la Cuenca del Río Santa Lucía, a partir del surgimiento del “Plan de Acción para la protección de la Calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable” de la Cuenca del Río Santa Lucía, surge por la medida No. 8 (reglamentada a través de la Resolución Ministerial No. 229/015), la obligatoriedad de instaurar zonas de amortiguación en determinadas zonas de la cuenca hidrográfica (MVOTMA, 2013).

Uno de los diseños de SGET recomendado es una sola laguna. Sin embargo, el sistema de gestión de efluentes de tambo (en adelante SGET) de cada establecimiento, dependerá del sistema de producción de cada uno de ellos. En ese caso, se recomienda incorporar una unidad de separación de sólidos entre el sistema de desarenado y el sistema de almacenamiento. Esto tiene el objetivo de mejorar la calidad del agua vertida, recuperar el sólido para una revalorización más adecuada y evitar costos innecesarios vinculados a limpiezas de lagunas de almacenamiento por sedimentación de sólidos (Correa et al., 2016).

Existen prácticas en los tambos para minimizar la generación de efluentes y reducir el consumo de agua limpia. De acuerdo con Correa et al. (2016) se recomienda la limpieza en seco del corral de espera, arrear el ganado a paso normal para minimizar las deyecciones en la planchada de espera y que las mismas sean en el campo, ordeñar en lotes, humedecer corral de espera antes del ingreso de animales, reutilizar agua de enfriamiento y del intercambiador de placas, entre otras.

2.7. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Los suelos utilizados para la lechería se caracterizan por ser utilizados de forma intensiva ya sea por el pisoteo del ganado, la permanente producción de alimentos, entre otras actividades que provocan su degradación si no se toman precauciones.

Morón et al. (2009), evaluaron en suelos de los departamentos de Colonia, San José y Florida que son utilizados para la producción lechera, en base a los parámetros evaluados: carbono orgánico, Densidad aparente, pH, potasio intercambiable y Potencial de Mineralización del nitrógeno (PMN). Los suelos con pradera/verdeo presentaron deterioro respecto a los suelos imperturbados evaluados. Los potreros bajo praderas/verdeos presentaron mayor densidad aparente, menor pH, menor proporción de carbono orgánico, menor contenido de K intercambiable lo que se acentuaba en profundidad y menor PMN respecto a las muestras de suelos de referencia. No fue aclarado que estos suelos recibieran aplicaciones de efluentes, por lo cual no podría aducirse estos efectos a este motivo.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Beretta-Blanco et al. (2019), se observó que debido al proceso de intensificación del uso de suelo para agricultura, los niveles inferiores de K intercambiable en esta matriz, se deben a procesos de fijación, lixiviación, escorrentía superficial, ya que las extracciones de este catión por los granos, no serían tales como para ocasionar tal disminución. Además, se concluyó que la disminución en el contenido de carbono orgánico del suelo debido a la intensificación del uso del suelo para agricultura, se debió por el incremento de la erosión, aumento de la degradación biológica (respiración) de la materia orgánica y una mayor extracción de nutrientes. Asimismo, se observó acidificación del suelo, lo que se relacionó a la disminución del contenido de carbono orgánico y a la disminución de la capacidad buffer de amortiguar los cambios abruptos de pH. Esto conlleva menores rendimientos de cultivos, menores incorporaciones de biomasa y debido a ello, menor contenido de carbono orgánico.

Es importante considerar la aplicación de efluentes debido a la composición de los mismos y sus potenciales contribuciones al suelo. Por lo tanto, un mejoramiento en el manejo de suelos y efluentes podría contribuir a revertir las pérdidas de CO que se han observado en los predios lecheros. A partir del procesamiento realizado por Díaz Rossello y Durán (2011), de los datos relevados durante 35 años en la unidad de lechería de La Estanzuela, se observó una situación promisoriosa de incremento en la capacidad de secuestro de carbono orgánico y posible restauración de la fertilidad productiva sobre suelos de sistemas de alta productividad lechera, basados en tecnologías como la siembra directa, rotaciones forrajeras e inclusión de leguminosas. Estos resultados son contrarios a los resultados obtenidos por Morón et al. (2009). Además, se proyectaron estos resultados debido a los cambios tecnológicos introducidos (disminución hasta la nulidad del laboreo de suelos, planificaciones de rotaciones forrajeras, incorporación de leguminosas para fijación de N, disminución de barbechos de invierno sin cobertura) a

los ocurridos y que ocurren en la actualidad en los suelos de los establecimientos lecheros de alta productividad. Los incrementos en la capacidad de secuestro de carbono orgánico son debidos principalmente a los cambios tecnológicos implementados en el transcurso de los años.

En lo relativo a los cambios en las propiedades químicas del suelo a partir de las aplicaciones de efluentes de tambo, de una evaluación realizada por Richmond (2017) en cercanías de la ciudad 9 de Julio (Argentina), tuvo como resultado con el agregado de efluentes, mejoras sobre las condiciones químicas del suelo en cuanto al contenido de C y nutrientes (P, N y S), debido a incrementos en los valores de cada uno, y principalmente en el estrato de 0-5 cm. También se registró un leve aumento de las condiciones de salinidad, pero manteniéndose en valores que no representarían un problema para la producción.

Sin embargo, otros autores presentaron resultados diferentes. Respecto a los valores de MO y nitrógeno total, Gambudo et al. (2014) a partir de su experimento realizado en Santa Fé (Argentina) observaron una muy pequeña modificación, lo cual era un resultado esperado debido a que la cantidad aplicada por los efluentes no fue elevada. En cuanto a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), tuvo escasa o nula variación en su contenido. La escasa alteración de los cationes, puede deberse al leve incremento de la CIC, y por ello, los porcentajes de saturación de cationes permanecieron casi inalterados. Sobre los valores de Conductividad Eléctrica, no hubo variaciones, a pesar de la cantidad de sodio (Na) aplicada con el efluente, posiblemente por la posible lixiviación de este elemento, ya que la absorción vegetal del Na es reducida. En modo general, no se verificaron modificaciones significativas sobre las propiedades químicas del suelo, especialmente en aquellas que podrían tener efecto negativo sobre la estructura del suelo, por ejemplo el sodio.

Según los resultados obtenidos por Goold (1980), en cuanto a los niveles de potasio (K) y magnesio (Mg) en el suelo, evidenció acumulación de estos nutrientes en las parcelas que recibieron efluentes, respecto a un tratamiento que recibió agua. Sobre el calcio (Ca) y fósforo (P), si bien no hubo un efecto estadísticamente significativo del tratamiento con efluentes, hubo una tendencia hacia niveles más bajos de estos nutrientes en las parcelas que solo recibieron agua. Sobre el pH, los niveles se elevaron en las parcelas que recibieron efluentes respecto a las que solo recibieron aplicación de agua.

Respeto a la conductividad eléctrica, se refiere a la cantidad de sales presentes en un suelo. Todos los suelos presentan cierta cantidad de sales, que son relevantes para el crecimiento de las plantas. Las mediciones de conductividad eléctrica determinan la cantidad de aniones o cationes (sales) presentes en la solución del suelo. Cuanto mayor es la cantidad de sales, mayor será la lectura de la conductividad eléctrica. De acuerdo a los rangos de conductividad eléctrica y las clases de salinidad, habrá diferencia respuesta de los cultivos (Cuadro No. 4, USDA. NRCS, 1999).

Cuadro No. 4. Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo:agua de 1:1

Conductividad eléctrica (dS/m a 25°C)	Clases de salinidad	Respuesta de cultivo
0- 0,98	No salino	Efectos casi despreciables
0,98- 1,71	Muy ligeramente salino	Se restringen los rindes de cultivos muy sensibles
1,71 - 3,16	Ligeramente salino	Se restringen los rindes de cultivos de la mayoría de los cultivos
3,16 - 6,07	Moderadamente salino	Solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 6,07	Fuertemente salino	Solo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente

Fuente: adaptado de USDA. NRCS (1999).

2.8. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Se ha establecido que los residuos orgánicos de tambo, aumentan la aireación, la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico y al mejorar la estructura del suelo reduce la erosión (La Manna, 1992).

En cuanto a la contribución en la mejora de las condiciones edáficas, y específicamente la resistencia a la penetración como indicador indirecto de la compactación del suelo por ende de la pérdida de estructura, de acuerdo con los resultados obtenidos por Richmond (2017), la franja con efluente presentó menores valores de resistencia a la penetración y mayor contenido de humedad en los 30 cm superficiales, respecto a la franja que no recibió aplicaciones.

Respecto al agregado de enmiendas orgánicas al suelo, y sus efectos sobre la calidad estructural de los suelos, Aggelides y Londra (2000) obtuvieron como resultado de su experimento, que el agregado de enmiendas mejoraron las propiedades físicas del suelo, lo cual fue proporcional a las tasas aplicadas, es decir, la densidad aparente y la resistencia a la penetración se redujeron, y la porosidad total y la conductividad hidráulica saturada aumentaron. El aumento de la porosidad total fue superior en el suelo limoso sobre el suelo arcilloso, se incrementó la capacidad de retención de ambos suelos, así como la porosidad, mientras que la estabilidad de los agregados también se incrementó.

Sin embargo, Imhoff et al. (2014) contrariamente a los resultados obtenidos por Aggelides y Londra (2000), no tuvieron respuesta al agregado de efluentes líquidos de tambo, lo cual lo atribuyeron a que el porcentaje de materia orgánica no fue tan

elevado o a la duración del ensayo que no fue la suficiente para ocasionar cambios sobre la agregación del suelo.

El pisoteo que realizan los animales durante el pastoreo, favorece la compactación del suelo en los primeros estratos, lo que causa modificaciones sobre la estructura del suelo, es decir, sobre el ordenamiento espacial de los agregados del suelo y los poros (Taboada 2007, Medina 2016). Las presiones sobre el suelo, suelen aumentar durante el pastoreo debido a que los animales apoyan 2 o 3 patas, y el tránsito durante el potrero dependerá de la disponibilidad de forraje y de la cercanía a bebederos. En cuanto a la respuesta del suelo al tránsito animal, cuando el suelo se encuentra más seco (con menor contenido hídrico), su capacidad portante es máxima, y la probabilidad de que sufra daños estructurales se hace mínima. Lo contrario ocurre cuando el suelo se encuentra con mayores contenidos de humedad, y se vuelve propenso a sufrir una mayor compactación superficial. Se describe el daño por compactación como la ocurrencia simultánea de ciertas características: aumento en la densidad aparente de los suelos, descensos de la macroporosidad, aumentos de la resistencia superficial y descensos de infiltración y conductividad hidráulica saturada (Taboada, 2007). La disposición de efluentes al terreno, podría llegar a empeorar la compactación en suelos húmedos. La compactación de suelos provoca la reducción de las dimensiones de los poros lo suficiente como para inhibir la penetración radicular, lo cual puede causar reducción de manera significativa de la velocidad o tasa de infiltración de la lluvia (Douglas, citado por Medina, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MARCO DE TRABAJO

El trabajo fue realizado en tres tambos que fueron seleccionados en conjunto con CONAPROLE, y forman parte del Proyecto “Tambo Sustentable” desarrollado por CONAPROLE, donde se ofrece asistencia técnica integral y accesible a los tambos remitentes a la cooperativa para mejoras en infraestructuras. Como parte de la asistencia técnica, un equipo técnico multidisciplinario, asesora a los productores en lo relativo a la gestión de los efluentes y residuos provenientes del tambo, no solo para cumplir con la normativa ambiental vigente, sino para cumplir con los objetivos del proyecto antes mencionado.

3.2. CRITERIO DE SELECCIÓN

El criterio empleado para la selección de los establecimientos, fue que contaran con diferentes diseños de sistemas de gestión de efluentes de tambo (en adelante, SGET) para poder evaluar los efectos de los efluentes con diferentes composiciones, en las propiedades químicas y físicas del suelo. Se priorizó seleccionar aquellos establecimientos que cumplieran con las prácticas ambientales recomendadas para el sector, y exigidas en la normativa ambiental vigente.

Los tres tambos seleccionados pertenecen a los productores Justino Zavala, Erwin Klaassen y Héctor Blum, y se encuentran localizados geográficamente en los departamentos de Canelones, San José y Soriano respectivamente.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS

3.3.1. Tambo 1

3.3.1.1. Ubicación

El tambo 1 (productor Justino Zavala), se encuentra ubicado geográficamente al Sureste de la ciudad de Aguas Corrientes, en el departamento de Canelones (Figura No.1) sobre el grupo CONEAT 11.9, que de acuerdo a la descripción de grupos de suelos CONEAT (MGAP, s.f.), *“los suelos predominantes son Brunosoles Subéutricos, a veces Éutricos, Típicos, a veces Lúvicos (...), de color pardo grisáceo oscuro, textura franco arcillosa a franco arenosa pesada, fertilidad media, a veces alta y moderadamente bien drenados”*.

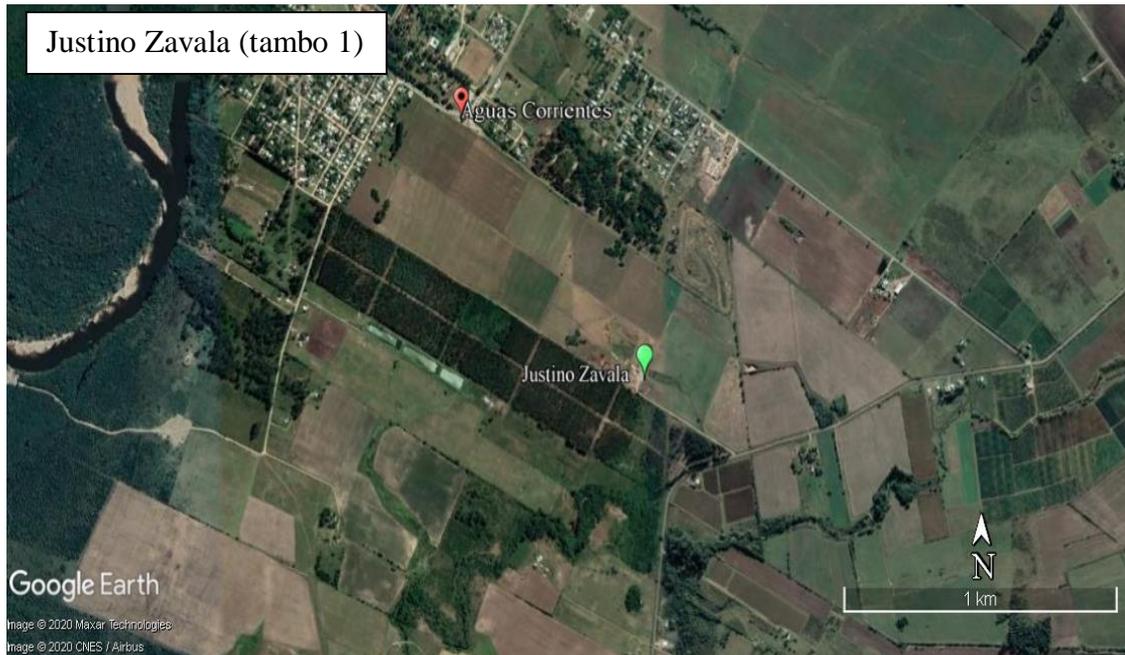


Figura No.1. Ubicación geográfica del tambo 1

3.3.1.2. Características y sistema de gestión de efluentes

La capacidad del tambo es de 165 vacas en ordeño en el momento de máxima producción. Cuenta con una cantidad de 8 órganos, y se utilizan diariamente 4.000 litros de agua para el lavado de la sala de ordeño y corral de espera. Una particularidad de este establecimiento, es el manejo del rodeo previo al ingreso al corral de espera. Los animales son arreados hacia la sala de ordeño de forma lenta y sin generar situaciones estresantes, para que permanezcan el menor tiempo posible sobre la planchada, y las deyecciones no sean sobre dicha superficie sino en el campo y a lo largo de los callejones. Esta práctica es utilizada para evitar la acumulación de estiércol sobre el corral de espera y por tanto, disminuir la cantidad de sólidos que ingresa al SGET.

El SGET, está compuesto por un tratamiento primario para separación de sólidos del tipo pasiva, por medio de una reja y un desarenador (Figura No.2), y por un sistema de tratamiento biológico compuesto por una laguna anaerobia, una laguna facultativa y una laguna de maduración en serie.



Figura No.2. Separación de sólidos pasiva del tambo 1

La disposición final de los efluentes se realiza con un sistema de bombeo compuesto por una bomba centrífuga de rotor cerrado de 3HP y un cañón fijo modelo Penguin, con un radio de mojado de 15 metros. Debido a que permanece aplicando efluentes durante determinada cantidad de horas en una misma posición, este sistema requiere ser rotado, lo que conlleva mayor necesidad de mano de obra para operar el sistema de aspersión, respecto a tambos que poseen sistemas autopropulsados.

3.3.2. Tambo 2

3.3.2.1. Ubicación

El tambo 2 (productor Erwin Klaassen e hijos), se encuentra ubicado sobre la Ruta 1, al Noroeste de Rincón del Pino, en el departamento de San José (Figura No.3). El establecimiento se encuentra situado sobre el grupo CONEAT 10.5, que de acuerdo a la descripción de grupos de suelos CONEAT (MGAP, s.f.), *“los suelos corresponden a Brunosoles Éútricos Lúvicos, a veces Típicos (...) y Planosoles Éútricos Melánicos, de color pardo muy oscuro, textura franco limosa, fertilidad alta y drenaje imperfecto”*.



Figura No.3.Ubicación geográfica del tambo 2

3.3.2.2. Características y sistema de gestión de efluentes

El tambo posee una sala de ordeño con 20 órganos, donde ordeña 368 vacas. Una particularidad de este establecimiento lechero, es que trabaja con dos rodeos diferenciados de 180 vacas cada uno. Cuenta con un establo con cama de aserrín donde tiene confinadas a las vacas en ordeño con una producción mayor a 25 litros de leche por día. Los pisos de este establo y del corral de espera son lavados por inundación dos veces al día, reutilizando el efluente parcialmente tratado.

El efluente de lavado es recolectado, desarenado y conducido hacia un pozo de bombeo para su acumulación y posterior separación de sólidos por medio de una prensa extrusora tipo tornillo inclinado marca Yard Master YS 200 (Figura No.4). El sólido deshidratado es acumulado en un bunker de sólidos. Luego se dispone a terreno con una estercolera de sólidos propiedad del establecimiento.



Figura No.4. Prensa extrusora del tambo 2

El efluente líquido procesado por la extrusora se direcciona hacia un sistema de tratamiento biológico de triple laguna. Desde la última laguna se reutiliza el efluente para lavado de pisos (corral de espera y corredores del establo), pero además se tiene un sistema de aplicación a terreno mediante un cañón autopropulsante modelo Williams Spider Deluxe, que se utiliza según el nivel de las lagunas y condiciones climáticas para disponer el efluente a terreno de manera controlada, evitando desbordes de las lagunas.

Sin embargo, el sistema por aspersion es utilizado con escasa frecuencia y generalmente las aplicaciones de efluentes son realizadas por medio de un equipo estercolero acoplado a un tractor, que posee una capacidad de 14.000 litros, con una presión de trabajo de 15 bar, y con una velocidad de avance regulable. El equipo también es utilizado para vender el servicio a productores lecheros de la zona. Los efluentes no son extraídos únicamente desde la tercera laguna, sino que se realizará de la unidad que posea el nivel más alto (cota de pelo de agua cercano a la cota de coronamiento), ya que se busca mantener capacidad de almacenamiento en todas las unidades del sistema lagunar y evitar desbordes por encima de los taludes, lo que comprometerían en caso de ser muy frecuentes, la estructura del talud.

Este sistema de aplicación de efluentes y estiércol posee ventajas operativas respecto a los sistemas de aplicación de los tambos 1 y 3, dado que puede aplicarse efluentes sobre chacras más alejadas del SGE, incluso, cruzar caminos o rutas. Sin embargo, el costo de combustible para traslado y aplicación suele limitar las distancias alcanzadas (Figura No.5).



Figura No.5. Estercolera del tambo 2

Otro aspecto que hace menos atractiva esta alternativa de disposición final, es que el ingreso a los potreros depende del “piso” presente en los mismos, debido a los riesgos de huellado y compactación luego de lluvias copiosas. Los equipos utilizados en los tambos 1 y 3 son livianos lo que no ocasionará huellado ni compactación, y poseen definidas las áreas donde operarán por la necesidad de trasladar los efluentes desde las lagunas mediante hidrantes, y por el requerimiento de electricidad, cuyos tableros suelen ubicarse en la sala de ordeño. No obstante, también en este caso debe aguardarse a que el suelo tenga un bajo contenido de humedad para realizar las aplicaciones.

3.3.3. Tambo 3

3.3.3.1. Ubicación

El tambo 3 (productor Héctor Blum), se encuentra ubicado en Puntas de San Salvador, al Oeste de Cardona, y al Suroeste de Santa Catalina, en el departamento de Soriano (Figura No.6). El establecimiento está sobre el grupo CONEAT 10.3, que de acuerdo a la descripción de grupos de suelos CONEAT (MGAP, s.f.), “*los suelos dominantes corresponden a Brunosoles Éútricos Lúvicos (...), de color negro o pardo muy oscuro, textura franca a franco arcillosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados. Asociados existen Brunosoles Éútricos Típicos (...) y Vertisoles Rúpticos Lúvicos (...)*”.



Figura No.6.Ubicación geográfica del tambo 3

3.3.3.2. Características y sistema de gestión de efluentes

El productor junto a su hija realizan todas las actividades relativas al tambo, sin contratar mano de obra asalariada

Al realizar el estudio, el rodeo contaba con 160 vacas en ordeño. La sala de ordeño es de 7 órganos, y se utilizan 8.000 litros diarios para el lavado de sala y delcorral de espera. No posee patio de alimentación. Una particularidad de este establecimiento es que realiza el mojado del corral de espera previo a cada ordeño (2 diarios) para evitar que el estiércol se adhiera al suelo y facilitar las tareas de limpieza.

El SGET está compuesto por una etapa de separación de sólidos pasiva integrada por una trampa de sólidos con weeping wall (Figura No.7 y Figura No.8), y dispone de una unidad de almacenamiento (laguna) impermeabilizada con geomembrana de PEAD con una capacidad de almacenamiento de 40 días, habiendo sido dimensionada previéndose un crecimiento de hasta 200 vacas en ordeño.



Figura No.7. Weeping wall en trampa de sólidos del tambo 3



Figura No.8. Trampa de sólidos del tambo 3

Esta unidad, posee un sistema de recirculación que permite la homogenización del efluente y posterior aplicación de los mismos a las chacras seleccionadas mediante una bomba estercolera de eje vertical de 10 HP y un cañón autopropulsante modelo Williams Spider Junior. Una particularidad de este sistema de aplicación, es que al ser autopropulsado, el mismo se desplaza a través de una maroma metálica colocada al extremo de la franja definida para recibir efluentes. Esto constituye una ventaja operativa respecto al sistema de aplicación utilizado en el tambo 1, el cual debe ser rotado de posición cada determinado intervalo de horas para evitar escurrimientos no controlados y encharcamientos, dado que solo es necesario colocar el hidrante y estirar la maroma para el desplazamiento del cañón. El área de aplicación es de 10 ha en cada turno y el cañón cubre una franja de 120 metros de largo, y 25 metros de ancho.

Sin embargo una desventaja operativa de este sistema, es el peso del lateral de aplicación con efluente en su interior, lo que imposibilita que una sola persona sin ayuda de un cuatriciclo o una moto con alguna adaptación como pudiera ser un enganche, pueda desplazarlo fácilmente de una franja a otra.

Si bien este equipo posee autonomía para operar, y permite que se realicen otras actividades en el tiempo transcurrido en recorrer la franja de aplicación, el productor y su familia destacaron la importancia de corroborar cada cierta cantidad de horas que efectivamente el equipo se encuentre operando correctamente. Este tipo de equipos suelen tener dificultades para desplazarse cuando el tapiz vegetal se encuentra crecido, lo que provoca que el cañón no se desplace correctamente sobre la maroma, y aplique continuamente sobre un único punto, generando encharcamientos y escurrimientos no deseados.

3.4. MANEJO DE LA APLICACIÓN DE EFLUENTES, MUESTREOS Y ANÁLISIS

3.4.1. Determinación de franjas

En cada tambo, se definieron en el campo dos franjas, cada una de ellas de dimensiones 100 m de largo por 25 m de ancho. Ambas franjas permanecerían bajo los planes de fertilización química habituales de cada productor. Estas políticas de fertilización incluyen la aplicación de fertilizantes fosfatados.

Uno de los criterios considerados para fijar las franjas, fue no trabajar sobre áreas que por su historial de chacra, así como por la rutina diaria de los establecimientos, pudieran interferir con los resultados buscados en el presente trabajo. Es decir, determinar el efecto de la aplicación de efluentes en las propiedades químicas y físicas del suelo de forma objetiva y sin interferencias por algunas actividades que por sí mismas aportan de forma significativa nutrientes y materia orgánica, por ejemplo por la concentración de animales en áreas específicas para cría, parto, secado, nocheros, entre otros. Las franjas fueron definidas en áreas utilizadas por los productores para la aplicación de efluentes, las cuales se utilizan para producción de forraje, mas no para las actividades antes mencionadas.

La diferencia entre ambas franjas estará dada por la aplicación de efluente final en una de ellas, mientras que en la franja restante (en adelante franja testigo), no recibió aplicaciones de efluente ni de estiércol. No obstante, debe recordarse que todas las franjas, recibieran o no efluentes, estuvieron bajo el plan de fertilización tipo de cada productor, las que incluyen fertilizaciones fosfatadas.

En cada tambo se aplicó el efluente correspondiente al SGET, mediante el método de aplicación particular de cada tambo (cañón fijo, estercolera y cañón autopropulsable para los tambos 1, 2 y 3 respectivamente).

Para el tambo 2, fueron consideradas tanto las aplicaciones de efluentes, como las de estiércol del bunker de sólidos (luego de la extrusión con la prensa). Particularmente en este establecimiento, ambas fracciones (sólidos y líquidos) fueron aplicados sobre la franja evaluada.

3.4.2. Muestreo de suelos

Para determinar la profundidad del horizonte A en cada tambo, se utilizó el taladro tipo “barreno espiral”. Sobre el eje axial de las franjas sin efluentes y con efluentes, se realizaron entre 5 y 6 cateos en cada una, y se visualizó a que profundidad se evidenciaba el cambio de coloración del suelo extraído. Posteriormente, se realizó un promedio de las profundidades, y dicho valor se consideró como la profundidad del horizonte A.

Para realizar la extracción de muestras de suelo de ambas franjas, se definieron dos momentos: al inicio del trabajo de campo durante el invierno del 2017, y hacia el final del trabajo de campo hacia el invierno de 2018.

El primer muestreo de suelos (invierno 2017) se realizó extrayendo tres muestras compuestas en cada franja, a una profundidad de 15 cm. Para la elaboración de una muestra compuesta, se extrajeron 15 tomas con taladro tipo “barreno espiral”, en tres sectores (de dimensiones 2 m x 5 m), sobre un eje en el centro de cada franja.

Durante el segundo muestreo de suelos, se extrajeron 3 muestras compuestas por franja, con el procedimiento explicado en el párrafo anterior. Además 3 muestras por franja se tomaron de 0-5 cm de profundidad.

Todas las muestras, tanto las de invierno 2017 como las de invierno 2018, fueron secadas en estufa a 40°C durante 48 horas. Posteriormente, fueron molidas hasta una granulometría menor a 2 mm, y guardadas hasta el momento de analizarlas en el laboratorio.

3.4.3. Análisis de suelo

En cada muestra de los muestreos de invierno 2017 y 2018 (0-15 cm), se midió pH en agua (van Lierop, 1990), conductividad eléctrica (relación suelo:agua 1:1) y se realizó la extracción de Ca, Mg, K y Na intercambiables, con acetato de amonio 1 M buffereado a pH 7 y luego se determinaron por absorción atómica (Ca, Mg) y emisión (K y Na, Isaac y Kerber, 1971).

El fósforo asimilable fue analizado por el método Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945). Este nutriente fue determinado para las muestras de suelo extraídas durante el invierno 2017 y 2018, en dos estratos (0-5 cm y 0-15 cm), a modo de evidenciar la estratificación del fósforo en el perfil.

El carbono orgánico fue determinado por titulación con sulfato ferroso, luego de atacar una muestra con dicromato de K y ácido sulfúrico, sin calor exterior (Nelson y Sommers, 1996). Esto fue analizado para las muestras de suelo del muestreo realizado durante invierno 2018, en el estrato de 0-15 cm.

La textura fue determinada por la técnica de Bouyucos para una muestra compuesta por cada franja, elaborada a partir de las tres muestras compuestas iniciales. Es decir, que por cada tambo, se analizó textura para dos muestras: franja sin efluentes y franja con efluentes.

3.4.4. Tasa de aplicación de efluentes

Los tambos seleccionados tienen implementados diferentes sistemas de aplicación de efluentes al terreno, siendo cañón fijo, estercolera y cañón autopropulsable para los tambos 1, 2 y 3 respectivamente.

En el invierno 2017, se determinó en campo la tasa de aplicación de los equipos utilizados en los tambos 1 y 3.

La prueba en campo para los tambos 1 y 3, consistió en colocar bandejas, a un metro de distancia una de otra, a partir del centro del aspersor, hasta su radio máximo (hacia ambos lados), y luego se encendió el equipo durante 30 minutos (Figura No. 9 y Figura No. 11).



Figura No. 9. Determinación de tasa de aplicación y lámina aplicada (tambo 1)

En el tambo 2, debido a que la aplicación de efluentes se realizó con estercolera, las bandejas fueron colocadas dentro del ancho operativo del equipo (Figura No. 10), y se realizó el procedimiento que se detalla a continuación.



Figura No. 10. Determinación de tasa de aplicación y lámina aplicada (tambo 2)



Figura No. 11. Determinación de tasa de aplicación y lámina aplicada (tambo 3)

Previo al encendido de los equipos y antes de comenzar a medir el tiempo durante el cual se estaría aplicando efluentes sobre cada bandeja, se determinó la dirección y velocidad del viento, y según esto se numeraron las bandejas.

Transcurridos los 30 minutos, se midió el volumen de efluente retenido en cada bandeja, las cuales tenían un área de 0,0494 m².

Una vez registrada esta información, se ingresaron los datos a una planilla Excel, a partir de la cual se determinó la lámina sobre cada bandeja (en milímetros), la tasa de aplicación sobre cada bandeja (en milímetro por hora) y la lámina total aplicada sobre cada bandeja (en milímetros).

Las ecuaciones empleadas para determinar lo anterior, lucen a continuación:

$$\text{Lámina por bandeja (mm)} = \frac{(\text{Volumen de bandeja (mL)} \times 10^{-6}) \times 1.000}{\text{Área de bandeja (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Tasa de aplicación (mm.h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Lámina de la bandeja (mm)}}{\text{tiempo de medición (h)}}$$

$$\text{Lámina aplicada (mm)} = \text{Tasa aplicación (mm.h}^{-1}\text{)} \times \text{tiempo real estación de riego (h)}$$

Una vez obtenida la tasa de aplicación sobre cada bandeja, se graficaron los resultados para cada equipo de aplicación.

3.4.5. Medición de compactación

Con el fin de determinar el nivel de compactación del suelo como una de las propiedades físicas del mismo, durante el segundo muestreo de suelos (invierno 2018), se realizaron mediciones en ocho puntos por cada franja con un penetrómetro. Este instrumento, determina hasta los 45 cm de profundidad, a intervalos de 2,5 cm, la presión ejercida para penetrar el suelo. Asociado a estas mediciones, se extrajeron muestras compuestas de suelo con seis cateos por cada franja, a una profundidad de 15 cm, las cuales se utilizaron para determinar el contenido de agua gravimétrica.

El contenido de agua gravimétrica fue determinada por diferencia de peso fresco y peso seco de cada muestra, las cuales fueron secadas durante 72 horas a 105°C.

3.4.6. Muestreo efluentes y estiércol

El muestreo de efluentes fue realizado en dos momentos: invierno y primavera del año 2017. El objetivo de analizar en momentos diferentes, fue evaluar si hubo cambios en la composición de los efluentes debido a la estacionalidad.

Las unidades de las cuales se extrajeron muestras de la fracción líquida y/o de la fracción sólida, de cada tambo (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5. Muestreos de efluentes y estiércol, según estacionalidad

		Unidad de extracción de muestreos		
	Fracción	Tambo 1	Tambo 2	Tambo 3
Invierno 2017	Estiércol	-	Búnker de sólidos	-
	Efluente	Lagunas No. 1 y 3	Laguna No. 3	Laguna
Primavera 2017	Estiércol	-	-	-
	Efluentes	Laguna No. 1 y 3	Laguna No. 3	Laguna

Para el tambo 2, fueron consideradas las aplicaciones de estiércol y de efluentes, y por ello fue extraída una muestra de estiércol almacenado en el bunker de sólidos luego de la extrusión por la prensa, a modo de contar con una caracterización de los mismos.

Las muestras de efluentes en los respectivos tambos fueron extraídas según Taverna et al. (2014).

Todas las muestras extraídas fueron enviadas en conservadoras con hielo hacia el Laboratorio Analítico Agro Industrial ubicado en Paysandú, para el análisis de los

parámetros calcio (mg/L), carbono orgánico (%), fósforo total (mg/L), magnesio (mg/L), sodio (mg/L), potasio (mg/L), y sólidos totales (mg/L).

3.4.7. Operación y mantenimiento de los SGET

El día de comienzo del trabajo de campo, se entregaron tres planillas por cada tambo, con el objetivo de relevar información de lo siguiente: tareas de limpieza y operación de las unidades de los SGET, limpieza del corral de espera y dificultades encontradas en la aplicación de efluentes.

Respecto a la planilla correspondiente a “corral de espera”, se solicitó que se completaran los siguientes campos: fechas, número de limpiezas diarias y tiempo de limpiezas, y número de vacas en ordeño.

Respecto a la planilla correspondiente a “operación y mantenimiento” se solicitó que se completara información sobre la operativa o dificultades asociadas a cada unidad del SGET, tiempos de limpieza, contingencias asociadas tales como desbordes, entre otras.

Respecto a la planilla correspondiente a “disposición al terreno”, se solicitó que se registraran los datos sobre problemas en la operativa del equipo de aplicación, volúmenes aplicados, entre otros.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES

En coincidencia con lo afirmado por La Manna (1992), Hawke y Summers (2006), MGAP (2008) es posible comprobar que existe variabilidad y heterogeneidad en los niveles de nutrientes y otros componentes del efluente y estiércol, los que dependen de múltiples factores.

Las caracterizaciones corresponden a un único muestreo realizado en cada estación sobre la última unidad del SGET de cada tambo, y por la variabilidad existente en la composición de los efluentes, no puede asumirse que la composición del mismo fue la misma durante la duración del presente trabajo. Además, se realizará una comparación de la composición, entre las estaciones en que se realizaron los muestreos, con el objetivo de analizar la variabilidad en la concentración de los diferentes parámetros, por el efecto estación y los cambios en el tambo debido a las diferentes épocas. Los resultados se encuentran expresados en base fresca.

Se compara el efluente final que presentaron los tambos 1 y 2. Si bien a partir de sus caracterizaciones se podrían calcular las cargas de nutrientes por superficie que son aplicados en cada establecimiento, debido a la falta de precisión de las horas de aplicación sobre la franja en estudio durante la duración del trabajo (tambos 1 y 3), y la falta de cantidad de estercoleras aplicadas de estiércol y efluentes en el tambo 2, no pueden obtenerse datos concretos. En el tambo 1 se analizaron muestras de efluentes de las lagunas 1 y 3 (Cuadro No. 6).

Cuadro No. 6. Caracterización del efluente del tambo 1

		Invierno 2017	Primavera 2017		
Parámetro	Unidad	Efluentes			
		Laguna 1	Laguna 3	Laguna 1	Laguna 3
Sólidos totales	g/L	-	-	4	2
Humedad	g/L			996	998
Carbono orgánico	g/L	2	1	1	1
Nitrógeno total	mg/L	335	119	338	88
Fósforo total	mg P/L	190	90	59	30
Calcio	mg/L	302	99	163	126
Magnesio	mg/L	64	57	50	20
Potasio	mg/L	244	205	450	250
Sodio	mg/L	250	175	240	180

Durante este trabajo, el tambo no contó con una unidad para separación mecánica de sólidos. Si se analizan las caracterizaciones de la laguna 3 para ambas estaciones, los parámetros carbono orgánico, fósforo total, magnesio, nitrógeno total, disminuyeron en primavera respecto al invierno.

Cuadro No. 7. Caracterización del efluente del tambo 2

Parámetro	Unidad	Invierno 2017	Primavera 2017
		Efluente laguna 3	
Sólidos totales	g/L	9	13
Humedad	g/L	991	987
Carbono orgánico	g/L	3	4
Nitrógeno total	mg/kg	804	884
Fósforo total	mg P/kg	125	105
Calcio	mg/kg	356	500
Magnesio	mg/kg	230	250
Potasio	mg/kg	1090	1130
Sodio	mg/kg	300	150

De las caracterizaciones de efluentes del tambo 2 (Cuadro No. 7), se desprende que excepto para el calcio y el sodio, los restantes parámetros no cambiaron de forma significativa al pasar de la estación invierno a primavera. Sin embargo, la concentración de calcio, magnesio y potasio se incrementaron de 356 a 500 mg/L, 230 a 250 mg/L y de 1.090 a 1.130 mg/L respectivamente. En cuanto al fósforo total presentó una leve disminución, mientras que el sodio, se redujo a la mitad.

Si se analiza comparativamente entre tambos, calcio y potasio del tambo 1 se incrementaron hacia la primavera, tal cual fue observado en el tambo 2. Probablemente, debido a que los animales tienen mayor disponibilidad de forraje en esta estación, es que el calcio que forma parte de las paredes de las células vegetales, se incrementa, lo mismo que el K que se encuentra en alta concentración en las pasturas.

Si se comparan los niveles de sólidos totales del efluente de ambos tambos, se puede observar que para la laguna 3 (última unidad del sistema lagunar), el tambo 2 que realiza reutilización de efluentes para lavado de corral de espera y flushing del establo, presentó 1,3 % de sólidos, mientras que el tambo 1 con similar SGET, presentó 0,2 %. Este parámetro evidencia que con una reutilización de efluentes para limpieza, no solo las concentraciones correspondientes a nutrientes y sodio tienden a ser más elevados en el efluente, sino que se incrementa la proporción de sólidos. Adicionalmente, como se

mencionó las fracciones más pequeñas de sólidos sedimentables no son retenidos por la extrusora.

Probablemente, las diferencias encontradas en la composición del efluente del tambo 2 respecto al tambo 1, se deben al manejo particular realizado en este establecimiento, donde no solo se realiza reutilización de efluentes para lavado de áreas sucias, sino que posee un establo con vacas confinadas de alta producción y primera etapa de lactancia, lo que incrementaría las cargas de sólidos y nutrientes que llegan al SGE, adicionalmente a los que llegan de la sala de ordeño. Debe destacarse que el confinamiento implica un volumen mayor de deyecciones por vaca en ordeño. Estas son probablemente las razones por las cuales el efluente del tambo 2 presentó superiores concentraciones y niveles de sólidos respecto al tambo 1. El tambo 1 presentó para la primavera, sólo un 17% de los sólidos que presentó el tambo 2 en la laguna 3 para la misma estación.

Existen diferencias muy notorias entre las concentraciones de los parámetros analizados en la tercera laguna (última unidad del sistema lagunar), si se compara el tambo 2 que realiza reutilización de efluentes para lavado de superficies sucias respecto al tambo 1. Aun cuando el tambo 2 contaba con la prensa extrusora operativa como parte de su pretratamiento para la remoción mecánica de sólidos, en la laguna 3 se obtuvieron concentraciones elevadas de sólidos totales.

De forma independiente, se analiza la composición del efluente del tambo 3, cuyo SGET es diferente a los que poseen los otros dos tambos, ya que cuenta con una sola laguna (Cuadro No. 8).

Cuadro No. 8. Caracterización de efluentes del tambo 3

Parámetro	Unidad	Tambo 3	
		Invierno 2017	Primavera 2017
Sólidos totales	g/L	4	3
Humedad	g/L	996	997
Carbono orgánico	g/L	2	1
Nitrógeno total	mg/L	373	250
Fósforo total	mg P/L	47	53
Calcio	mg/L	220	154
Magnesio	mg/L	36	21
Potasio	mg/L	270	238
Sodio	mg/L	200	105

Se puede observar que los contenidos de sólidos totales fueron inferiores en la primavera respecto al invierno, y fueron similares al efluente caracterizado del tambo 1

correspondiente a la laguna 3. Esto es un aspecto importante, ya que denota la buena operación de la trampa de sólidos utilizada para la remoción de sólidos pasiva. Los otros parámetros analizados en el efluente del tambo 3, disminuyen al cambiar de estación de invierno a primavera, excepto para el fósforo, el cual se incrementa de 47 mg/L a 53 mg/L, lo que no es considerado un incremento significativo.

Los niveles de sodio fueron en el orden de 100 mg/L en primavera, similares a los cuantificados en el efluente final del tambo 1. En el invierno, el efluente presentó el doble de concentración en mg/L.

En los tres tambos, la relación C:N fue baja, lo que es indicativo de que este nutriente estará rápidamente disponible, de acuerdo con los resultados obtenidos por Qian y Schoenau (2002).

4.2. CARACTERIZACIÓN DEL ESTIÉRCOL PROVENIENTE DEL EXTRUSADO DE LOS EFLUENTES DEL TAMBO 2

La muestra de estiércol fue extraída de una pila acumulada sobre la explanada construida para que se depositen los sólidos provenientes de la prensa extrusora, la cual forma parte del pre-tratamiento en el tambo 2 (Cuadro No. 9).

Cuadro No. 9. Caracterización del estiércol extrusado de tambo 2

Parámetro	Unidad	Invierno 2017	
		Base fresca	Base seca
Sólidos totales	%	19,3	-
Humedad	%	80,7	-
C orgánico	%	10,4	53,9
NTK	g/kg	2,4	12,4
P total	g/kg	0,3	1,5
Calcio	g/kg	0,9	4,6
Magnesio	g/kg	0,5	2,7
Potasio	g/kg	1,1	5,6
Sodio	g/kg	0,5	2,4

Resultados de análisis expresados en base fresca y seca

Con el fin de analizar los diferentes parámetros del estiércol caracterizado en el tambo 2, se compararán los mismos respecto a las caracterizaciones citadas en la revisión bibliográfica.

Si se analizan los parámetros respecto a la caracterización del estiércol realizada por del Pino et al. (2008), se desprende que las concentraciones para nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio fueron inferiores en el tambo 2 (Figura No. 12).

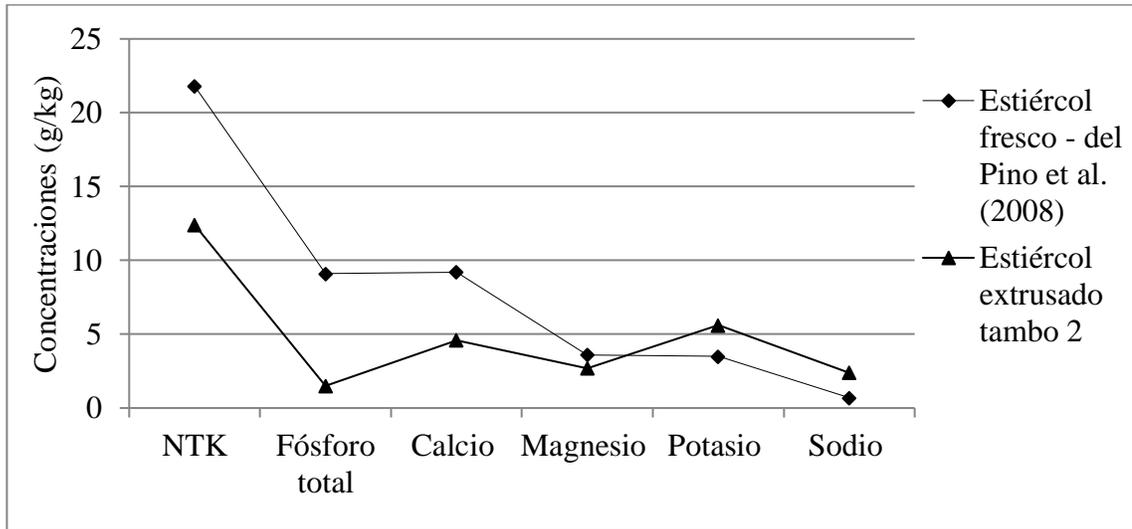


Figura No. 12. Caracterizaciones del estiércol fresco y estiércol extrusado del tambo 2

Respecto al nitrógeno, para que pudieran ser comparables los niveles de ambas caracterizaciones, se estimó el nitrógeno total Kjeldahl para el estiércol caracterizado por del Pino et al. (2008), el cual resultó ser similar al total debido a que tenía bajo nivel de $N-NO_3^-$. El estiércol extraído del tambo 2, tuvo aproximadamente el 55% de ese nivel de NTK (21,8 g/kg). Las concentraciones de calcio, magnesio y potasio del estiércol proveniente de la prensa extrusora del tambo 2, se encuentran muy lejanos de los niveles que presentó el estiércol caracterizado por del Pino et al. (2008). Respecto a la caracterización del estiércol presentada por del Pino et al. (2019), el calcio, sodio y magnesio presentaron valores similares a la caracterización del estiércol realizada por del Pino et al. (2008), pero ninguna de estas dos caracterizaciones se aproximó a los valores obtenidos para el tambo 2. En cuanto al nivel de fósforo, el estiércol caracterizado del tambo 2 tuvo tan sólo 1,5 g/kg, mientras que el estiércol caracterizado por del Pino et al. (2008) presentó 9,1 g/kg y el estiércol presentado por del Pino et al. (2019) un valor de 5,4 g/kg.

De los resultados se desprende que el estiércol caracterizado del tambo 2 proveniente de la prensa extrusora presentó menores contenidos de nutrientes respecto a los estiércoles frescos. Entre ambas caracterizaciones de estiércol fresco, existe una variabilidad y apartamientos significativos entre los valores máximos y mínimos para cada parámetro de la caracterización presentada por del Pino et al. (2019). Es posible concluir que la variabilidad existe dentro de cada parámetro, y entre parámetros para materiales que presentan similares características, como por ejemplo ser estiércol fresco. Por tanto, en coincidencia con lo concluido por La Manna (1992), Hawke y Summers (2006), MGAP (2008) se observó que existe variabilidad y heterogeneidad en los niveles de nutrientes y otros componentes del efluente y estiércol, los que dependen de múltiples factores.

Si se comparan los parámetros analizados en el estiércol del tambo 2 con la caracterización de estiércol extrusado presentada por del Pino et al. (2019) se puede observar que el estiércol analizado del tambo 2 presentó una composición más similar al estiércol extrusado.

De la caracterización presentada por del Pino et al. (2019) para estiércol de la prensa extrusora, al igual que para la caracterización del estiércol fresco, se desprende que existe gran amplitud entre máximo y mínimo, lo que determina variabilidad en cada parámetro y entre parámetros. Además, el estiércol de la prensa extrusora presenta menores niveles de N, P, Ca, Mg, K y Na que los estiércoles frescos.

Si se analiza el contenido de Ca del estiércol extrusado del tambo 2 respecto a los niveles de este nutriente en los efluentes caracterizados para los tambos 1 y 2 (SGET semejantes), en las fracciones líquidas los niveles de calcio son menores. La fracción sólida por tener mayor contenido de fibra, tendrá mayor concentración de este catión (Cuadro No. 9).

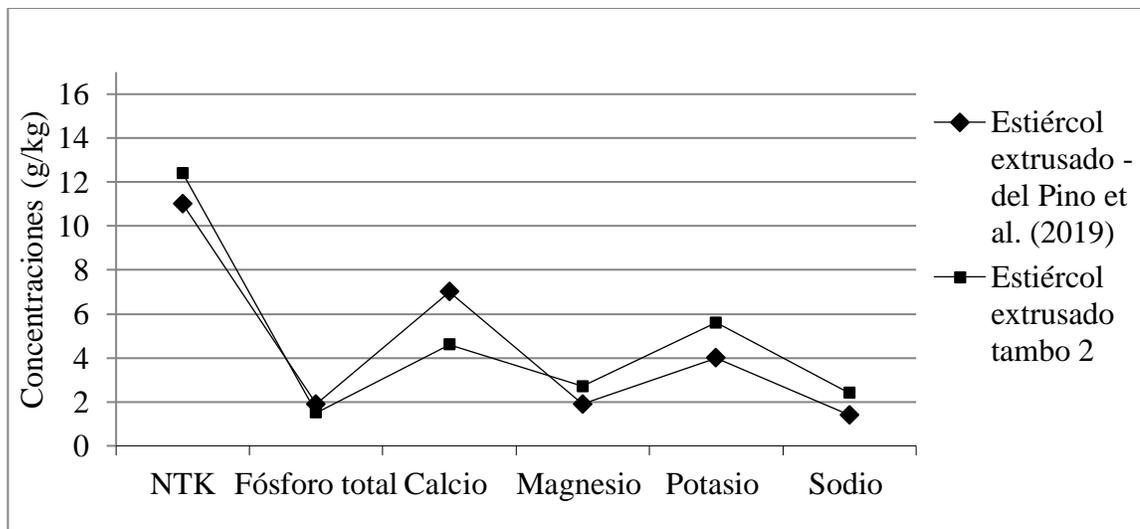


Figura No. 13. Comparación de caracterizaciones de estiércol extrusado

Todos los parámetros analizados en el estiércol extrusado del tambo 2 (Cuadro No. 9) se encontraron dentro de los rangos presentados en la caracterización de estiércol de prensas extrusoras presentado por del Pino et al. (2019), muy cercanos a la mitad de cada uno de ellos (Figura No. 13). Es posible aseverar que si se hubiese extraído en diferentes momentos, distintas muestras del estiércol de la prensa extrusora del tambo 2, existiría variabilidad debido a que la composición puede variar por diferentes factores, como la alimentación de los animales, momento de la lactancia, la edad del animal, la época, raza del ganado, el tratamiento o estabilización del material, entre otros.

En cuanto a las relaciones C:N, el estiércol caracterizado por del Pino et al. (2008) tuvo una relación de 17,5, mientras que la caracterización presentada por del Pino

et al. (2019) obtenida a partir de estiércoles frescos tuvo una relación de 18. De esta relación se desprende que se trata de materiales con similares características, es decir, que no fueron estabilizados ni pasaron por alguna unidad de pretratamiento. Es por ello que presentan mayores niveles de nutrientes respecto al estiércol proveniente de la prensa extrusora. De acuerdo con Qian y Schoenau (2002), la disponibilidad de N tendía a disminuir en el corto plazo en el suelo, cuando la relación C:N era superior a 15. En cuanto a las relaciones de C:N del estiércol extrusado, los materiales de la caracterización presentada por del Pino et al. (2019) mostraron un valor de 37, mientras que el estiércol caracterizado del tambo 2 tuvo una relación de 43,5. De estos resultados se concluye que un material que previamente pasó por el proceso de extrusado, tendrá mayor relación C:N respecto a un estiércol fresco, y probablemente ello provoque un riesgo de inmovilización en el suelo del nitrógeno de corto a mediano plazo, debido a una relación C:N superior a 15. El proceso de inmovilización, es un proceso contrario a la mineralización, y por lo tanto constituye una pérdida momentánea de disponibilidad. El hecho de que sea una relación C:N superior a 30, determina que el riesgo de que ocurra un desbalance que provoque una inmovilización de N, sea de mayor duración que si la relación fuera inferior a 30. Sin perjuicio de ello, debido a la dinámica del nitrógeno en el suelo, este nutriente no permanece como nitrógeno mineral, por lo tanto estos procesos no son detectados mediante el análisis de formas minerales de N en el suelo.

En cuanto a que el estiércol fresco presenta menor relación C:N que un sólido proveniente de la prensa extrusora, se debe, entre otros motivos, a que cuando se caracteriza un estiércol fresco, se extrae una muestra generalmente de las deyecciones. Mientras que cuando se trata de material extrusado, el sólido obtenido posterior a la prensa, proviene de una corriente de efluentes (fracción sólida y líquido mezcladas) que ingresa a la prensa extrusora desde un pozo de bombeo, y suele llevar consigo no sólo deyecciones y agua, sino restos de ración y de alimentos, que no formaban parte de las excretas. Este aspecto se considera de relevancia, debido a que la única caracterización de estiércol realizada, proviene de la prensa extrusora del tambo 2, el cual posee un manejo diferente a los otros tambos en estudio y es el único con este tipo de separación de sólidos. Este establecimiento, reutiliza el efluente para lavado por inundación del piso del establo que si bien utiliza cama de arena (las partículas decantan en el pozo de bombeo), los restos de alimento fibrosos y restos de ración, son arrastrados durante los dos lavados diarios.

4.3. LÁMINA DE APLICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ASPERSIÓN

La determinación *in situ* de la tasa de aplicación de efluentes de cada equipo de aplicación, se realizó para determinar si los volúmenes de efluentes aplicados sobre las franjas, se correspondían con las calibraciones realizadas una vez que fueron implementados y puestos en operación estos equipos. Se determinó la lámina de aplicación para cada caso.

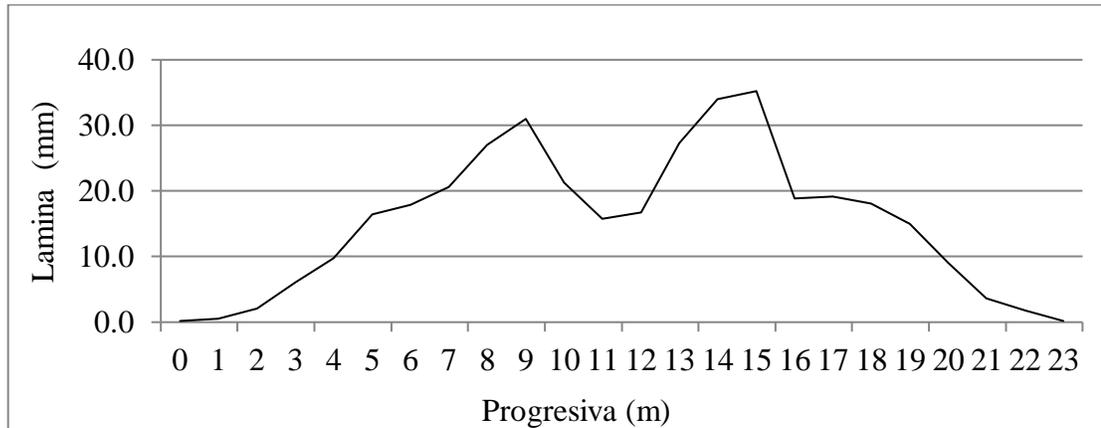


Figura No. 14. Lámina aplicada total (mm) en el tambo 1

Para este tambo, se implementó un sistema de aspersión del tipo cañón fijo modelo Penguin. Se utilizó un tiempo real de 1,5 horas en la planilla utilizada para su cálculo, y la lámina arrojó un valor promedio de 15,3 mm. Respecto a la tasa de aplicación promedio, presentó un valor de 10,2 mm/h (Figura No. 14).

El equipo fue configurado de forma tal que durante 1,2 horas aplicara el volumen de efluentes diario generado en el tambo, con una lámina de 14,2 mm, y debía rotarse luego del segundo día en la misma posición y de aproximadamente 2,5 horas de encendido.

Puede visualizarse a modo general conserva una tendencia gaussiana (Figura No. 14), pero una leve inclinación de la curva hacia la derecha, lo cual puede asociarse a la presencia de viento durante el día de la medición, lo que hizo que hubiera mayor volumen aplicado hacia uno de los extremos. El perfil de la aplicación indica que existen diferentes tasas de agregado de nutrientes en el terreno cubierto por la aplicación. Si bien este hecho es común en los sistemas de aplicación de efluentes puede significar un inconveniente para la nutrición de cultivos y pasturas, ya que determinará una heterogeneidad en la disponibilidad de nutrientes.

El tambo 2 dispone de un cañón autopropulsable similar al que utiliza el tambo 3 para la aspersión. Sin embargo, en la duración del presente trabajo, la aplicación de efluentes y estiércol sobre la franja en evaluación, fue realizada mediante estercolera (acápito 3.3.2.2), no solo porque el equipo de aspersión estaba fuera de uso, sino por la carga de sólidos que presentaba el efluente en las 3 lagunas. La prueba in situ para determinar la lámina de aplicación de este equipo, se realizó sobre un potrero que no se corresponde con las franjas sobre las que se realizó esta tesis. El ancho operativo de la estercolera evaluada fue de 9 metros, y el largo del potrero de 480 m. La franja sobre la que aplicó el contenido correspondiente a su volumen de almacenamiento (14.000 L) tenía una superficie total de 4320 m², arrojando así una lámina de 3,2 mm.

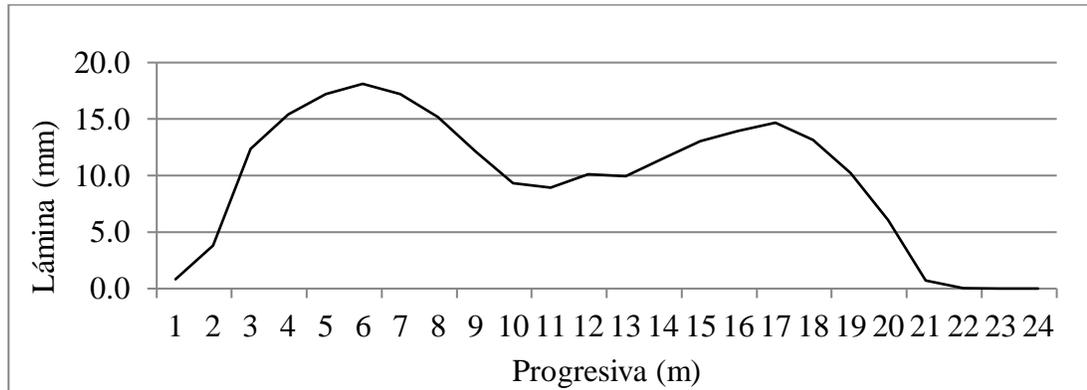


Figura No. 15. Lámina aplicada total en el tambo 3

Para el sistema de aspersión utilizado en el tambo 3, un cañón autopropulsable modelo Williams Spider Junior. El tiempo de duración de la prueba en campo fue de 30 minutos, para el cual la lámina obtenida fue de 10,6 mm en promedio. Respecto a la tasa de aplicación promedio, presentó un valor de 21,3 mm/h (Figura No. 15). Sin embargo, el tiempo que insumió el ensayo en el campo fue solo el asociado al pasar el equipo aplicando efluentes sobre las bandejas, hasta que dejaron de recibir líquido mediante la aspersión. En este sistema de aplicación de efluentes, al igual que como sería esperable para el sistema de aspersión por cañón fijo (para el tambo 1), es probable que existan diferentes tasas de agregado de nutrientes en el terreno cubierto por la aplicación debido al perfil de aplicación con tendencia gaussiana.

4.4. MANO DE OBRA PARA GESTIÓN DE EFLUENTES

En el tambo 1, los tiempos para limpieza y operación del SGE eran muy variables, y fue reportado por el productor un tiempo promedio. Para cada limpieza de las unidades de pretratamiento, el productor asignó un tiempo de aproximadamente 30 minutos. En cuanto a limpieza del corral de espera, se asignó un tiempo de una hora, es decir, 30 minutos para cada limpieza posterior a cada ordeño.

Para la aplicación de los efluentes, no se cuantificaron los tiempos destinados a movimiento del cañón fijo ni tiempos promedio diarios de aplicación en cada posición.

Se resumen los tiempos operativos y las tareas relativas al SGET del tambo 1 (Cuadro No. 10).

Cuadro No. 10. Resumen de tiempos operativos y tareas relativas al SGET del tambo 1

	Tambo 1		
	Sala de ordeño y corral de espera	Separación de sólidos	Sistema lagunar (3 unidades)
Tiempo de limpieza (hs)	0,5 c/ limpieza	0,5	-
Consumo de agua por lavado (L)	4000	-	-
Frecuencia	2	Variable	-
Prácticas para minimizar consumo de agua	-	-	-
Observaciones	Se arrea el ganado de forma lenta y pausada para que excreten en el trayecto, y no tanto sobre el corral de espera	-	En visitas sucesivas se observó mayor contenido de sólidos en las lagunas por la falta de prensa extrusora

En el tambo 2, la limpieza del corral de espera se realiza dos veces por día, y parte del agua necesaria para realizar estas actividades, corresponde a la reutilización de efluentes desde la tercera laguna del SGET. El tiempo insumido por cada limpieza es de 15 minutos aproximadamente, y la cantidad de agua limpia necesaria es de 1.000 L aproximadamente.

En cuanto a los establos, se realizan aproximadamente 3 limpiezas diarias por flushing, recirculando efluentes desde la tercera laguna del SGET, insumiendo aproximadamente 16.000 L cada limpieza. Posteriormente a cada lavado por inundación, un operario se dirige con el tractor para retirar parte del material que se deposita en una zona deprimida de la explanada, y también realiza un “repasso” de la limpieza mediante manguera con agua limpia (Figura No. 16). Este tiempo insume aproximadamente 35 minutos por limpieza.



Figura No. 16. Operario y tractor luego del flushing



Figura No. 17. Carga de la estercolera desde laguna No. 1

Aproximadamente 10 estercoleras diarias son aplicadas a chacras cercanas, lo que insuere un tiempo entre recargas, traslados y disposición, de aproximadamente 7,5 horas. Hay un operario destinado exclusivamente para esta tarea (Figura No. 17).

La necesidad diaria de mano de obra vinculada a la gestión de efluentes para este establecimiento lechero, sin tener en cuenta a los operarios que realizan tareas de ordeño, manejo del rodeo y otras tareas productivas, es la siguiente: aproximadamente 8 horas para disposición de efluentes y 2,5 horas diarias para limpiezas del establo. Dada la simultaneidad con la que deben realizarse ambas tareas, es necesario contar con dos operarios. Para la duración de una jornada de aplicación de efluentes, es decir, 8 horas aproximadamente, se estimó para el tractor utilizado de 125 HP, un consumo de gasoil de 150 L. Esto denota un importante costo de este sistema de aplicación de efluentes al que se le adiciona el salario del operario que opera el tractor, lo que hace menos atractiva esta alternativa en tambos de mediana y gran escala.

Se resumen los tiempos operativos y las acciones relativas a los SGET del tambo 2 (Cuadro No. 11).

Cuadro No. 11. Resumen de tiempos operativos y tareas relativas al SGET del tambo 2

	Tambo 2			
	Sala de ordeñe y corral de espera	Establo	Separación de sólidos	Sistema lagunar (3 unidades)
Tiempo de limpieza (hs)	0,75 por c/ limpieza	0,58 por limpieza	-	-
Consumo de agua (reciclada y limpia) por lavado (L)	2000	48000	-	-
Frecuencia	2 por día	3 por día	-	-
Prácticas para minimizar consumo de agua	Reutilización de efluentes para limpieza de corral de espera	Reutilización de efluentes para el lavado por inundación	-	-
Observaciones	No se tiene cuantificada exactamente la proporción de agua limpia y efluentes reutilizados para limpieza	Se complementa con limpieza con manguera realizada con operario (1,5 hs adicional)	El pozo de bombeo de la prensa extrusora se encuentra subdimensionado por la existencia del establo, lo que ocasiona que en las lagunas haya alta carga de sólidos	Todas las unidades presentaron alta carga de sólidos. Se vacían con retiros mediante estercoleras

En el tambo 3, se realiza una limpieza posterior a cada ordeñe, tanto de la sala como del corral de espera. Específicamente para el corral de espera, cada limpieza tiene una duración de 30 minutos. En cuanto a las prácticas para minimizar el consumo de agua, durante el verano, antes del ingreso de los animales al corral de espera, se humedece la explanada con el fin de facilitar los raspados, y minimizar el consumo de agua requerido para limpiezas. Si bien el equipo de aplicación de efluentes del tambo 3 es un cañón con autopropulsión hidráulica, por lo cual una vez que comienza la operación es autónomo en desplazarse hasta completar la franja, los productores

insistieron en que es importante corroborar con cierto intervalo de tiempo que el equipo se encuentra funcionando correctamente. Cuando el tapiz vegetal se encuentra elevado, suele dificultar el avance sobre la vegetación.

Se resumen los tiempos operativos y las acciones relativas al SGET del tambo 3 (Cuadro No. 12).

Cuadro No. 12. Resumen de tiempos operativos y tareas relativas al SGET del tambo 3

	Tambo 3			
	Sala de ordeño y corral de espera	Trampa de sólidos	Weepingwall	Planchada de escurrimiento
Tiempo de limpieza (hs)	0,5 por c/limpieza	0,5	Variable	1
Consumo de agua por lavado (L)	4.000	-	-	-
Frecuencia	2 por día	Variable	Variable	Variable
Prácticas para minimizar consumo de agua	Humedecimiento de corral de espera en verano previo al ingreso de animales	-	-	-
Observaciones	-	La frecuencia de limpieza dependerá de la consistencia del material. Cuando más fluida es la mezcla, mayor dificultad para retirarlo con la pala del tractor.	La limpieza consiste en desobstruir las ranuras para que el líquido ingrese a la laguna abandonando la trampa de sólidos, para mayor secado de la fracción sólida.	La frecuencia de limpieza dependerá de la consistencia del material. Cuando más fluida es la mezcla, mayor dificultad para retirarlo con la pala del tractor.

4.5. COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE APLICACIÓN

Se describen las dificultades operativas detectadas por los productores y los relevados en las instancias de trabajo de campo (Cuadro No. 13). Además, se resumen las ventajas y desventajas encontradas para cada sistema de aplicación de efluentes (Cuadro No. 14).

Cuadro No. 13. Dificultades operativas detectadas en los sistemas de aplicación de efluentes

	Tambo 1	Tambo 2	Tambo 3
	Cañón fijo	Estercolera	Cañón autopropulsable
Dificultades operativas en los sistemas de aplicación de efluentes	Por el diseño hay franjas que requieren más esfuerzo operativo en el cambio de posición para recibir efluentes.	Las aplicaciones dependen de que la estercolera esté disponible en el predio y no esté en otro tambo por venta de servicio	La altura del tapiz puede dificultar el avance del equipo. Requiere controles visuales para constatar el desplazamiento.
	El apoyo tipo trípode, puede caerse si no se coloca adecuadamente	No siempre es posible ingresar a cualquier potrero. Se priorizan las aplicaciones en primavera y verano.	Se realizó acople a una moto para poder mover la tubería de posición.

Cuadro No. 14. Ventajas y desventajas de los sistemas de aplicación de efluentes

	Tambo 1 Cañón fijo	Tambo 2 Estercolera	Tambo 3 Cañón autopropulsable
Ventajas	Más económico para adquirir respecto a cañón autopropulsable	Puede aplicarse efluentes y mezclas con alta carga de sólidos	Autonomía una vez que se coloca para realizar la "carrera".
	Aplicación de lámina homogénea y uniforme	Acceso a potreros alejados del tambo. Puede desplazarse a otros potreros y evitar acumulación de P.	Aplicación de lámina homogénea y uniforme
	Debido al peso del equipo, el ingreso a los potreros puede ser más frecuente.	No depende de la potencia eléctrica contratada. Relevancia del consumo de gasoil en ecuación económica.	Debido al peso del equipo, el ingreso a los potreros puede ser más frecuente.
Desventajas	Depende de la potencia eléctrica contratada.		Depende de la potencia eléctrica contratada.
	Se debe rotar de posición luego de varias horas de aplicación dado que se generan encharcamientos y escurrimientos. Menor autonomía que cañón autopropulsable.	Elevados costos operativos por necesidad de operario destinado a aplicar efluentes exclusivamente, y combustible	Requiere de herramientas para colocar el equipo en cada posición por el peso de los hidrantes cuando tienen efluentes en su interior.
	Requiere buena separación de sólidos por obstrucciones de boquilla y problemas con la bomba.	Uniformidad depende del aplicador y por donde realice las pasadas.	Láminas mal diseñadas y falta de balance de nutrientes, pueden provocar acumulación de P en suelo.
	Requiere de una o dos personas para colocar el equipo en cada posición.	No siempre es posible el ingreso a los potreros, lo que conlleva la necesidad de mayor capacidad de almacenamiento en lagunas	Requiere de una o dos personas para colocar el equipo en cada posición.

4.6. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

4.6.1. Textura

A continuación, se describen las distintas proporciones de las fracciones granulométricas de las franjas sin aplicación y las franjas que recibieron aplicación de efluentes para cada tambo (Cuadro No. 15).

Cuadro No. 15. Proporciones granulométricas de los suelos en las franjas con y sin aplicación de efluentes

	Tambo 1		Tambo 2		Tambo 3	
	Franja sin efluentes	Franja con efluentes	Franja sin efluentes	Franja con efluentes	Franja sin efluentes	Franja con efluentes
% Arena	38	36	27	24	23	47
% Limo	20	20	32	39	32	8
% Arcilla	41	44	41	37	45	46

En tambo 1 (Cuadro No. 15) ambas franjas presentaron textura arcillosa, de acuerdo a la descripción de grupos de suelos CONEAT para los suelos predominantes para la zona.

En el tambo 2 (Cuadro No. 15), la franja sin efluentes de acuerdo al triángulo de clases texturales, presentó un suelo con textura arcillosa, mientras que el suelo de la franja que recibió aplicaciones de efluentes presentó textura franco-arcillosa. Se puede observar que las texturas obtenidas a partir del análisis de las muestras de suelo extraídas de cada franja, son pesadas al igual que las de la descripción CONEAT.

Para el tambo 3 (Cuadro No. 15), el suelo de la franja que no recibió aplicaciones de efluentes, presentó una textura arcillosa, mientras que la franja que sí recibió aplicaciones de efluentes, presentó una textura arcillo-arenosa. Las franjas estaban ubicadas geográficamente en puntos diferentes, a 200 metros. De acuerdo a la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay con escala 1:1.000.000 (MAP. DSF 1979a, 1979b), este predio se encuentra en el límite de las unidades La Carolina y San Gabriel- Guaycurú, y se observó que el mayor contenido de arena de la franja sin aplicación podría asimilarse más a esta última unidad, aunque es probable que se trate de una transición, con características intermedias.

4.6.1.1. Generalidades

La textura fue analizada solo para las muestras de suelo extraídas durante el año 2018, de una muestra compuesta de cada franja a una profundidad de 0 a 15 cm. No fue realizada una determinación de la textura para el muestreo de suelos inicial durante 2017. En términos generales, las texturas obtenidas a partir del análisis en laboratorio de

las muestras de suelo, no se alejan de las texturas predominantes para los grupos CONEAT sobre los que se encuentran los tambos, y específicamente, las franjas en evaluación.

La textura del suelo se define como la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo, siendo uno de los atributos del suelo más estables, dado que puede ser modificado de forma muy poco significativa por los cambios en los cultivos y otras prácticas que causen mezcla de horizontes (USDA, 1999). En coincidencia con lo indicado por USDA (1999), la textura del suelo es uno de los atributos más estables del suelo, y no es esperable que ocurran cambios significativos por el manejo del suelo. Podrían ocurrir cambios en las texturas de suelo en cortos plazos, debido a desplazamientos de suelo por malas prácticas agrícolas, o inadecuados manejos, que no ocurrieron en estos establecimientos lecheros, cuyas prácticas agronómicas tienen incorporada la siembra directa, poca inversión y mantener la cobertura del suelo.

En cuanto al tambo 3, debido a que los sitios donde se ubicaron las franjas se encuentran en posiciones geográficamente diferentes, y esta zona es el límite de dos unidades de suelo diferentes (La Carolina y San Gabriel- Guaycurú), se puede inferir que los suelos pueden presentar características disímiles. Este aspecto es muy relevante, ya que el hecho de tratarse de un trabajo realizado en el establecimiento del productor, y no en una estación experimental donde ambas parcelas de evaluación pueden ubicarse contiguas y las condiciones pueden ajustarse lo máximo posible para minimizar los factores controlables que puedan influenciar los resultados, determinó que existió el factor geográfico influyendo sobre éstos.

4.6.2. Profundidad del horizonte A

Para el tambo 1, se obtuvieron las siguientes profundidades promedio de horizonte A: franja sin aplicación de efluentes, aproximadamente 18,5 cm, y franja con aplicaciones de efluentes aproximadamente 21,2 cm. Topográficamente más elevada la franja que no recibía aplicaciones de efluentes, no obstante la profundidad del horizonte A era similar en ambos suelos.

En el tambo 2, las franjas en estudio se encontraban contiguas, y las profundidades del horizonte A variaron muy poco entre la franja que recibió aplicaciones de efluente y estiércol, y la que no recibió aplicaciones (entre 20 y 21 cm).

Para el tambo 3, se obtuvieron las siguientes profundidades promedio de horizonte A: franja sin aplicación de efluentes aproximadamente 33 cm y franja con aplicaciones de efluentes aproximadamente 38,5 cm. En la unidad La Carolina/Risso predominan Vertisoles Rúpticos Lúvicos, lo que explicaría la gran profundidad del horizonte A de estos suelos.

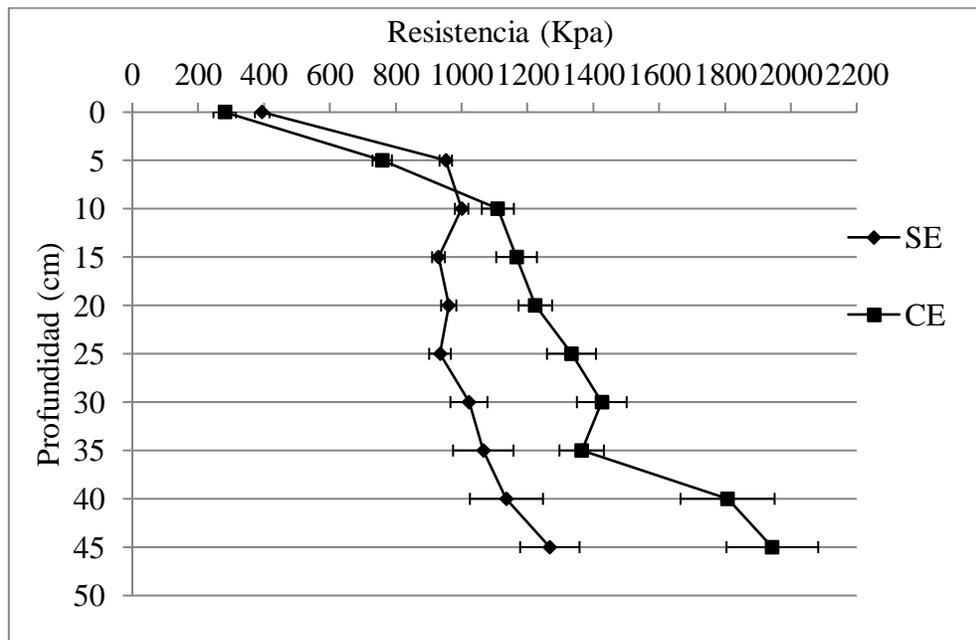
La profundidad del horizonte A, no fue considerada una propiedad que pueda variar debido a la aplicación de efluentes, sino que puede variar debido a las prácticas

agronómicas y de manejo del suelo que contribuyan a que existan movimientos de suelo, por ejemplo nivelaciones del terreno, erosión, entre otros.

4.6.3. Medidas de compactación y comparación entre sitios

La propiedad física seleccionada para evaluar cambios ante la aplicación de efluentes, fue la compactación. Para ello, a través de 8 mediciones con un penetrómetro electrónico, en cada franja evaluada (sin efluentes versus con efluentes), es que se determinó la resistencia a la penetración (medido en kilopascales, kPa) a intervalos de 5 cm, hasta una profundidad de 45 cm. Se realizó un promedio de las ocho mediciones a cada intervalo de profundidad, y posteriormente se graficaron los resultados obtenidos para la franja con efluentes y sin efluentes. A cada curva, se le agregaron las barras correspondientes al error estándar de los datos.

Para el tambo 1 (Figura No. 18) si bien fue posible observar que la franja que recibió aplicaciones de efluentes, efectivamente presentó menos resistencia a la penetración (y por ello, se infiere menos compactación) hasta los 8 cm aproximadamente. Sin embargo, a mayor profundidad, se observó menor resistencia a la penetración en la franja que no recibió aplicación de efluentes, respecto a la que si recibió.

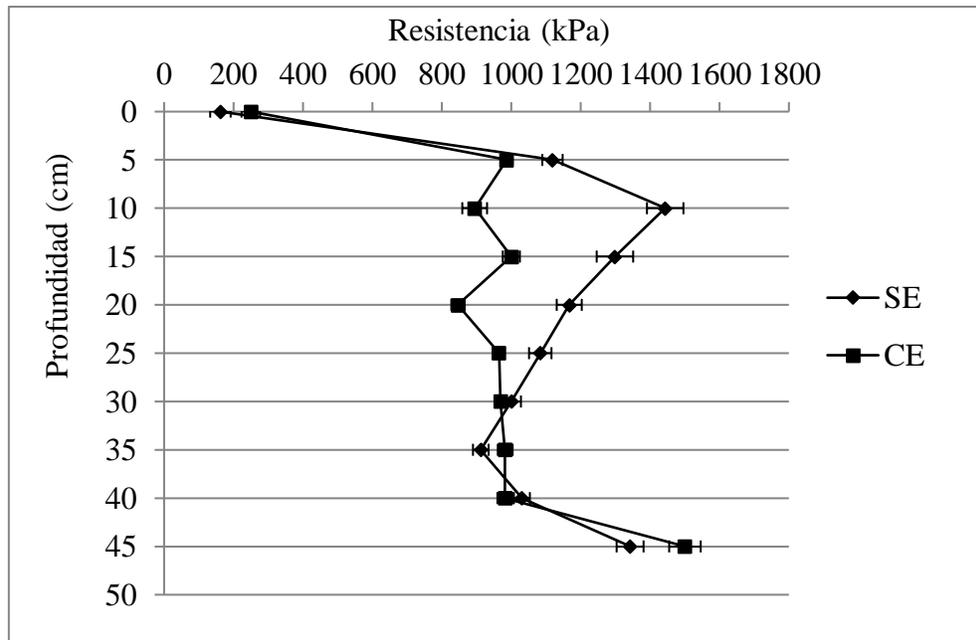


Las barras horizontales indican error estándar

Figura No. 18. Resistencia a la penetración en tambo 1

Para el tambo No. 2 (Figura No. 19), puede observarse que en los primeros 5 cm, tiende a haber similar resistencia a la penetración tanto en la franja que recibió efluentes, como en la testigo. Sin embargo, a partir de esa profundidad, ambas curvas

dejan de presentar la misma tendencia, y la franja que recibió aplicación de efluentes, es la que presentó menor resistencia a la penetración hasta los 31 cm.

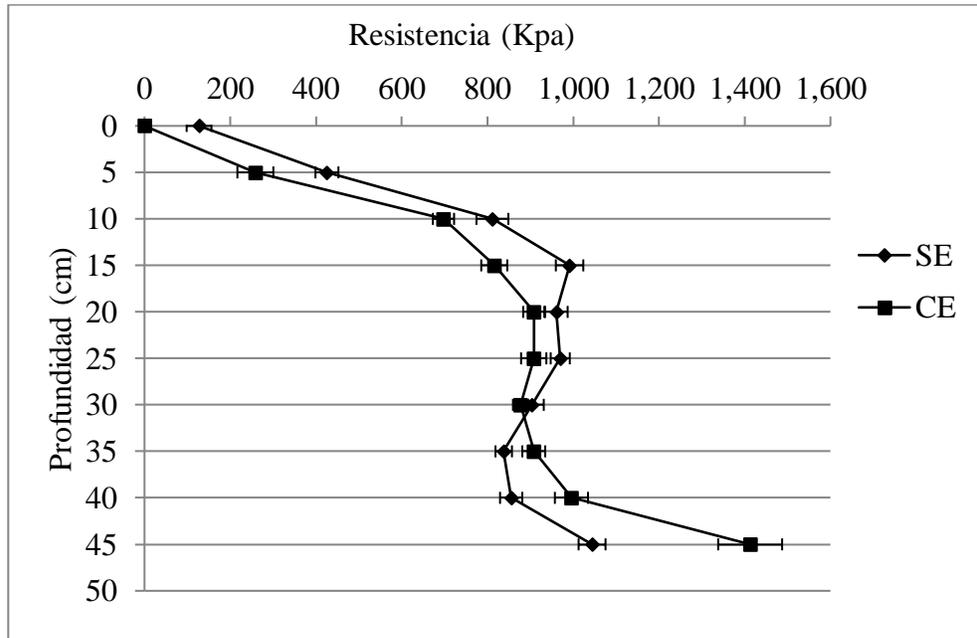


Las barras horizontales indican error estándar

Figura No. 19. Resistencia a la penetración en tambo 2

En este tambo en particular, las franjas definidas para el presente trabajo, tenían implantado trébol blanco y alfalfa. Ambas franjas que se encontraban contiguas y por tanto el manejo era idéntico: cortes mecánicos para la elaboración de reservas de henilaje (silopacks), aplicaciones de efluentes y estiércol mediante estercolera, y pastoreo directo.

En el tambo 3 (Figura No. 20), es posible visualizar claramente como la franja que recibió aplicaciones de efluentes, presentó hasta los 31 cm, menor resistencia a la penetración que la franja que no recibió aplicaciones de efluentes aunque hay una tendencia similar de las curvas. Sin embargo, no puede aducirse este efecto sobre el suelo a la aplicación de efluentes, sino que puede deberse a las diferencias de suelo mencionadas, y a que tiene poco tiempo de aplicación de efluentes sobre la franja en estudio.



Las barras horizontales indican error estándar.

Figura No. 20. Resistencia a la penetración en tambo 3

Los resultados obtenidos para el tambo 2, presentan diferencias en profundidad. Hasta los primeros 5 cm, se evidenció un comportamiento contrario a lo mencionado por Aggelides y Londra (2000), Richmond (2017): no hubo menor resistencia a la penetración por los agregados de enmiendas orgánicas. Sin perjuicio de lo anterior, el efecto mencionado por los autores anteriores, si ocurrió en la profundidad de 5 a 31 cm. Es por ello, que de acuerdo a las afirmaciones de los autores Taboada (2007), Medina (2016), es posible concluir que fueron afectados por el tipo de manejo recibido en ambas franjas, es decir, al pasaje frecuente de maquinaria agrícola para el henilaje y de estercolera, así como por el pisoteo del ganado, incrementan la resistencia en los primeros centímetros del suelo. Tampoco se cuenta con información sobre la historia de chacra antes del ensayo, y dado que las franjas estaban colocadas hacia un lateral del potrero, y por tanto, cabecera de chacra, es que se aduce a estas razones, y a las mencionadas en el párrafo anterior, el efecto observado en los primeros centímetros. No es posible determinar que la falta de efecto sobre la estructura del suelo en los primeros centímetros, se deba a la falta de efecto por la aplicación de los efluentes o a la falta de mayor tiempo de evaluación de las aplicaciones.

En el tambo 1, a pesar que las franjas también recibían pastoreos directos como el tambo 2, el primero no tuvo circulación de maquinaria para elaboración de reservas forrajeras ni para aplicación de efluentes. Quizás por las diferencias de manejo, es que no se tuvo el mismo resultado para iguales profundidades entre ambos tambos. Es decir, el tambo 1 presentó para la franja con efluentes menor resistencia a la penetración

que la franja que no recibió aplicación de efluentes, en los primeros 5 cm; mientras que el tambo 2, a la misma profundidad, no presentaron diferencias. El tambo 1 posee mayor historia de aplicaciones de efluentes al suelo, lo cual, explicaría la diferencia en los primeros centímetros respecto al tambo 2. Sin perjuicio de esto, el tiempo de evaluación para determinar si efectivamente los efluentes tienen un efecto sobre las propiedades físicas del suelo (resistencia a la compactación como indicador de la estructura del suelo), es considerado insuficiente para vislumbrar cambios más notorios en profundidad.

Lo que se pretende explicar, es que no es posible extrapolar los resultados de un tambo a otro, dado que se trata de estudios de caso, y que son suelos con texturas y manejos diferentes, y no se conoce la humedad del suelo con la que se hicieron los manejos, lo cual según indica Taboada (2007), puede ser un factor que determina la capacidad portante del mismo. Para poder determinar si la mayor resistencia a la penetración en los primeros centímetros de suelo se debió (y hasta qué grado) al pastoreo, hubiese sido necesario el establecer una franja adicional en el diseño experimental, que recibiera la aplicación de los residuos orgánicos (y por ello con presencia del tránsito de maquinaria), pero sin ser sometida a pastoreo.

Los resultados obtenidos para los tambos 2 y 3, coinciden con lo mencionado por los autores La Manna (1992), Aggelides y Londra (2000), en cuanto a que los suelos de las franjas que recibieron aplicaciones de efluentes, mejoraron su estructura y redujeron la resistencia a la penetración, respecto a las franjas testigo, pero con variaciones en las profundidades. Este hecho no era esperable en el tambo 3, siendo contradictorios con los obtenidos por Imhoff et al. (2014), quienes no tuvieron respuesta sobre la estructura del suelo debido a las aplicaciones de efluentes, ante la escasa duración de su ensayo. En cuanto al contenido de carbono orgánico de los efluentes aplicados, las caracterizaciones de los tambos 1 y 3 presentaron similar proporción (<0,1 %), sugiriendo que no realizan un aporte importante de MO al suelo, por lo que no podría aducirse a este factor la diferencia de efecto sobre la resistencia a la penetración del suelo.

A modo general, sin perjuicio de que fueron observados cambios en algunas de las franjas que recibieron aplicaciones de efluentes no puede concluirse con certeza si la diferencia observada entre franjas, es debida exclusivamente a la aplicación de efluentes. No se dispone de línea de base que permita afirmar que el efluente provocó cambios en la estructura del suelo, en un periodo de un año de recibir aplicaciones. Adicionalmente toda la bibliografía consultada es coincidente con que los efectos de la aplicación de efluentes sobre las propiedades físicas del suelo requieren períodos largos para manifestarse.

4.7. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

4.7.1. Carbono orgánico y materia orgánica

Se presentan los contenidos de materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) de las franjas evaluadas en cada tambo, para las muestras de suelo extraídas en el año 2018 (Cuadro No. 16).

Cuadro No. 16. Contenido de CO y MO del suelo (0-15 cm) en los tres tambos

	Tambo 1		Tambo 2		Tambo 3	
	Sin efluentes	Con efluentes	Sin efluentes	Con efluentes	Sin efluentes	Con efluentes
% CO	2,0	3,1	2,2	2,3	2,9	2,6
% MO	3,4	5,3	3,8	4,0	5,0	4,5

En términos generales, los niveles de MO y CO son superiores en el tambo 1, en la franja que recibió efluentes. El tambo 2 presentó muy poca diferencia, por lo que no puede aducirse al efecto de aplicación de efluentes el mayor porcentaje de materia orgánica sobre la franja que recibió aplicaciones. El tambo 3 fue la excepción, dado que la franja que recibió aplicación de efluentes presentó 0,5 % menos de MO respecto a la que no recibió aplicaciones. En tambo 2 y 3, dado que se posee menos historia de aplicación de efluentes y se ha realizado por un corto período, se considera que los cambios observados son de escasa entidad y no pueden aducirse a la aplicación de efluentes. Los resultados podrían estar influenciados por la variabilidad espacial y en el caso del tambo 3, a que había ciertas diferencias de suelo entre franjas.

El tambo 1 fue el que presentó mayor diferencia en la proporción de MO sobre la franja de aplicación de efluentes (1,9 %) debido a que es el que posee mayor antigüedad realizando aplicaciones de efluentes. Es por ello, que contrariamente a los resultados obtenidos por Gambaudo et al. (2014), se puede inferir que la mayor antigüedad de aplicaciones de efluentes provocó la ocurrencia de mayores proporciones de MO en el suelo. Este resultado coincide con lo reportado por Siebe et al. (s.f.), quienes observaron que los suelos sobre los cuales se aplicaron aguas residuales de tipo doméstico tuvieron un incremento en el contenido de materia orgánica luego de recibir aplicaciones por períodos prolongados.

Previo a la comparación de los contenidos de MO con las condiciones de los suelos originales, es importante aclarar que solo se dispone de las caracterizaciones de las unidades de la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, correspondiente al año 1976. Estas permiten tener una aproximación pero los suelos caracterizados para describir cada unidad, no necesariamente puedan corresponderse con los suelos en estudio de cada tambo. Si se comparan la proporción de MO del tambo 1, respecto a las caracterizaciones de suelo existentes en la descripción de las unidades identificadas en la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (MAP. DSF, 1979a), correspondiente al

año 1976, se puede observar para la unidad Ecilda Paullier - Las Brujas, que los contenidos de MO en esas condiciones de suelo consideradas como “condición original”, fueron de 5,45 % para el horizonte A (0-24 cm), respecto a 5,3% en la franja que recibió efluentes, y 3,4 % de la franja que no recibió aplicaciones de efluentes. Si se analiza respecto a la franja que no recibió efluentes, se observa que probablemente las actividades desarrolladas desde el año 1976 hasta la actualidad, han degradado los suelos provocando la disminución de los contenidos de MO, con lo que esto provoca en las propiedades físicas y biológicas del suelo, como ser pérdida de estructura, compactación, menor capacidad de retención de agua por menor porosidad y menor aireación, lo que afecta las propiedades biológicas. Estos resultados se corresponden con los resultados obtenidos por Morón et al. (2009) quienes observaron deterioro de los suelos bajo pasturas/verdeos de establecimientos bajo producción lechera, respecto a suelos imperturbados, para entre otros parámetros, el carbono orgánico. Sin embargo, si se analiza respecto a la franja que ha recibido aplicaciones de efluentes, las diferencias en los contenidos de MO respecto al año 1976 son menores, lo que evidencia que los efluentes aportan materia orgánica que contribuyen en mejorar las propiedades del suelo.

Si se compara la proporción de MO del tambo 2, respecto al nivel obtenido durante la caracterización de suelos de la unidad Kiyú del año 1976, el suelo pasó de un contenido de 4,6 % para el horizonte A (0-25 cm), a tener 3,8 y 4,0 % para las franjas sin efluentes y con efluentes respectivamente. Las diferencias entre la condición original del suelo y la franja que recibió efluentes fue de escasa entidad. Mientras que la franja que no recibió aplicaciones de efluentes, presentó una diferencia de 0,8% lo cual tampoco es considerado muy elevado, aunque puede llegar a tener sus efectos sobre las propiedades del suelo.

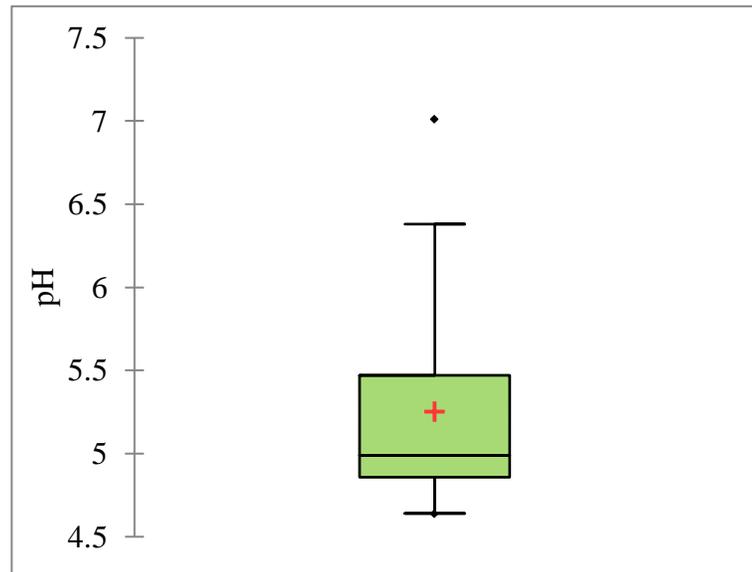
Si bien los suelos del tambo 3, por encontrarse en el límite de dos unidades, no es probable que tenga las características típicas, si se contrastan los contenidos de MO de la unidad de La Carolina de 5,8% para el horizonte A, respecto a los obtenidos en las franjas se observan diferencias mayores al 1% de MO para las franjas sin y con efluentes. Como en los casos anteriores estos resultados sugieren que las actividades desarrolladas en dicha área, han provocado pérdida en los contenidos de materia orgánica, y el uso intensivo del suelo para producción de forraje para el tambo, haya sido uno de los más influyentes.

En términos generales, se podría llegar a inferir que para el tambo 1, quien realiza aplicaciones de efluentes desde hace mayor tiempo que los otros dos tambos, los contenidos de MO más elevados sobre la franja que recibió efluentes respecto a la que no, se deban a los aportes de materia orgánica de esta enmienda.

4.7.2. pH del suelo

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos, a partir de un gráfico “boxplot” para todos los valores de pH obtenidos en los muestreos realizados en los tambos durante los años 2017 y 2018 (Figura No. 21).

Los diagramas de caja o boxplot son útiles para visualizar la dispersión de los valores respecto a la mediana, el primer cuartil y el tercer cuartil. Permite visualizarla existencia de valores atípicos u outliers.



Incluye los tres sitios y las situaciones con y sin aplicación de efluentes

Figura No. 21. Boxplot para los valores de pH en suelo

La mayoría de los valores de pH se encuentran entre 4,9 y 5,5. Sin embargo, hubo un valor de 4,6 y otro de 6,4. El valor medio de los datos observados es 5,3 y se representa en el diagrama con una cruz en el interior de la caja. El valor de la mediana obtenido para el pH fue de 5,0. Esto se indica con la línea horizontal en el interior de la caja. Dado que la media es mayor que la mediana, se puede determinar una asimetría positiva entre los datos estudiados. La caja de rango intercuartil corresponde al 50% intermedio de los valores de pH, representando la distancia entre el primer cuartil (Q_1 , 4,9) y el tercer cuartil (Q_3 , 5,5) de valores. El rango intercuartílico presentó un valor de 0,6. Se observa un valor anómalo mayor al resto de los valores de pH. Este se representa con un punto negro ubicado fuera del gráfico, correspondiendo al valor de pH 7,0.

El análisis de los valores de pH obtenidos en ambas franjas, se realizará comparativo respecto al pH para la unidad de suelos sobre la que se encuentra cada establecimiento. Asimismo se analizará entre años y entre tratamientos.

Cuadro No. 17. pH en los tres tambos

	pH					
	Tambo 1		Tambo 2		Tambo 3	
	Sin efluentes	Con efluentes	Sin efluentes	Con efluentes	Sin efluentes	Con efluentes
2017	5,6	6,5	5,1	5,0	4,9	4,9
2018	5,2	6,3	5,1	4,7	4,9	4,9

El tambo 1, en el muestreo del año 2017 presentó en cada franja mayor pH que en el muestreo de 2018, manteniendo el hecho de que la franja que recibió aplicaciones, tenía mayor pH respecto a la que no (Cuadro No. 17). Debido a que el pH de la unidad de suelos Ecilda Paullier – Las Brujas para el horizonte A era de 7,0, podría haber ocurrido cierta acidificación del suelo, la cual puede deberse al proceso de mineralización del nitrógeno proveniente del efluente aplicado, pérdidas de materia orgánica por laboreo y fertilización con fertilizantes amoniacales (Beretta-Blanco et al., 2019). En coincidencia con los resultados obtenidos por Goold (1980), los niveles de pH se elevaron en las parcelas que recibieron efluentes respecto a las que solo recibieron aplicación de agua. Del año 2017 al año 2018 hubo una pequeña disminución del pH en cada tratamiento. Es importante destacar que este establecimiento posee mayor historia de aplicación de efluentes respecto a los otros dos tambos evaluados.

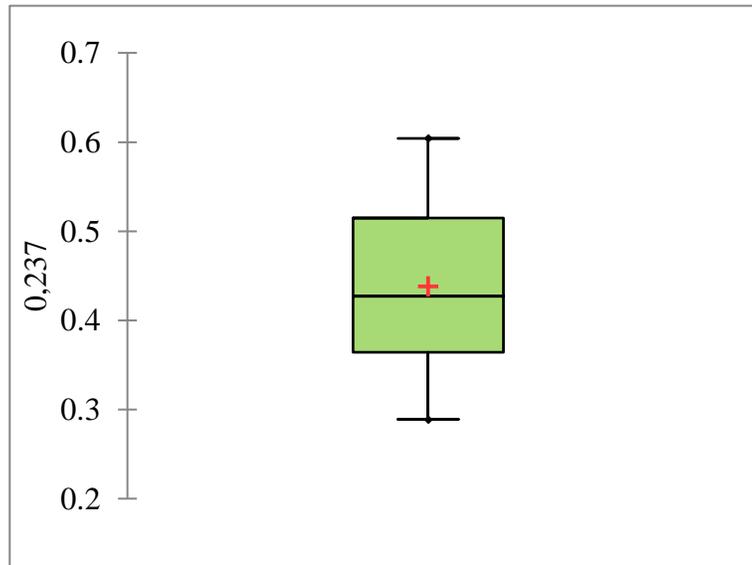
En el tambo 2 (Cuadro No. 17), se observa un menor pH en ambas franjas si se compara con los valores originales de la unidad de suelos Kiyú (pH de 5,8), más acentuado sobre la franja que recibió aplicaciones de efluentes. La comparación entre años para la franja con efluentes indica un menor pH (0,3 unidades) sin embargo sobre la franja sin efluentes entre años presentan aproximadamente el mismo valor. Los resultados fueron contradictorios a los obtenidos por Goold (1980) quien reportó incrementos en los niveles de pH de las parcelas que recibieron efluentes respecto a las que solo recibieron aplicación de agua.

Para el tambo 3, no hubo variaciones en el pH del suelo ni entre años ni entre franjas (Cuadro No. 17).

A modo resumen, los efectos sobre el pH del suelo los cuales se aducen en cierta parte a la aplicación de efluentes, fueron más notorios en el tambo 1, el cual tiene mayor cantidad de años de aplicación respecto a los otros dos tambos. Se observa una tendencia a acidificación del suelo, aunque la misma fue constatada en franja sin aplicaciones y franja con aplicaciones de efluentes.

4.7.3. Conductividad eléctrica

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos, a partir de un gráfico “boxplot” para todos los valores de conductividad eléctrica obtenidos en los muestreos realizados en los tambos durante los años 2017 y 2018 (Figura No. 22).



Incluye los tres sitios y las situaciones con y sin aplicación de efluentes

Figura No. 22. Boxplot para los valores de CE en suelo

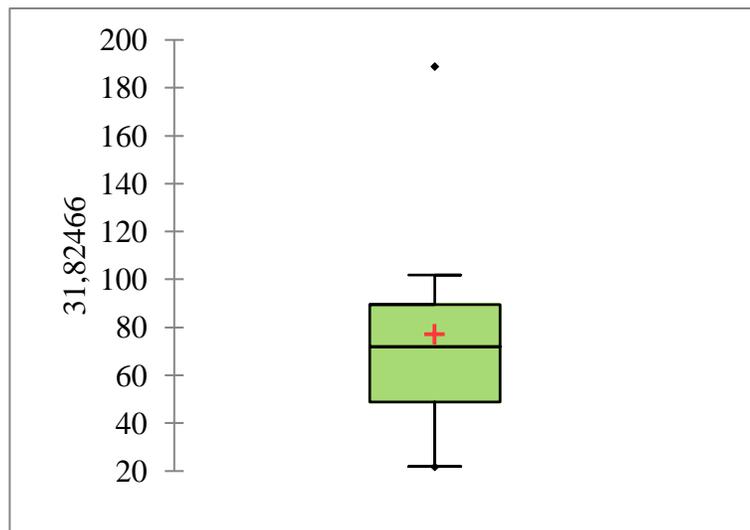
La mayoría de los valores de CE se encuentran entre 0,365 y 0,515 dS/m. Sin embargo, hubo un valor de 0,289 y otro de 0,604 dS/m. Estos valores se encuentran dentro del rango de mediciones de conductividad eléctrica de 0 a 0,980dS/m, y de la clase de salinidad propuesta por USDA (1999) como “no salino”, cuyos efectos serían despreciables sobre los cultivos. Aun considerando el valor más elevado que fue de 0,604 dS/m, se encuentra 0,376 dS/m menos del límite superior del rango. El valor medio de los datos observados es 0,439 dS/m y se representa en el diagrama con una cruz en el interior de la caja. El valor de la mediana obtenido para el CE fue de 0,427 dS/m. Esto se indica con la línea horizontal en el interior de la caja. Dado que la media es mayor que la mediana, se puede determinar una asimetría positiva entre los datos estudiados. La caja de rango intercuartil corresponde al 50% intermedio de los valores de CE, representando la distancia entre el primer cuartil (Q_1 , 0,365) y el tercer cuartil (Q_3 , 0,515) de valores. El rango intercuartílico presentó un valor de 0,150 dS/m. A diferencia del boxplot de pH, para CE no se observan valores anómalos, dado que no se ven puntos fuera del diagrama de caja (Figura No. 21).

En términos generales, de las muestras de suelo extraídas en 2017 y 2018, no puede concluirse que hay efectos sobre esta propiedad del suelo debido a la aplicación de efluentes. Sin embargo, sería aconsejable continuar con los monitoreos de suelo para

evaluar a largo plazo los cambios en el suelo sobre esta propiedad debido a las aplicaciones. Se considera que un intervalo de 1 año entre ambos muestreos de suelo, es escaso para vislumbrar cambios.

4.7.4. Fósforo disponible

Debe aclararse en primer lugar que los productores realizaron aplicaciones de P durante el período evaluado, el análisis de los resultados se referirá en forma conjunta al efecto de ambas fuentes de nutrientes. Para el fósforo, se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos, a partir de un gráfico “boxplot” para los valores obtenidos en los muestreos realizados a una profundidad de 0-15 cm en los tambos durante los años 2017 y 2018 (Figura No. 23). De forma independiente, se realizó un mismo análisis pero para los datos obtenidos a partir del muestreo efectuado en el año 2018, a una profundidad de 0-5 cm (Figura No. 24).



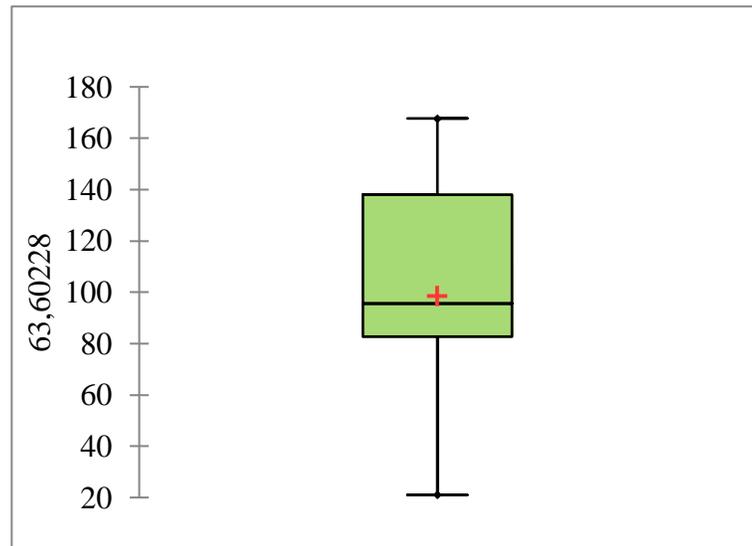
Incluye los tres sitios y las situaciones con y sin aplicación de efluentes
Figura No. 23. Boxplot para los valores de P Bray I de 0-15 cm

La mayoría de los valores de fósforo disponible (Bray I) se encuentran entre 49 y 89 mg/kg. Sin embargo, hubo un valor de 22 y otro de 102 mg/kg.

El valor medio de los datos observados es 77 mg/kg y se representa en el diagrama con una cruz en el interior de la caja. El valor de la mediana obtenido para el fósforodisponible (Bray I) para la profundidad definida, fue de 72 mg/kg. Esto se indica con la línea horizontal en el interior de la caja. Dado que la media es mayor que la mediana, se puede determinar una asimetría positiva entre los datos estudiados. La caja de rango intercuartil corresponde al 50% intermedio de los valores de fósforo disponible (Bray I), representando la distancia entre el primer cuartil (Q_1 , 49) y el tercer cuartil (Q_3 , 89) de valores. El rango intercuartílico presentó un valor de 41 mg/kg. Se observa un valor anómalo mayor al resto de los valores de fósforodisponible (Bray I). Este se

representa con un punto negro ubicado fuera del gráfico, correspondiendo al valor de 189 mg/kg.

A continuación, se analiza el boxplot obtenido a partir de los resultados del muestreo de fósforo Bray I a una profundidad de 0-5 cm.



Incluye los tres sitios y las situaciones con y sin aplicación de efluentes

Figura No. 24. Boxplot para los valores de P Bray I de 0-5 cm

La mayoría de los valores de fósforo disponible (Bray I) se encuentran entre 83 y 138 mg/kg. Sin embargo, hubo un valor de 21 y otro de 168 mg/kg. El valor medio de los datos observados es 98mg/kg y se representa en el diagrama con una cruz en el interior de la caja. El valor de la mediana obtenido para el fósforo disponible para la profundidad definida, fue de 96 mg/kg. Esto se indica con la línea horizontal en el interior de la caja. Dado que la media es mayor que la mediana, se puede determinar una asimetría positiva entre los datos estudiados. La caja de rango intercuartil corresponde al 50% intermedio de los valores de fósforo disponible, representando la distancia entre el primer cuartil (Q_1 , 83) y el tercer cuartil (Q_3 , 138) de valores. El rango intercuartílico presentó un valor de 55,2 mg/kg. Entre los resultados correspondientes al muestreo a menor profundidad, no se observaron valores anómalos.

En términos generales, los contenidos de fósforo disponible (Bray I) en el estrato más superficial, fueron extremadamente altos, encontrándose entre 83 a 138 mg/kg, mientras que en el estrato de 0-15 cm el contenido estuvo en un rango de 49 a 89 mg/kg. Es importante este aspecto, debido a que el fósforo es un nutriente poco móvil en el suelo, y tiende a estratificarse en superficie, tal como lo denotan los análisis de suelo.

Cuadro No. 18. Niveles de fósforo disponible en el suelo del tambo 1 según estratos

		Estrato	P Bray I (mg/kg)
2017	Sin efluentes	0-15 cm	47
	Con efluentes		144
2018	Sin efluentes	0-5 cm	67
	Con efluentes		134
	Sin efluentes	0-15 cm	54
	Con efluentes		113

En el tambo 1 se puede concluir que las franjas que recibieron efluente poseen mayores niveles de este nutriente, incluso la concentración es mayor en el estrato de 0-5 cm, vislumbrando la estratificación superficial la cual no es muy notoria debido a los altos contenidos de este nutriente en el otro estrato sobre la franja que recibió efluentes (Cuadro No. 18). Es importante enfatizar que este tambo presenta una historia de aplicación sobre la franja con tratamiento de este trabajo, que puede ser la razón por la cual este nutriente está más elevado. Sin embargo, para la franja testigo, los niveles superan ampliamente las 31 mg/kg de fósforo disponible, límite en el cual se considera que incrementos en las aplicaciones de nutrientes no se corresponderán con incrementos productivos de los cultivos, constituyendo además un riesgo de contaminación de cursos de agua. Esto, además de los efluentes, es probablemente debido a las prácticas de fertilización del productor.

Cuadro No. 19. Niveles de fósforo disponible en el suelo del tambo 2 según estratos

		Estrato	P Bray I (mg/kg)
2017	Sin efluentes	0-15 cm	34
	Con efluentes		76
2018	Sin efluentes	0- 5 cm	49
	Con efluentes		123
	Sin efluentes	0-15 cm	43
	Con efluentes		115

En el tambo 2 se observó una menor estratificación del P disponible, aunque se desprende que independientemente del estrato, los contenidos de fósforo disponible son superiores en aquellas franjas que recibieron aplicaciones de efluentes (Cuadro No. 19). Es importante destacar que las franjas en evaluación, no solo poseen un historial de recibir efluentes, estiércol y fertilizantes, sino que además son sometidas a pastoreos. Si bien durante la duración de este trabajo, la franja testigo no recibió aplicaciones de

residuos orgánicos de tambo, las diferencias entre una franja y otra se consideran muy contrastantes como para aducir que por la suspensión de la aplicación de efluentes y estiércol durante solo un año, pueda existir una diferencia de esta magnitud entre franjas. Es por dicho motivo, que se considera que debido a que la franja que no recibió aplicaciones se encuentra sobre un borde de la parcela utilizada para producción de forraje para el ganado, en la rutina de aplicaciones en el pasado pudo haber recibido menos estiércol y efluente, ya que funciona como “cabecera de chacra”. Sin perjuicio de lo anterior, los niveles de este nutriente son considerados muy elevados y superan ampliamente las 31 mg/kg de fósforo disponible tomados como criterio técnico para los suelos de la Cuenca del Río Santa Lucía.

Cuadro No. 20. Niveles de fósforo disponible en el suelo del tambo 3 según estratos

		Estrato	P Bray I (mg/kg)
2017	Sin efluentes	0-15 cm	60
	Con efluentes		71
2018	Sin efluentes	0-5 cm	92
	Con efluentes		115
	Sin efluentes	0-15 cm	85
	Con efluentes		69

De los resultados de análisis de suelo para el tambo 3 (Cuadro No. 20) contrariamente a lo esperado, se observa una disminución de los contenidos de fósforo disponible si se presta atención sobre la franja que recibió efluentes entre años (2017 vs. 2018). Sin embargo, la franja que no recibió aplicaciones, tuvo un incremento en los niveles de este nutriente si se observa el estrato de 0-15 cm y la evolución de su contenido en el suelo entre años. En el muestreo de suelos del estrato más superficial, los contenidos fueron superiores que en los muestreos de 0-15 cm. La franja que recibió aplicaciones de efluentes tuvo mayores niveles respecto a la franja testigo. Esto se debe probablemente a las aplicaciones de efluentes, y tal como se mencionó anteriormente, puede haber influencia sobre estos resultados del plan de fertilización del productor. La estratificación del P disponible en los primeros 5 cm de suelo se presenta con mayor notoriedad en este establecimiento, respecto a los tambos 1 y 2. En coincidencia con los resultados de Goold (1980), los niveles de P fueron superiores en las franjas que recibieron aplicaciones de efluentes en el año 2017 y en la capa superior en 2018. En el siguiente año, se mantuvo el nivel en la franja con efluentes, pero la sin efluentes mostró mayores contenidos.

4.7.5. Cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na)

Antes de proceder a analizar los resultados obtenidos en cada tambo, se presentan brevemente los rangos de contenidos absolutos de los cationes intercambiables

para los suelos del Uruguay: Ca 0,5 – 30 cmol/kg, Mg 0,3 a 10 cmol/kg, K 0,1 a 1,5 cmol/kg y Na 0,1 a 2,0 cmol/kg (UdelaR. FA, 2012).

A continuación, se analizan las proporciones de los cationes intercambiables y el efecto de las aplicaciones de efluentes sobre los contenidos de los mismos en el suelo.

Cuadro No. 21. Cationes intercambiables en el suelo del tambo 1

		Cationes intercambiables (cmol/kg)			
		Ca	Mg	K	Na
2017	Sin efluentes	14,6	4,4	0,7	0,7
	Con efluentes	21,8	5,6	2,4	0,7
2018	Sin efluentes	14,8	3,8	0,6	0,6
	Con efluentes	17,2	4,8	1,7	1,0

En el tambo 1, que es el que presenta mayor historia de aplicaciones de efluentes sobre la franja evaluada, los diferentes cationes se encuentran más elevados, respecto a la testigo (Cuadro No. 21). Los niveles obtenidos tras los análisis de las muestras de suelo del año 2018, sufren una caída respecto al año 2017, excepto para el Na que fue el único que se incrementó en 0,4 cmol/kg. Este último catión presentó menores variaciones respecto a los otros.

Si se comparan los niveles de cationes intercambiables de la caracterización realizada para la unidad de suelo Ecilda Paullier – Las Brujas en la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1979a), se observa que los cationes Mg y K se encuentran elevados respecto a la caracterización del año 1976 para el horizonte A (3,4 y 1,0 cmol/kg respectivamente). En tanto que el Ca se encuentra cercano a los 20 cmol/kg de la caracterización de 1976.

En cuanto a los rangos de contenidos absolutos de los cationes, el Ca, Mg y Na no se encuentran fuera de los mismos. Sin embargo, los niveles de K sobre la franja que recibió efluentes, en los dos años en que se muestreó suelo, se encuentran por encima del límite superior del rango, es decir, por encima de 1,5 cmol/kg, indicando una muy buena disponibilidad del nutriente. Este resultado fue similar al obtenido por Goold (1980), quien tuvo como resultado una acumulación de K y Mg sobre las franjas que recibieron efluentes respecto a las que recibieron agua. Cabe destacar que el exceso de K no es problemático para el crecimiento vegetal, salvo que se produzca un desbalance con los otros cationes.

Cuadro No. 22. Cationes intercambiables en el suelo del tambo 2

		Cationes intercambiables (cmol/kg)			
		Ca	Mg	K	Na
2017	Sin efluentes	8,9	3,5	0,8	0,5
	Con efluentes	9,3	3,6	1,2	0,3
2018	Sin efluentes	10,5	3,6	0,9	0,5
	Con efluentes	9,3	3,2	1,0	0,4

Durante el año 2017, se puede observar que la franja que recibió aplicaciones de efluentes presenta mayor concentración de Ca, Mg y K respecto a la franja que no recibió aplicaciones. La franja con aplicaciones presentó 0,2 cmol/kg menos de Na (Cuadro No. 22).

Entre años, la franja sin aplicaciones de efluentes presentó incrementos en las concentraciones de Ca, Mg, K intercambiables y mantuvo la concentración de Na, aunque las variaciones se consideran de poca entidad. La franja que recibió aplicaciones de efluentes, disminuyó los niveles de Mg y K, mantuvo el Ca e incrementó en 0,1 cmol/kg el nivel de Na. Estas variaciones se consideran muy poco notorias, y es por ello que se puede visualizar cierta tendencia en el incremento de algunos cationes por la aplicación de efluentes, aunque por la escasa duración del presente trabajo, no se pudieron evidenciar tendencias de mayor notoriedad. Específicamente sobre el último monitoreo de suelos realizado en el año 2018, los niveles de Ca, Mg y Na intercambiables en la franja sin efluentes fueron superiores a la franja que si recibió aplicaciones.

Si se comparan los niveles de cationes intercambiables de la caracterización realizada para la unidad de suelo Kiyú en la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1979a), se observa una tendencia a mayores concentraciones de Ca, Mg, y K intercambiables (8,8, 3,1 y 0,3 cmol/kg respectivamente), y se mantienen los niveles de Na (respecto a 0,4 cmol/kg) al último monitoreo de suelos. Para el sodio, los resultados obtenidos fueron diferentes a los obtenidos por Richmond (2017), quien pudo observar un leve incremento de la salinidad del suelo.

Las diferencias en las concentraciones de los cationes entre franjas y para la duración de este trabajo no pueden aducirse a las aplicaciones de efluentes. Sin embargo, los valores mayores a los de la caracterización de suelos realizada en 1976, indican que en el largo plazo no parecería existir una pérdida de cationes. El efecto poco significativo sobre las proporciones de los cationes en el corto plazo, coincidió con el resultado obtenido por Gambaudo et al. (2014), quienes debido al corto período en que se realizaron aplicaciones de efluentes, tuvieron el mismo efecto que se observa en este trabajo.

Por otro lado, si se contrastan los niveles de cationes del último monitoreo de suelos (ambas franjas) con los rangos de contenidos absolutos que deberían existir en los suelos de Uruguay, ninguno se encuentra fuera de los mismos (UdelaR. FA, 2012).

Cuadro No. 23. Cationes intercambiables en el suelo del tambo 3

		Cationes intercambiables (cmol/kg)			
		Ca	Mg	K	Na
2017	Sin efluentes	12,7	3,9	0,7	0,7
	Con efluentes	11,6	3,6	0,7	0,3
2018	Sin efluentes	13,8	4,4	0,7	0,2
	Con efluentes	12,1	3,8	0,7	0,5

En el tambo 3 el Ca y Mg intercambiables, son más bajos en las franjas que recibieron aplicaciones de efluentes, respecto a las franjas testigo, para los dos muestreos realizados, aunque en 2018 fueron más elevados que en 2017, lo que podría sugerir un efecto positivo de la aplicación de efluentes. En cuanto al K, no hubo diferencias significativas, entre años y entre franjas. Sobre el Na, se desprende que para el 2017 la franja que recibió efluentes presentó la mitad de los niveles de la franja testigo, y hacia el 2018 ocurrió lo inverso (Cuadro No. 23).

Tal como fue aclarado anteriormente (acápito 4.7.1), los suelos de las unidades caracterizadas en 1976 para la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (MAP. DSF 1979a, 1979b), no necesariamente se corresponden a la condición original de los suelos caracterizados en el presente trabajo.

La franja que recibió efluentes, tiene menor contenido de Ca y Mg, y mayor de K respecto a la caracterización de 1976 correspondiente a la unidad La Carolina, no obstante, como se mencionó este suelo está en el límite con la unidad San Gabriel-Guaycurú, por lo cual es de esperar cierto apartamiento del perfil modal. En cuanto a los cationes de las muestras de suelo del presente trabajo, se encontrarían dentro de los rangos de contenidos absolutos que deberían existir en los suelos de Uruguay (UdelaR. FA, 2012).

4.8. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS DEL ESTUDIO DE CASOS CON APLICACIÓN DE EFLUENTES

El presente capítulo, pretende resumir recomendaciones para continuar con este trabajo en los tambos evaluados en Canelones, San José y Soriano, y en segunda instancia, compilar algunas sugerencias para diseñar nuevos trabajos que permitan evaluar los efectos de la aplicación de los efluentes sobre el suelo.

Una de las posibilidades para estudiar los efectos de las aplicaciones de efluentes sobre el suelo, sería realizar ensayos parcelarios con la mayor cantidad de

factores controlados, es decir: dosis a aplicar definidas, efluentes caracterizados, muchas repeticiones sobre suelos homogéneos entre y dentro de los tratamientos y con bajos niveles de nutrientes, manejo definido (pastoreo o cortes, con intensidad y frecuencia establecida). Este tipo de diseño experimental permite evaluar si existen o no, efectos a partir de la aplicación de efluentes independizándose de factores que puedan alterar o influenciar los resultados.

A diferencia de lo anterior, se prefirió para este trabajo la metodología de “estudio de casos”, dado que posee ventajas comparativas. Algunas de ellas son las siguientes: evaluación de efectos de aplicaciones de efluentes en predios de productores que están inmersos en la realidad productiva, permiten abarcar tipos de suelo diferentes debido a que los tambos se encuentran en departamentos distintos, los manejos de las pasturas sobre las franjas responden a las formas de producción y cosecha del forraje de cada establecimiento, los sistemas de aplicación y los SGET son adaptados a las diferentes escalas y formas de producción, las prácticas de fertilización química se mantienen, algo que suele ocurrir en los tambos a pesar de que se realizan aplicaciones de efluentes, entre otras.

En primera instancia, se detallan recomendaciones que se consideran de relevancia para continuar con este trabajo de estudio de casos en los tambos 1, 2 y 3.

Tal como se desprende del capítulo “Resultados y Discusión”, en términos generales, la duración no fue suficiente como para vislumbrar cambios en las propiedades del suelo ocasionados por la aplicación de efluentes. Es por ello, que se recomienda considerar los resultados obtenidos como línea de base, y continuar con los monitoreos para relevar evolución en las tendencias de las diferentes propiedades del suelo en los tres establecimientos.

Sobre los parámetros analizados, la textura ya fue determinada en el presente trabajo, por lo que de continuar monitoreando estas situaciones no sería un parámetro que deba considerarse. Los cambios en las texturas de suelo en el corto plazo pueden ocurrir debido a desplazamientos de suelo por malas prácticas agrícolas, o inadecuados manejos, lo cual no sería esperable en establecimientos lecheros que poseen prácticas agronómicas tales como la siembra directa, poca inversión y mantener la cobertura de suelo, como se realizaba en los tambos 1, 2 y 3.

La caracterización de los efluentes y estiércol sólido presentó dificultades (debido a la variabilidad en la composición de ambas fracciones). Se pretendía estimar las cargas aplicadas de nutrientes sobre ambas franjas, a partir de las caracterizaciones efectuadas en el invierno o en primavera de 2017, así como los volúmenes aplicados. Para esto último, se les entregó a los productores planillas para ir registrando según el sistema de aplicación, las horas de operación con el cañón fijo o autopropulsable, o la cantidad de estercoleras aplicadas sobre las franjas. Debido a la gran cantidad de actividades realizadas por los productores diariamente, estos registros no se pudieron completar con el grado de detalle pretendido para la tesis. Por ello, el cálculo de un balance de nutrientes no fue factible. Si se quiere disponer de esta información, quizás

pueda asignarse a cada tambo una persona que realice un seguimiento más exhaustivo, y no se dependa de la buena disponibilidad de los productores. No obstante, para poder gestionar la aplicación de los efluentes de manera adecuada y para optimizar el aprovechamiento agronómico de este recurso, se recomienda que los productores registren algunos indicadores básicos de operación del SGET.

Es importante que quede definido en posteriores evaluaciones, si se incluye o no el pastoreo directo sobre las franjas, ya que esto determinará que haya aportes de nutrientes proporcionales al tiempo de permanencia sobre las franjas debido a las deyecciones directas, y esto debe ser cuantificado. Esto aplica a si se pretende realizar un nuevo estudio de casos. Otro aspecto relativo al pastoreo, es las condiciones en que se realiza, dado que si los animales ingresan cuando el suelo tiene elevado contenido de humedad, suele provocar compactación, y es relevante tenerlo en consideración cuando se evalúen los resultados obtenidos con el penetrómetro. Por otro lado, una de las ventajas del estudio de casos, es la evaluación en condiciones similares a las de producción. Obviamente la evaluación debe hacerse atendiendo a las mejores prácticas de manejo, dentro de las que no está incluido pastorear con el suelo excesivamente húmedo.

A continuación se detallan algunas recomendaciones en caso de nuevos trabajos. En cuanto a la definición de las franjas, en este trabajo, fueron establecidas en los sitios que los productores podían destinar para ello. En el tambo 3, las franjas se ubicaron en puntos geográficamente diferentes, lo que determinó hubiera diferencias en el suelo, por lo tanto el factor geográfico dificultó la interpretación de los resultados. Es importante para próximos trabajos definir franjas contiguas, para que las condiciones sean lo más similares posibles y de ese modo, poder atribuir las diferencias entre los resultados encontrados entre franjas exclusivamente a la aplicación de efluentes, y no a otros factores. En cuanto a los tiempos operativos y detalles de operación de los SGET, los relevamientos durante las visitas, y el procesamiento de los registros completados por los productores, permitieron relevar dificultades operativas, ventajas y desventajas de los sistemas de aplicación, tiempos operativos, rutinas de limpieza y otros aspectos vinculados a los SGET. Así como tener aproximaciones de requerimientos de mano de obra. Sin embargo, para conclusiones más abarcativas y acabadas de algunos de los aspectos antes mencionados, a futuro, sería adecuado una mayor frecuencia de visitas para cuantificar tiempos reales y problemas que quizás hayan sido omitidos en los registros por considerarse de poca relevancia por parte de los productores.

Por último, se reconoce la importancia de continuar las investigaciones nacionales con el fin de evaluar los efectos de las aplicaciones de efluentes y estiércol sobre la producción de forraje, tanto en calidad como en cantidad de las pasturas. Este objetivo se encuentra asociado a la necesidad de definir las dosis a aplicar, las frecuencias y las cargas de nutrientes presentes en los efluentes y estiércol. A partir de la misma, se puede llegar a calcular los balances de nutrientes de los tambos que se encuentran bajo estudio, lo cual en la cotidianeidad, suele estimarse a partir de unas pocas caracterizaciones de efluentes (lo cual podría considerarse poco representativo por

la variabilidad en la composición) y a partir de estimaciones de volúmenes aplicados dado que no suelen llevarse minuciosos registros. Además, con esto se pretende continuar con la validación y perfeccionamiento de las metodologías de cálculo que se utilizan para estimar estos parámetros cuando se diseña un plan de aplicación de efluentes y estiércol. Estas mediciones son costosas de ejecutar en los casos comerciales de diseño, pero si se realizan en más casos de estudio controlados, permitirían robustecer y fortalecer las herramientas de cálculo y extenderlo al resto de los diseños. Asimismo, la información obtenida de este último punto, tendrá relevancia a la hora de mostrar cómo parte de las aplicaciones podrían sustituir las cantidades de fertilizantes químicos usados. A pesar que actualmente se conoce que los efluentes y estiércol aportan nutrientes, no se están utilizando los fertilizantes químicos para compensación de los déficits que los residuos orgánicos de tambo no logran cubrir, sino que se mantienen en muchos tambos, los planes de fertilización tipo de los productores además de la disposición en terreno.

5. CONCLUSIONES

Los tambos seleccionados para el presente trabajo, bajo la metodología de estudio de casos, poseen diferentes SGET los cuales se encuentran adaptados para cada establecimiento según la realidad productiva de cada uno. Los productores tienen de una u otra forma, prácticas incorporadas que se recomiendan para reducir el consumo de agua limpia, para minimizar la cantidad de excretas sobre las áreas de aporte hacia los SGET, a favor de la gestión ambiental adecuada de los residuos orgánicos de un tambo. El tambo 1, realiza el arreo del ganado de forma lenta y pausada, para que las vacas realicen las deyecciones en el trayecto hacia la sala de ordeño, y no sobre el corral de espera. El tambo 2, reutiliza efluentes de la última laguna de su SGET lavado por inundación de los establos donde se encuentran las vacas de alta producción, minimizando el consumo de agua limpia para limpieza de superficies sucias. El tambo 3 realiza el mojado del corral de espera en verano, para que las excretas no se adhieran sobre dicha superficie, lo que implicaría mayor cantidad de agua para lavado.

Debido a los distintos diseños y configuraciones de los SGET de los tambos evaluados, las composiciones de los efluentes presentaron diferencias cuando se compararon los resultados de las caracterizaciones en iguales estaciones y en la misma unidad del SGET, para los dos tambos con SGET similar en cuanto a cantidad de lagunas (3), es decir, tambos 1 y 2. Una de las diferencias encontradas fue en el contenido de sólidos, donde para el tambo 2 debido al reuso de efluentes para limpieza de algunas superficies y la existencia de establos (manejo y tipo de sistema productivo), pudo haber explicado este resultado. Sobre similitudes, el contenido de calcio y potasio en ambos efluentes se incrementaron al pasar de invierno a primavera, debido posiblemente a la mayor disponibilidad de forraje en esta época. En cuanto al efluente caracterizado en el tambo 3, los contenidos de sólidos fueron similares a los que presentó el efluente de la laguna 3 del tambo 1 en la estación de primavera, lo que evidencia una buena operación de la trampa de sólidos. Los tres efluentes caracterizados presentaron similitudes en cuanto a la baja relación C:N, lo que es indicativo de que el nutriente estará rápidamente disponible; y se incrementaron los contenidos de calcio al cambiar de estación, de invierno a primavera.

Los equipos de aplicación de efluentes en cada tambo fueron seleccionados de acuerdo a la disponibilidad de mano de obra, el SGET y las características del sistema productivo, mas fueron reportadas algunas dificultades operativas por parte de los productores en la operación diaria de cada uno de ellos. En el tambo 1, se requieren mayores esfuerzos operativos para disponer los efluentes sobre algunas franjas para que reciban la aplicación de los efluentes, así como inconvenientes con el soporte tipo trípode dado que requiere cuidados en la colocación para que no se caiga el implemento. El tambo 2, al aplicar efluentes con estercolera, no suele ser posible ingresar en cualquier época del año a todos los potreros, asimismo, al vender el servicio a productores vecinos no siempre la tiene disponible para cuando se requiere su uso. El tambo 3, reportó como dificultad el desplazamiento del equipo y el hidrante con acople

fácil, de posición en posición de aplicación, lo que requirió que se efectuaran adaptaciones a un vehículo del predio por el peso del caño con efluentes en el interior. Otra observación fue que si el tapiz vegetal se encuentra elevado, puede limitar el desplazamiento del cañón autopropulsable.

Las láminas determinadas para los dos sistemas de aplicación de efluentes mediante aspersión (cañón fijo y cañón autopropulsable para los tambos 1 y 3 respectivamente) se asemejaron a las láminas que fueron configurados. Ambas presentaron una tendencia de campana de Gauss. La lámina del cañón fijo fue de 15,3 mm y la tasa de aplicación fue de 10,2 mm/h, mientras que para el cañón autopropulsable la lámina fue de 10,6 mm y la tasa de aplicación fue de 21,3 mm/h. Para el tambo 2 que aplicó con una estercolera propia de 10.000 L de capacidad y ancho operativo de 9 m, se determinó una lámina de 3,2 mm.

En cuanto a las propiedades físicas del suelo, determinando la resistencia a la penetración como indicador de la compactación de los suelos, en los tambos 2 y 3, se pudo observar en un estrato del perfil más amplio, como las franjas que recibieron aplicaciones de efluentes presentaban menor resistencia a que fueran atravesadas por el penetrómetro respecto a las que no recibieron aplicaciones, a pesar de tratarse del corto período de evaluación. Asimismo, en el tambo 1 el cual se tenía mayor historial de aplicaciones, el efecto en mejorar la estructura del suelo, reducir compactación y por ende disminuir la resistencia a la penetración, solo se observó a escasos centímetros del perfil.

La aplicación de efluentes en cada establecimiento (tambos 1, 2 y 3) no tuvo un efecto significativo y notorio sobre las propiedades químicas en los tres establecimientos cuando se las comparó con las franjas que no recibieron aplicaciones, para el tiempo que duró el presente trabajo y para los diferentes parámetros analizados (materia orgánica, carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica, fósforo disponible y contenido de calcio, magnesio, potasio y sodio). Sin embargo el tambo 1, posiblemente debido al mayor historial de aplicaciones con un cañón fijo sobre la franja “con efluentes” presentó tendencias más notorias en algunos parámetros, por ejemplo en los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico, respecto a la franja que no recibió aplicaciones. En términos generales, los contenidos de fósforo disponible (Bray I) en el estrato más superficial fueron extremadamente altos, estuvieron entre 83 a 138 mg/kg, mientras que en el estrato de 0-15 cm el contenido estuvo en un rango de 49 a 89 mg/kg. Esto es de relevancia debido a que las prácticas agronómicas actuales en que las fertilizaciones y la aplicación de efluentes se realizan en superficie, y debido a la poca movilidad de este nutriente en el suelo, ocasionan que la acumulación sea predominantemente en los primeros estratos del perfil. Sin perjuicio de lo anterior, de la comparación entre los resultados de los parámetros analizados en las franjas evaluadas con las características de las unidades de suelo predominantes en los establecimientos en el año 1976, se pudo observar cierto deterioro de este recurso en la actualidad, probablemente debido a la intensividad del uso de suelo para la producción.

6. RESUMEN

Los residuos orgánicos del tambo (fracción líquida y sólida) constituyen un recurso, dado que además de aportar nutrientes contribuyen a incrementar la aireación, retención de agua, y mejorar la estructura del suelo. El trabajo tuvo como objetivos 1) determinar los cambios sobre las propiedades químicas y físicas del suelo ante la aplicación de efluentes de tambo con diferentes sistemas de gestión de efluentes (SGET), 2) detección de problemas en la operación y mantenimiento de las diferentes unidades de los SGET, 3) caracterizar los efluentes provenientes de cada tambo. La metodología se basó en el estudio de casos. Se seleccionaron tres tambos junto a CONAPROLE, en los departamentos de Canelones, San José y Soriano. Los efluentes son aplicados mediante cañón fijo, estercolera y cañón autopropulsable para los tambos 1, 2 y 3 respectivamente. Las diferencias en composición de los efluentes (contenido de sólidos y nutrientes) se adjudicaron a los diseños y al manejo realizado en cada tambo. El efluente del tambo 2, que los reutilizaba para limpieza, tuvo 1,3 % de sólidos, en tanto que el tambo 1, con similar cantidad de lagunas y diseño, pero que no reutilizaba efluentes, tuvo 0,2 %, siendo similar en el tambo 3. En cada tambo se definieron dos franjas, una que recibió efluentes, no así la otra. En el tambo 2, la franja con efluentes recibió además estiércol extrusado. En el 2017 se extrajeron tres muestras compuestas de suelo en cada franja (0-15 cm), además en el 2018, se incluyeron muestras del estrato de 0-5 cm. Se analizó materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica, cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na) y fósforo disponible (P-Bray I). La aplicación de efluentes durante el estudio no tuvo un efecto notorio sobre las propiedades analizadas. Sin embargo en el tambo 1, posiblemente debido al mayor historial de aplicaciones, los contenidos de MO fueron mayores. En los tres casos los contenidos de P-Bray I fueron muy altos (entre 83 a 138 mg/kg en el estrato superficial), y de 49 a 89 mg/kg de 0 a 15 cm. Al comparar los resultados con las características de las unidades de suelo de 1976, se observó cierto deterioro del recurso. En los tambos 1 y 3, hubo menor resistencia a la penetración en la franja que recibió efluentes, mientras en el tambo 2 las diferencias no pudieron ser explicadas por la aplicación de éstos. Este estudio permite contar con una línea de base para futuros monitoreos, debido a que se necesita un plazo mayor para determinar si los efluentes tienen efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. El objetivo de definir pautas de recomendación para la aplicación de efluentes y detectar problemas en la operación fue parcialmente cumplido, dado que la información que se pudo recabar fue insuficiente. Los tiempos de limpieza de corral de espera y sala de ordeño fueron variables entre tambos. Respecto a las láminas de aplicación, tanto el cañón fijo como el autopropulsable, presentaron una tendencia gaussiana en el perfil de mojado, con promedios de 15,3 y 10,6 mm respectivamente. La lámina de la estercolera del tambo 2 fue de 3,2 mm. Se detectaron algunas dificultades en el manejo, por lo cual esta información podría utilizarse para planear mejoras en estos sistemas.

Palabras clave: Efluentes; Tambo; Propiedades químicas del suelo; Propiedades físicas del suelo; Sistemas de gestión de efluentes; Aplicación de efluentes.

7. SUMMARY

Liquid and solid organic residues from dairy cattle farms must be considered as a resource because it is well known that these wastes help to improve soil properties as: aeration, water retention, cationic exchange capacity, as well as soil structure helping to reduce erosion. The objectives of the present work were 1) evaluate possible changes of these soil properties after effluent application, generated indifferent effluent management systems: SGET (from its initials in Spanish), 2) determine operation and maintenance problems in the different effluent management systems, 3) characterize the effluent from each dairy cattle farm studied. The methodology used is "case study". The farms are in three different counties: Canelones, San José and Soriano. They were called: dairy cattle farm 1, 2 and 3, in that order. From now on, the results obtained in the farms will be referred that way. Each farm has a different effluent management system: fixed gun system (farm 1), liquid and solid manure spreading machine (farm 2), and self-propelled gun system (farm 3). The effluent characterization was done in two different moments of the year. The differences in the effluents composition were explained by the SGET used in each farm. In farm 2, where effluent is reused for cleaning, the solids value were 1,3 %; meanwhile, in farm 1, with a similar wastewater treatment plant but without reusing the effluent for cleaning, the solids value was 0,2 %. In the other hand, in farm 3, the solids values obtained were similar to the farm 1. In each dairy cattle farm, two sections of land were defined: one received effluent, and the other one was managed as usual by the farmer. In farm 2, the study section received wastewater applications as well as extruded manure. To evaluate the soil chemical properties, three composed samples of each section were taken in the winter of 2017; the samples were from the 0 to 15 cm of the soil profile. The second sampling was done in 2018, using the same method, and including three more samples from the 0 to 5 cm of the soil profile. The parameters analyzed were organic carbon, organic matter, pH, electrical conductivity, exchangeable cations (Ca, Mg, K and Na), and available Phosphorus (Bray I). The results obtained, shown that the wastewater application did not have a notorious effect in the soil chemical properties, for the analyzed parameters, during the time considered in this work. However, in farm 1, the organic matter values registered were higher than those obtained in the other farms. The amount of available Phosphorus (Bray I) was high, in the range between 83 mg/Kg and 138 mg/Kg, for the superficial stratum, while, for the 0 to 15 cm stratum, the range measured was between 49 mg/Kg and 89 mg/Kg. When comparing the obtained results with data from 1976 for the same soil types, it appears, deteriorated. In farm 1 and 3, there was less resistance to penetration in the strip that received effluents, while in farm 2 the differences could not be attributed by their application. This study provides a baseline for future monitoring, since a longer period is needed to determine if the effluents have an effect on the physical and chemical properties of the soil. The objective of defining recommendation guidelines for the wastewater application and detecting problems in the operation was partially met, given that the information collected was insufficient. Regarding to cleaning time at the waiting corral and milking place, results were variable in the three farm. The amount of

wastewater applied to the soil was determined having into account that both, the fixed gun and the auto propelled gun, showed a Gaussian distribution pattern in the watered soil profile; the values obtained, ranged from 15,3 mm to 10,6 mm, respectively. The amount of wastewater applied by the manure spreading machine was 3,2 mm. Some management difficulties were detected, so this information may constitute a base line for further studies in this area.

Key words: Effluent; Dairy cattle farms; Soil chemical properties; Soil physical properties; Effluent management systems; Wastewater application in the soil.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aggelides, S. M.; Londra, P. A. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. (en línea). *BioresourceTechnology*. 71(3):253-259. Consultado ene. 2020. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852499000747>
2. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
3. Arocena, R.; Chalar, G.; Perdomo, C.; Fabián, D.; Pacheco, J.; González, M.; Olivero, V.; Silva, M.; García, P.; Etchebarne, V. 2012. Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua. (en línea). *In: Congreso de Medio Ambiente AUGM (7º., 2012, La Plata)*. Actas. Montevideo, Asociación de Universidades Grupo Montevideo. pp. 1-38. Consultado ene. 2020. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26712/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Beretta-Blanco, A.; Pérez, O.; Carrasco-Letelier, L. 2019. Soil quality decrease over 13 years of agricultural production. (en línea). *NutrientCycling in Agroecosystems*. 114(1):45-55. Consultado mar. 2020. Disponible en <https://www.researchgate.net>
5. Casanova, O.; Durán, A.; Mello, R.; del Pino, A. 2007. Reciclaje de los efluentes de tambo en un sistema de producción lechera sostenible. *In: Congreso Brasileiro de Agroecología (2º., 2004, Porto Alegre)*. Resumos. *Revista Brasileira de Agroecología*. 2(1):447- 450.
6. _____; del Pino, A. 2008. Estiércol en la producción lechera. *In: Colacce, C.; Torres, A.; Aguinaga, S.; Apa, M.; Panizza, J.; Malcuori, E.; Altieri, N.; Piedra-Cueva, I.; Agresta, G.; González, A.; Rezzano, N.; Indarte, E. eds. Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros*. Montevideo, s.e. pp. 181-189.
7. Consorcio Lechero, CL. 2015. Indicadores del sector lechero en Chile. (en línea). Osorno. 44 p. Consultado ene. 2020. Disponible en <http://www.consorciolechero.cl/industria-lactea/wp-content/uploads/2015/12/Indicadores-del-Sector-Lechero.pdf>

8. Correa, C.; Rezzano, N.; García, F. 2016. Manual para la gestión ambiental de tambos. Montevideo, LATU/MVOTMA. 84 p.
9. del Pino, A.; Repetto, C.; Mori, C.; Perdomo, C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. (en línea). Terra Latinoamericana. 26(1):43-52. Consultado ene. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000100006&script=sci_arttext&tlng=pt
10. _____.; Takata, V.; Casanova, O.; González, M. J.; Benzano, F. 2019. Caracterización de residuos agroindustriales como potenciales mejoradores de suelo. (en línea). In: Congreso Latinoamericano de Ciencias del Suelo (22°. , 2019, Montevideo). Trabajos presentados. s.n.t. s.p. Consultado ene. 2020. Disponible en <http://clacs.org/presentaciones/2-PresentacionesOrales/1067.pdf>
11. Díaz Rosselló, R.; Durán, H. 2011. Secuestro de carbono en suelos de sistemas agrícola-lecheros mixtos en Uruguay. (en línea). Agrociencia (Uruguay). 15 (2):109-119. Consultado ene. 2020. Disponible en http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482011000200013
12. Diez, M. 2010. Manejo de los efluentes originados en tambo: una experiencia en el Este de La Pampa. (en línea). Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI). 47:16-18. Consultado feb. 2020. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/0063668E9DA7A82C852579840057AFB3/\\$FILE/16.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/0063668E9DA7A82C852579840057AFB3/$FILE/16.pdf)
13. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 3, 358 p.
14. Environmental Best Practice Guidelines 6.0 Effluent Management. s.f. (en línea). Victoria, Dairy for Tomorrow. 89 p. (Dairy Coatch. Bulletin no. 4689). Consultado ene. 2020. Disponible en <https://www.dairyaustralia.com.au/>
15. Gambaudo, S.; Imhoff, S.; Carrizo, M.; Marzetti, M.; Racca, M. 2014. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. (en línea). Ciencia del Suelo. 32 (2):197-208. Consultado jun. 2019. Disponible en <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/31080>

16. García, K. 2017. Manejo de efluentes en instalaciones tamberas. (en línea). Forratec. Forratec los sábados no. 349. 4 p. Consultado nov. 2019. Disponible en <https://forratec.com.ar/newsletter/2017/fls-2017-09-16.html>
17. Goold, G. J. 1980. Rates of dairy shed effluent applied to pastures on clay soils in Northland. (en línea). New Zealand Journal of Experimental Agriculture. 8 (2):93-99. Consultado may. 2019. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03015521.1980.10426241>
18. Hawke, R. M.; Summers, S. A. 2006. Effects of land application of farm dairyeffluent on soil properties: a literature review. (en línea). New Zealand Journal of Agricultural Research. 49 (3):307-320. Consultado abr. 2019. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00288233.2006.9513721>
19. Hernández, A.; Verdier, L.; Portillo, I.; Benítez, A.; Emmer, V.; Benzano, F.; González, M. J. 2019. Evaluación operativa de equipos separadores de sólidos para efluentes de tambo. (en línea). In: Taller de Actualización en Gestión Ambiental y Manejo Agronómico de Efluentes de Tambos (2019, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, s.e. s.p. Consultado feb. 2020. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=SM_8hUdRdrs
20. Imhoff, S.; Carrizo, M. E.; Martel, R.; Lotto, V.; Zen, O. 2014. Efluentes líquidos de tambo: efectos de su aplicación sobre las propiedades físicas de un argiudol. (en línea). Ciencia del Suelo. 32 (2):177-187. Consultado may. 2019. Disponible en <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/19322>
21. La Manna, A. 1992. Manejo de residuos orgánicos en tambos. (en línea). Montevideo, INIA. 32 p. (Boletín de Divulgación no. 23). Consultado ene. 2019. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2720/1/111219240807154839.pdf>
22. Longhurst, R.; Roberts, A.; O'Connor, M. 2000. Farm dairy effluent: a review of published data on chemical and physical characteristics in New Zealand. (en línea). New Zealand Journal of Agricultural Research. 43(1):7-14. Consultado nov. 2019. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00288233.2000.9513403>

23. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1979a. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripciones, datos físicos, y químicos de los suelos dominantes. Montevideo. t. 3, apénd. I. 141 p.
24. _____. _____. 1979b. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripciones, datos físicos, y químicos de los suelos dominantes. Montevideo. t. 3, apénd. II. p. irr.
25. Medina, M. C. 2016. Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Remediaciones*.(en línea). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 8 (1):88-93. Consultado ago. 2019. Disponible en <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/download/229/270/>
26. MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). s.f. Descripción de grupos de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado abr. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/coneat>
27. _____. 2008. Manual para el manejo de efluentes de tambo. (en línea). Montevideo, Uruguay, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca/UdelaR. Facultad de Ingeniería. 121 p. Consultado ene. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/manual-para-manejo-efluentes-tambo>
28. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2019. Anuario agropecuario 2019. Montevideo. 256 p.
29. Molfino, J. H.; Califra, A. 2004. Evaluación del drenaje natural de las tierras del Uruguay: primera aproximación. Montevideo, MGAP. RENARE. 12 p.
30. Morón, A.; Molfino, J.; Ibáñez, V.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2009. Calidad del suelo en áreas de pasturas bajo producción lechera. (en línea). *In: Simposio Efectos de la Agricultura, la Lechería y la Ganadería en el Recurso Natural Suelo: Impactos y Propuestas (2009, La Estanzuela)*. Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 31-34 (Actividades de Difusión no. 587). Consultado mar. 2020. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/112761270809100748.pdf>

31. MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, UY). 2013. Plan de acción para la prevención de la calidad ambiental y la disponibilidad de las fuentes de agua potable. (en línea). Montevideo. 51 p. Consultado jun. 2019. Disponible en <http://www.mvotma.gub.uy/ambiente/prevencion-y-control-para-el-cuidado-del-ambiente/estado-del-ambiente/plan-santa-lucia/plan-de-accion/item/10010416-plan-de-accion-para-la-proteccion-del-agua-en-la-cuenca-del-santa-lucia>

32. Perdomo, C.; Barreto, P.; Piñeiro, V. 2015. Pérdidas de fósforo desde suelos agrícolas hacia aguas superficiales: resultados preliminares para Uruguay y posibles medidas de manejo para mitigar riesgos. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (4°, 2015, Paysandú). Buscando el camino para la intensificación sostenible para la agricultura. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 77-94.

33. Presidencia de la República Oriental del Uruguay, UY. 1979. Decreto 253/979: normas para prevenir la contaminación industrial mediante el control de las aguas. (en línea). Montevideo. 13 p. Consultado jun. 2019. Disponible en https://www.mvotma.gub.uy/decretos-ministerio/item/download/8527_4bfc36bc899d0485edddea20c49a10d.

34. Qian, P.; Schoenau, J. J. 2002. Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C: N ratios. *Canadian Journal of Soil Science*. 82(2):219-225.

35. Richmond, P. F. 2017. Aplicación de un efluente líquido de tambo sobre el suelo y la producción forrajera. (en línea). RTA. 10 (34):46-49. Consultado jun. 2019. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/aplicacion-de-un-efluente-liquido-de-tambo-sobre-el-suelo-y-la-produccion-forrajera>

36. Salazar, F.; Dumont, J. C.; Chadwick, D.; Saldaña, R.; Santana, M. 2007. Characterization of dairy slurry in southern Chile farms. (en línea). *Agricultura Técnica (Chile)*. 67(2):155-162. Consultado abr. 2020. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR34211.pdf>

37. Siebe, C.; Chapela-Lara, M.; Cayetano-Salazar, M.; Prado, B.; Siemens, J. s.f. Efectos de más de 100 años de riego con aguas residuales de la Ciudad de México en el valle del Mezquital (México). *In*: Hettiarachchi, H., Ardakanian, R. eds. *Uso seguro de aguas residuales en la agricultura: ejemplos de buenas prácticas*. Dresden, UNU-FLORES. pp. 127-145.

38. _____.; Fischer, W. R. 1996. Effect of long-term irrigation with untreated sewage effluents on soil properties and heavy metal adsorption of leptosols and vertisols in Central Mexico. (en línea). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 159 (4):357-364. Consultado mar. 2020. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.1996.3581590408>
39. _____. 1998. Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long-term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico. (en línea). *Soil Use and Management*. 14(2):119-122. Consultado mar. 2020. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00628.x>
40. Taboada, M. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. In: Simposio de Ganadería en Siembra Directa (4°, 2008, San Luis, Argentina). Trabajos presentados. San Luis, Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID). pp. 71-83.
41. Taverna, M. A.; García, K.; Adorni, M. B. 2014. Procedimiento de muestreo de efluentes líquidos y residuos sólidos orgánicos generados en el tambo. (en línea). Rafaela, INTA. 37 p. Consultado mar. 2019. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/procedimiento-de-muestreo-de-efluentes-liquidos-y-residuos-solidos-organicos-generados-en-el-tambo>
42. UdelaR. FA (Universidad de la República. Facultad de Agronomía, UY). 2012. Nutrición catiónica. Montevideo. 30 p.
43. USDA. NCRS (United States Department of Agriculture. National Resources Conservation Service, US). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. (en línea). Colorado. 88 p. Consultado set. 2019. Disponible en <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>
44. Yapur, M. C. 2011. Evaluación de un sistema de riego por aspersión de efluentes de tambo. Tesis Ing. en Producción Agropecuaria. Santa Fé, Argentina. Universidad Católica Argentina. 51 p.
45. Zaman, M.; Cameron, K. C.; Di, H. J.; Inubushi, K. 2002. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. (en línea). *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 63:275-290. Consultado jul. 2019. Disponible

[enhttps://www.researchgate.net/publication/327062045](https://www.researchgate.net/publication/327062045) Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua

46. Zhang, R. H.; Westerman, P. W. 1997. Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutrient management. *Applied Engineering in Agriculture*. 13(3):385-393.