

# **APOYO A LA COOPERACIÓN REGIONAL PARA LA GESTIÓN CLIMÁTICA DE LOS ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN AGUA Y SUELO**

## **TCP/RLA/3805 FAO**

**PRODUCTO 3 – INDICADORES MEDIDOS EN LOS PILOTOS Y  
EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA DE MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS**

**SEPTIEMBRE 2022**

## Índice

INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES .....	1
IDENTIFICACIÓN DEL SITIO PILOTO .....	2
CARACTERIZACIÓN DEL SITIO PILOTO .....	2
Datos del emprendimiento y responsable técnico .....	2
Ubicación.....	3
Área agroecológica, Bioma.....	5
Amenazas a los servicios ecosistémicos del suelo .....	12
Uso del suelo .....	13
Definición de las Unidades Homogéneas.....	15
Caracterización detallada de la Práctica de Manejo Sostenible de Suelos y Aguas (PMSSA) .	16
Detección de la Práctica de Manejo Sostenible según DVGSS.....	21
Análisis del Efluente .....	28
Análisis del Estiércol.....	29
Evaluación económica.....	30
Indicadores propuestos a medir .....	31
Metodología de muestreo y análisis .....	32
Validación del método de muestreo.....	34
RESULTADOS .....	35
Resultados de la validación del método de muestreo .....	35
RESULTADOS DE INDICADORES DEL PILOTO 1 .....	46
INDICADORES EN PLANTA .....	46
Productividad .....	46
Calidad vegetal .....	47
INDICADORES DE SUELO .....	49
Densidad aparente .....	49
Carbono orgánico.....	49

---

Tasa de respiración.....	51
Actividad biológica .....	51
Variables adicionales.....	52
Otras variables de suelo .....	56
RESULTADOS DEL PILOTO 2.....	56
INDICADORES EN PLANTA .....	56
Productividad .....	56
Calidad vegetal.....	57
INDICADORES DE SUELO .....	58
Densidad aparente .....	58
Carbono orgánico .....	59
Tasa de respiración.....	60
Actividad Biológica .....	60
Variables adicionales.....	61
Otras variables de suelo .....	65
RESUMEN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	66
PILOTO 1.....	67
PILOTO 2.....	68
PILOTO 2.....	70
REFERENCIAS.....	71
ANEXO 1 – OTRAS VARIABLES EN SUELO .....	72

## INTRODUCCIÓN

El presente informe es el resultado de la ejecución de tercer producto del proyecto TCP/RLA/3805 – “Apoyo a la cooperación regional para la gestión climática de los ecosistemas agrícolas con énfasis en agua y suelo”, para la Validación del Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible (FAO-ITPS, 2020), en adelante el Protocolo.

Una vez realizado el primer escaneo del sitio seleccionado, con la caracterización del predio y la descripción de la práctica de manejo sostenible de suelos (PMSS) presentados en el Producto 1 se procede a la determinación de los indicadores a campo realizando el muestreo de suelos y planta de acuerdo con la metodología indicada en dicho Protocolo. De modo de poder entender e interpretar en contexto los indicadores relevados se incorpora a este informe la información generada en el Producto 1 con la caracterización del predio y la práctica de manejo sostenible.

Para realizar la evaluación de los resultados se utilizarán rangos de valores esperados de los indicadores, valores de referencia disponibles a nivel nacional para un contexto específico o valores de manejo de referencia con cierto estado de cumplimiento de la práctica de manejo sostenible.

## ANTECEDENTES

El predio donde hoy se encuentra la Facultad de veterinaria tiene históricamente una actividad agropecuaria basada en la ganadería extensiva. La actividad lechera en este predio se remonta tan solo a 25 años atrás cuando la Facultad de Veterinaria comienza con las actividades de enseñanza como campo experimental.

En los últimos 10 años Uruguay viene implementando una política de producción sostenible en la cuenca del río Santa Lucía, que en el sector lechero, implica entre otras cosas, la gestión de los efluentes líquidos y estiércol generados en las instalaciones del tambo promoviendo la economía circular. Con este principio se fomenta como práctica sostenible implementar un sistema de gestión de efluentes que aproveche como recurso agronómico el carbono (materia orgánica) y macronutrientes existentes en el efluente, disponiéndolo en el campo de manera controlada.

Siguiendo esta directriz, a partir del mes de junio de 2019 el tambo de la Facultad de veterinaria comienza un proceso de adaptación de su infraestructura y prácticas productivas para establecer un sistema de gestión de efluentes con circularidad de nutrientes monitoreando sus implicancias en suelo y planta. El financiamiento de este proceso se enmarca en un convenio firmado entre la Facultad de Veterinaria y el Proyecto GEF 4890 / ONUDI 120323 (en adelante “Proyecto Circularidad de Nutrientes”) para reutilizar los nutrientes presentes en el efluente. Otras 4 instituciones educativas firmaron el convenio mencionado, también con el mismo objetivo de adecuar su gestión de efluentes hacia un modelo circular y monitorear los parámetros implicados con un horizonte de financiamiento hasta el año 2021.

## IDENTIFICACIÓN DEL SITIO PILOTO

El sitio seleccionado para cumplir con el objetivo es el sistema de Producción Lechera ubicado en el Campo Experimental Nº2 de la Facultad de Veterinaria, institución pública destinada a la enseñanza, extensión e investigación, la cual forma parte de la Universidad de la República Oriental del Uruguay.

El campo se encuentra localizado en la Ruta 1, km 42,5 próximo a la ciudad de Libertad, en el departamento de San José.

## CARACTERIZACIÓN DEL SITIO PILOTO

### Datos del emprendimiento y responsable técnico

El emprendimiento seleccionado tiene como razón social: *Facultad de Veterinaria* y conforma su naturaleza jurídica como un Organismo Oficial.

La facultad de veterinaria tiene como cometido la enseñanza universitaria a nivel terciario de la medicina veterinaria. La docencia en este campo experimental se desarrolla en diferentes modalidades: con cursos, pasantías, internados, jornadas teóricas y prácticas. Con las actividades de docencia se gestiona la infraestructura y los recursos humanos para el alojamiento de los estudiantes, la alimentación y el trabajo con los animales.

Al mismo tiempo se desarrollan distintos proyectos de investigación que profundizan en el área del conocimiento específico de la medicina veterinaria para responder las preguntas actuales del ámbito productivo.

Dentro del campo se cuenta con todas las instalaciones aptas para una institución de esta naturaleza tales como edificio principal con oficinas técnicas y de administración, laboratorio y casa habitación del personal, galpones de uso general y uso para el tambo, galpón de experimentación animal, casa habitación de estudiantes, centro de capacitación, etc.

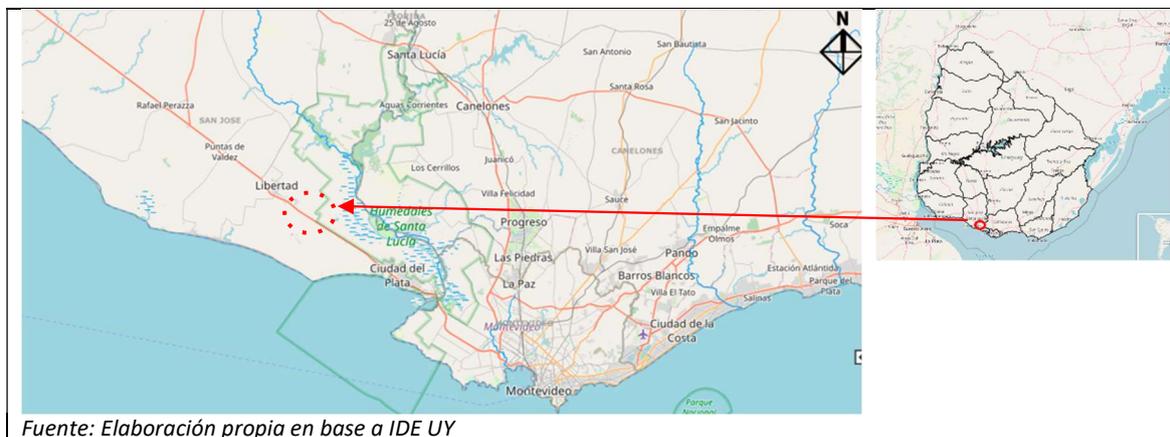
Por su parte, la Fundación Marco Podestá es una asociación civil con personería jurídica sin propósito de lucro. Dentro de sus cometidos se encuentra estimular la creación, aplicación y difusión del conocimiento en todas las disciplinas que desarrolle la Facultad de Veterinaria organizando y financiando programas y proyectos de investigación y extensión.

En este proyecto de evaluación del Protocolo de Manejo Sostenible de Suelos y Aguas la responsabilidad técnica corresponde a la Dirección del campo experimental bajo la Dra. Elena de Torres.

## Ubicación

En las figuras a continuación se presentan la localización general del sitio.

*Figura 1 Localización general en Uruguay y zona suroeste uruguaya*



Fuente: Elaboración propia en base a IDE UY

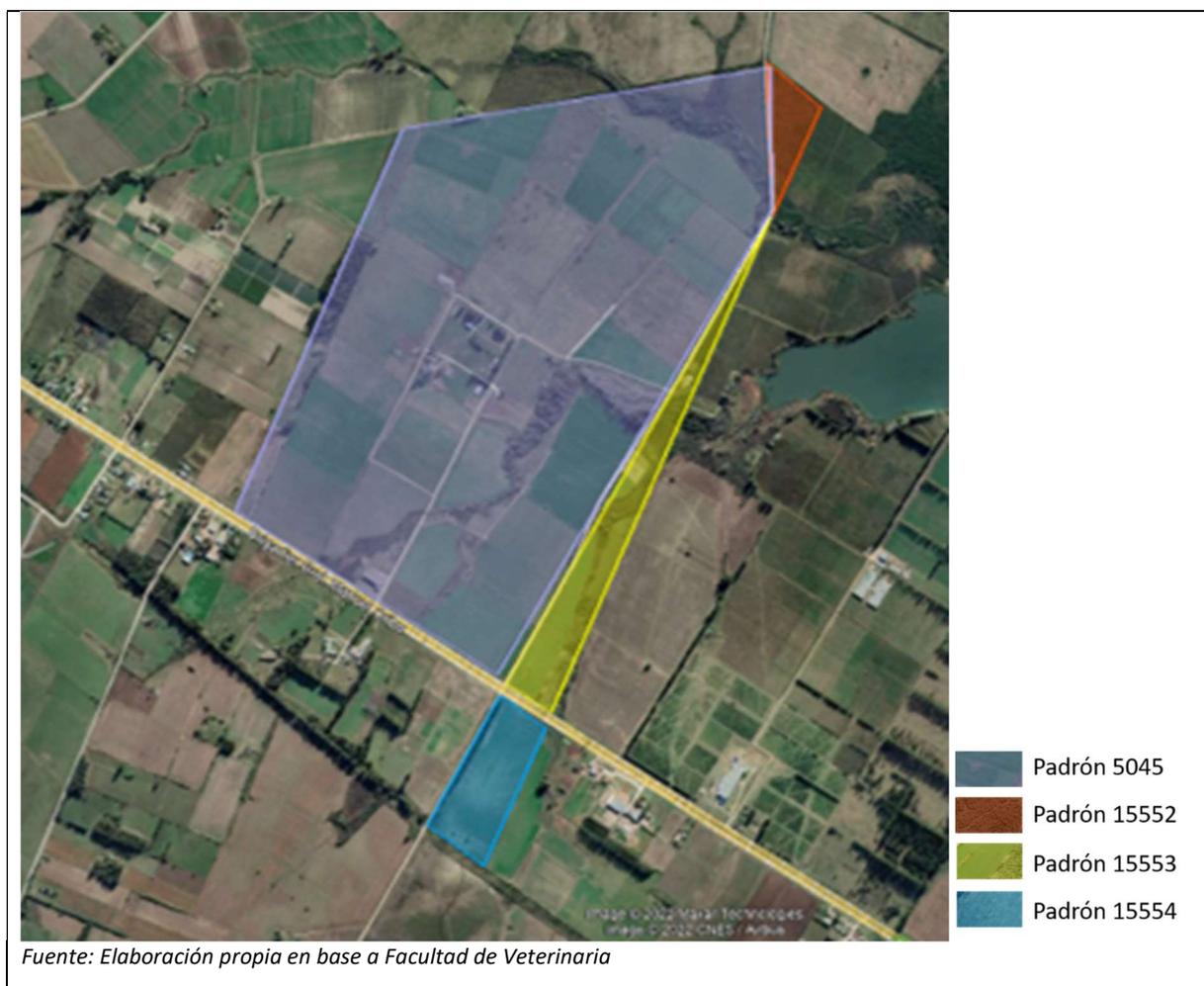
El campo experimental tiene una superficie total de 324 hectáreas, distribuidas en cuatro padrones, tal como se detalla en la tabla a continuación y se muestra en la siguiente figura:

*Tabla 1 Padrones del Campo experimental con su superficie*

Padrón	Superficie (ha)
5045	282
11552	6
15553	21
15554	15
<b>Total</b>	<b>324</b>

Fuente: Facultad de Veterinaria

Figura 2 Localización específica de los padrones ocupados por el campo experimental N°2 de la Facultad de Veterinaria



La siguiente tabla presenta las coordenadas geográficas y cartográficas del baricentro del establecimiento donde se encuentra el área en estudio. Las coordenadas se presentan según las cartas L28 y K28 del Instituto Geográfico Militar, institución oficial encargado de elaborar y mantener el Sistema de Información Geográfico y material cartográfico de la República Oriental del Uruguay y según las coordenadas UTM Zona 21.

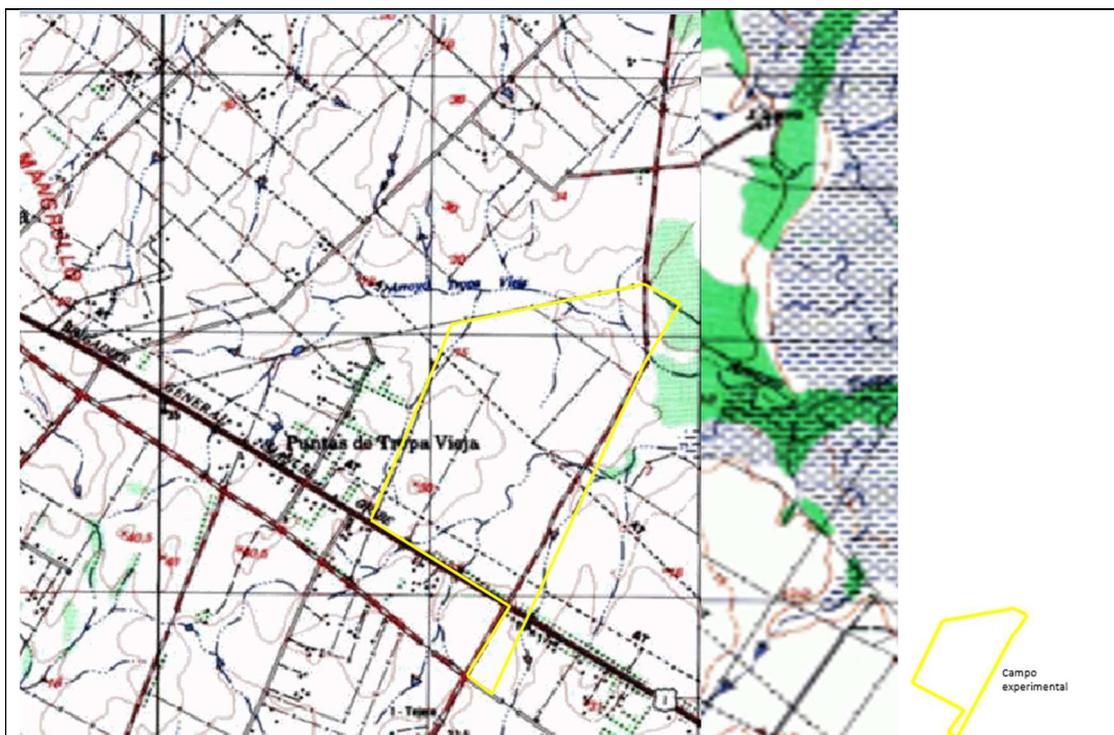
Tabla 2 Coordenadas geográficas y cartográficas del padrón 5045

	Coordenada X	Coordenada Y
IGM*	62° 80'	38° 60'
UTM Zona 21H	542197.00 m E	6162651.00 m S

\*Coordenadas según cartografía del Instituto Geográfico Militar

En la figura a continuación se aprecia la ocupación de los padrones en las mismas cartas.

Figura 3 Superficie que ocupa el campo experimental mostrada en las cartas del Servicio Geográfico Militar



Fuente: Elaboración propia

## Área agroecológica, Bioma

Los suelos del sitio son desarrollados bajo praderas del bioma Pampa presentes en parte de Argentina, sur de Brasil y en la totalidad de Uruguay. La vegetación predominante es herbácea autóctona, denominada vegetación campestre, y bosques con una proporción menor (Proyecto MAPBIOMAS Pampa Sudamericano).

De acuerdo con la definición (FAO, 1997) una zona agroecológica es una unidad cartográfica de recursos de tierras, definida en términos de clima, fisiografía y suelos, y/o cubierta de tierra y que tiene un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras.

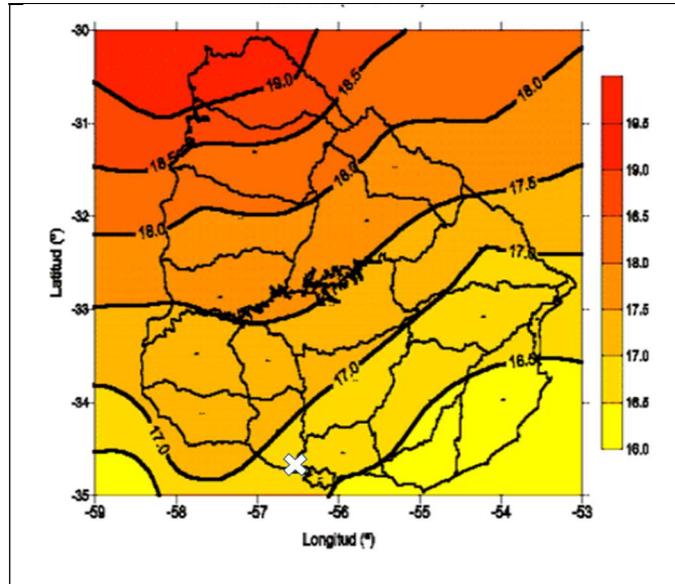
A continuación, se definen los principales componentes que conforman la definición de zona agroecológica, del sitio donde se encuentra el establecimiento lechero.

### Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen a Uruguay le corresponde la clasificación "Caf" ya que el clima es templado moderado lluvioso (tipo "C"), con la temperatura del mes más cálido superior a 22°C (tipo "a") y temperie húmeda (tipo "f") (INUMET, 2022).

Las temperaturas medias anuales en el territorio nacional varían desde los 16 °C a los 19 °C. Como se observa en la siguiente figura en el campo experimental se cuenta con una temperatura media anual de 16,7°C.

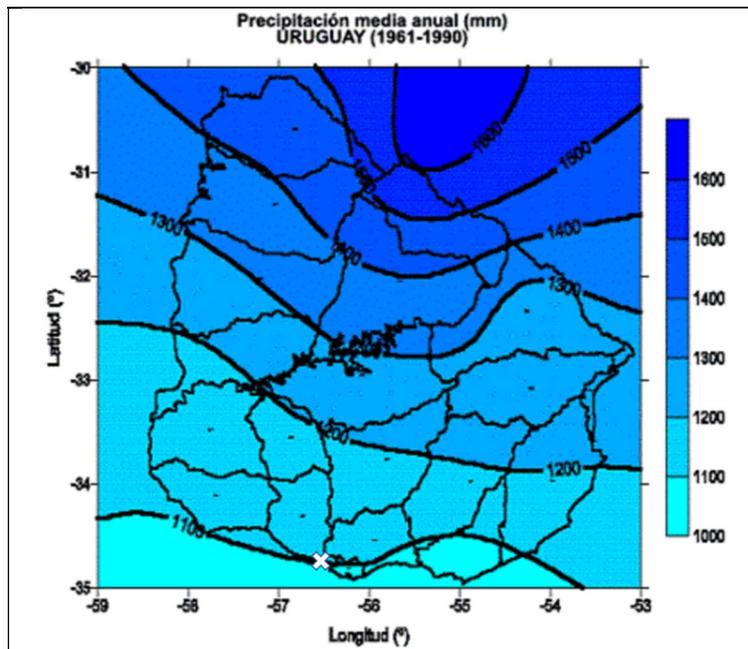
Figura 4 Localización del campo experimental en el mapa de la Temperatura media anual de Uruguay 1961-1990



Fuente: INUMET 2022

La precipitación acumulada media anual al sur de Uruguay se encuentra entorno a los 1100 mm tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 5 Localización del campo experimental en el mapa de Precipitación media anual (mm) 1961-1990



Fuente: INUMET 2022

## Geología

Según el visualizador geológico minero de la DINAMIGE (Dirección Nacional de Minería y Geología) el campo experimental se encuentra localizado sobre tres formaciones geológicas aflorantes: Formación Raigón, Formación Libertad y Formación Dolores. Las chacras en estudio se localizan sobre las Formaciones Raigón y Libertad.

La Formación Raigón se caracteriza por areniscas finas a conglomeradas, de color blanco amarillento que presenta intercalaciones de arcillas verdosas. La Formación Libertad se describe como Lodolitas, loes y fangolitas con porcentaje variable de arcillas, de color pardo a pardo rojizo.

*Figura 6 Formaciones geológicas aflorantes en el Campo experimental n° 2.*



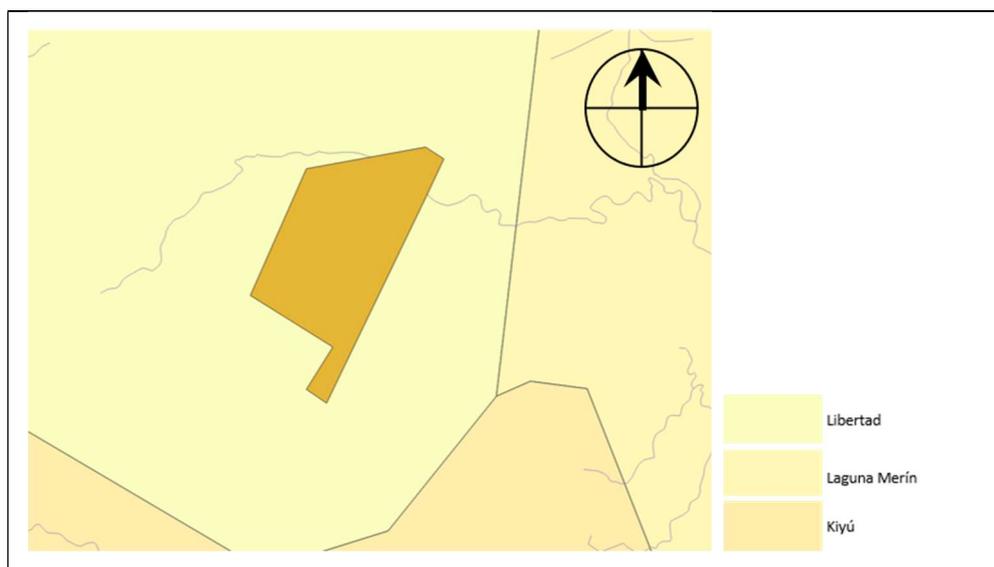
*Fuente: Elaboración propia*

## Topografía y Suelos

El Uruguay se caracteriza por tener una topografía baja, plana y ondulada, en particular el campo experimental tiene una altura promedio de 18 m sobre el nivel del mar. Las pendientes promedio de transectas de las chacras estudiadas varían entre 0,5 % y 2,5 %.

La característica de mayor importancia en la delimitación de la zona agroecológica para Uruguay la conforman los suelos. De acuerdo con la Carta de Suelos del Uruguay escala 1.000.000, el sitio se encuentra sobre la Unidad de suelos Libertad correspondiente con Brunosoles Eutrícos/Subéutrícos Típicos/Lúvicos, tal como muestra la siguiente figura.

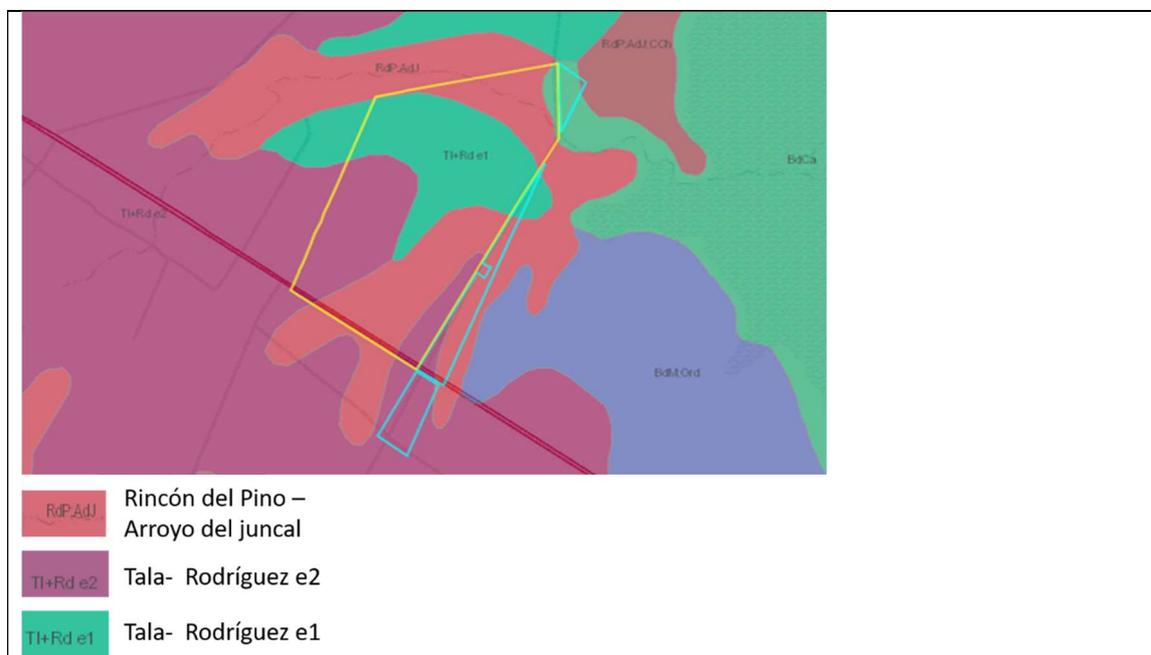
Figura 7 Localización del sitio en la Carta de suelos 1.000.000



Fuente: Elaboración propia

Para conocer en más detalle los suelos presentes en el sitio se puede consultar la Carta de suelos escala 1:40.000 desarrollada en particular para la cuenca del río Santa Lucía por la DGRN – Dirección General de Recursos Naturales, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 8 Carta de Suelos 1:40.000 para el Campo Experimental n°2



Fuente: Elaboración propia

En la carta de suelos 1:40.000 se presenta la Unidad de Mapeo Tala – Rodríguez (TI-Rd) con grado de erosión ligero (e1) y grado de erosión moderado (e2) y la Unidad de Mapeo Complejo Indiferenciado Rincón del Pino-Arroyo del Juncal (RdP-AdJ). Estas Unidades de Mapeo están

compuestas por las Series que llevan sus nombre e inclusiones, que se describan a continuación. (Carta 1:40.000 DGRN MGAP).

La Serie Tala se clasifica como: suelos profundos, oscuros, pesados, de fertilidad natural muy alta, ubicados en interfluvios y laderas de lomadas fuertes suavemente convexas, desarrollados a partir de sedimentos cuaternarios. El alto contenido de arcillas expansivas genera caracteres vérticos: doble perfil, microrelieve gilgai (observable en suelos no cultivados) y grietas cuando el suelo está seco que pueden llegar hasta la superficie. El uso principal es agrícola con capacidad de uso IIe.

La secuencia típica de horizontes de esta serie es:

- En la fase profunda: A- AB – Btss – (BC/Bck) – Ck
- En la fase superficial; A - (ACK) – Ck.

La Serie Rodriguez (Rd) se caracteriza por ser suelos profundos de fertilidad natural muy alta de colores oscuros diferenciación textural media, ubicados en relieve de lomadas, en interfluvios y laderas suavemente convexas, desarrollados sobre sedimentos cuaternarios potentes. El uso principal es agrícola con capacidad de uso IIe-IIIe

La secuencia típica de horizontes de la serie Rodriguez es: Ap- Bt – (BC/Bck) – Ck

Las parcelas testigo y aplicación, del Piloto 1, se caracterizan por suelos de la Unidad de Mapeo Tala-Rodriguez con composición textural aproximada de Arena 15-21%, Limo 36-46%, Arcilla 34-41%.

La serie Rincón del Pino se caracteriza por ser de suelos profundos, de colores pardo oscuros de fertilidad natural media, bien diferenciados y algo pobremente drenados. La secuencia típica de horizontes es A(p) – E – Bt – BC(k) – Ck. El uso predominante es Agrícola-Pastoril y su Capacidad de uso IIIh.

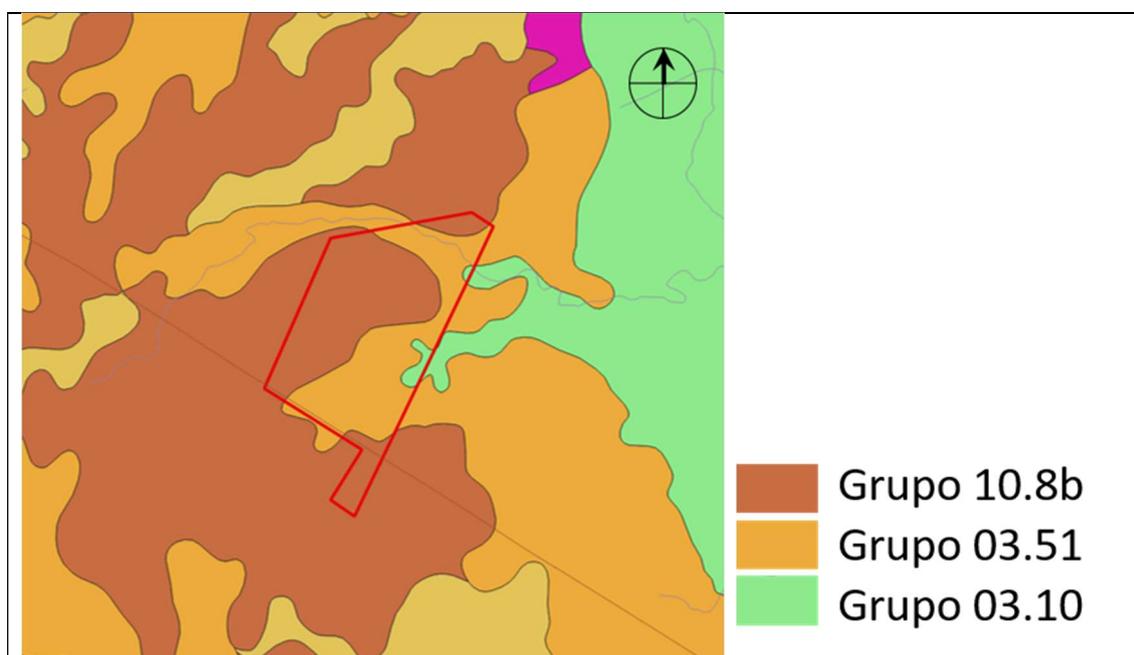
Los suelos de la Serie Arroyo del Juncal son profundos, negros a gris muy oscuros, bien diferenciados de texturas finas, de fertilidad natural alta, algo pobremente drenados. Su capacidad de uso es IVh y el uso actual principal es Pastoril-Agrícola

Las parcelas testigo y aplicación del Piloto 2, se caracterizan por suelos con composición textural aproximada de arena 10-15%, limo 50-55% y arcilla 32-40%.

Otra clasificación de relevancia desde el punto de vista productivo es la cartografía de Grupos CONEAT que no representan unidades de suelo, pero constituyen áreas homogéneas por su capacidad productiva en términos de carne bovina, ovina y lana en pie. Esta capacidad productiva se expresa por un índice relativo a la capacidad media del país, la que corresponde con el índice 100.

El campo experimental se encuentra básicamente con dos Grupos CONEAT preponderantes como se puede observar en la próxima figura, ya que el Grupo 03.10 corresponde con un área menor, de 1% del total, de bañado con material de sedimentos limo arcillosos y turbas. (Descripción de Grupo de Suelos CONEAT). El Grupo 03.10 pertenece a planicies bajas inundadas permanentemente por cursos agua con índice de productividad 9, zona de drenaje del Campo experimental.

Figura 9 Carta CONEAT en la zona en estudio



Fuente: Elaboración propia

El Grupo 10.8b que ocupa un 56% del área del padrón 5045, corresponde con tierras onduladas suaves, con material de sedimentos limo arcillosos, normalmente con concreciones de carbonato de calcio, típicos de los alrededores de centros poblados del departamento de San José. El relieve es con predominio de pendientes de 1 a 4% y el índice de productividad es 184.

El grupo 03.51 corresponde con planicies altas con pendientes menores a 1%. El material geológico es sedimentos limo arcillosos de color pardo y su índice de productividad es 175.

### Hidrología

De acuerdo con la topografía el sitio el escurrimiento superficial de las aguas ocurre desde el suroeste, en cotas cercanas a 30 m, hacia el este y noreste, con cotas de 10 m, desembocando en el Arroyo Tropa Vieja. Dicho arroyo es afluente del río Santa Lucía en su parte baja.

De acuerdo con la codificación de cuencas existente en Uruguay la cuenca del río Santa Lucía corresponde a una cuenca de nivel 1 (cuenca principal) y ella se subdivide en ocho subcuencas menores de nivel 2, y así sucesivamente hasta cuencas nivel 5. El Campo Experimental se encuentra localizado en las cuencas que se indican en la tabla a continuación y se muestran en la siguiente figura.

Tabla 3 Subcuencas del río Santa Lucía, en las que se encuentra el campo experimental nº2

Cuenca	Nombre	Código de cuenca
Nivel 1	Río Santa Lucía	6
Nivel 2	Río Santa Lucía entre Río San José y Ao. Colorado	66

Nivel 3	Río Santa Lucía entre Ao. Tropa Vieja y Ao. De Las Brujas Grande	662
Nivel 4	Ao. Tropa Vieja	6620

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 10 Cuenca del río Santa Lucía en sus cuatro niveles, con indicación del campo experimental n°2



Fuente: *Elaboración propia. Imágenes superiores Cuencas nivel 1 y 2, imágenes inferiores Cuencas nivel 3 y nivel 4, de izquierda a derecha.*

El tramo final del Arroyo Tropa Vieja ingresa en la zona de los Humedales del Santa Lucía, de gran valor como ecosistema por su biodiversidad y que ingresó en el año 2019 al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). Dicha zona conforma un sistema de bañado longitudinal con islas fluviales, constituyendo uno de los humedales salobres más extensos del país.

Este humedal es favorable como hábitat de aves residentes y migratorias, así como de peces, moluscos y crustáceos apreciados por su valor comercial. En la siguiente figura se puede observar como el Campo Experimental ocupa el área protegida en su límite inferior.

Figura 11 Humedales del Santa Lucía aguas abajo del Campo Experimental



Fuente: Observatorio Ambiental Nacional. Geoportal

A su vez esta zona es una de las 22 áreas identificadas en Uruguay por el programa IBAs – Áreas de Importancia para las Aves, con el código UY012: Playa Penino y Humedales del Santa Lucía por su prioridad de conservación.

En suma, el Campo experimental se encuentra en una región agroecológica de suelos de praderas del sur de Uruguay, de fertilidad media a alta, dentro de la principal cuenca lechera con uso Pastoril/Agrícola. El paisaje se presenta con ambientes cultivados, altamente modificados con corredores naturales.

### Amenazas a los servicios ecosistémicos del suelo

En el sitio en estudio se pueden listar los siguientes servicios ecosistémicos que provee el suelo:

- Abastecimiento de alimento para consumo humano y animal (leche)
- Abastecimiento de servicios para el crecimiento de cultivos para ganado
- Servicio de mantenimiento o apoyo: servicios para la conservación de la biodiversidad
- Servicio de regulación de la calidad del agua, para consumo humano y la vida de los ecosistemas

El río Santa Lucía recibe desde la naciente a la desembocadura descargas directas e indirectas por las actividades antrópicas lo que trajo como consecuencia que las concentraciones de fósforo en el río se encuentren por encima del estándar nacional y las concentraciones de nitrógeno aumenten de la naciente a la desembocadura, causando estados de eutrofización en el río (Plan de Acción para la Protección del Agua en la Cuenca del río Santa Lucía, 2013).

En particular, la actividad agropecuaria con el uso de la fertilización química aporta carga de fósforo y la actividad lechera con el contenido de fósforo y nitrógeno de los efluentes del tambo.

Al mismo tiempo la cuenca donde se encuentra el sitio piloto seleccionado es la que abastece de agua bruta que será potabilizada para consumo de los habitantes de Montevideo y zona metropolitana.

Por lo dicho anteriormente y a pesar de que el Campo experimental se encuentra aguas abajo del punto de toma de agua bruta la práctica ganadería para lechería podría amenazar los servicios ecosistémicos de regulación de la calidad del agua y conservación de la biodiversidad. Los cuidados en la preservación de la calidad del agua deben extremarse para mantener la sostenibilidad del recurso hídrico y riqueza natural de los Humedales del Santa Lucía.

En la siguiente figura se puede visualizar la cuenca del río Santa Lucía y la localización del sitio en estudio y la toma de agua bruta para potabilización de agua para la región metropolitana.

*Figura 12 Cuenca del río Santa Lucía y punto de localización del sitio piloto marcado con estrella y toma de agua bruta marcado con triángulo*



Fuente: Elaboración propia

## Uso del suelo

En particular en el Campo experimental N°2 se encuentran las instalaciones destinadas al establecimiento lechero, en donde 188 ha son destinadas al pastoreo para el sistema de producción lechera.

El uso del suelo en el tambo está principalmente conformado por praderas artificiales (un 35% aproximadamente), cultivos forrajeros anuales (20%) y campo natural y campo mejorado. En la siguiente tabla se presenta la superficie de los distintos usos.

Tabla 4 Usos de la tierra en el Tambo

Uso de la tierra	Superficie (ha)
Praderas artificiales permanentes	116
Cultivos forrajeros anuales	60
Campo mejorado	55
Campo natural y rastrojos	49
Tierras de labranza	40
Montes artificiales (forestación)	4
	<b>324</b>

Fuente: Facultad de Veterinaria

Las existencias bovinas lecheras al 30 de junio 2021 se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5 Categorías de bovinos de leche

Categoría	Cantidad
Toros	1
Vacas en ordeño	144
Vacas secas	45
Vaquillonas de más de 2 años sin entorar	34
Vaquillonas de 1 o 2 años	30
Terneras de menos de 1 año	24
<b>TOTAL</b>	<b>326</b>

Fuente: Facultad de Veterinaria

De acuerdo con las características del tipo de uso de suelo, el sistema de cultivo, la topografía y las prácticas de manejo se pueden identificar dos parejas de chacras bajo evaluación, conformando de esta manera dos pilotos tal como se presenta en la figura a continuación y sus coordenadas en la tabla siguiente.

Figura 13 Zonas de estudio para la Evaluación de la PMSS



Fuente: Google Earth y Proyecto Biovalor

Tabla 6 Coordenadas de localización de los dos sitios Piloto

<b>Sistema de coordenadas UTM 21, Zona 21 H</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>
Piloto 1	541807 E	6162394 S
Piloto 2	542383 E	6161627 S

Fuente: Elaboración propia.

### Definición de las Unidades Homogéneas

Cada uno de los pilotos se ve caracterizado por una zona homogénea que se presenta en las tablas siguientes.

Tabla 7 Descripción y localización de la Unidad Homogénea 1 para Validación del Manejo Sostenible de Suelo

<b>Nombre del Agricultor</b>	<b>Facultad de Veterinaria</b>
Localización del área de estudio	(541807 E, 6162394 S) UTM Zona 21 H
País	Uruguay
Departamento	San José
Número de sitio	1
Área total de la zona de estudio (ha)	9,4
Número de unidades a ser evaluadas	2
Identificación de unidades homogéneas	1
Área de unidad homogénea	9,4

Tipos de Uso de la Tierra	Tierras de uso pastoril
Sistema de cultivo	Un solo cultivo
Topografía	Planicies y valles con pendientes medias a bajas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Descripción y localización de la Unidad Homogénea 2 para Validación del Manejo Sostenible de Suelo

Nombre del Agricultor	Facultad de Veterinaria
Localización del área de estudio	(542383 E, 61616275 S) UTM Zona 21 H
País	Uruguay
Departamento	San José
Número de sitio	2
Área total de la zona de estudio (ha)	8,6
Número de unidades a ser evaluadas	2
Identificación de unidades homogéneas	2
Área de unidad homogénea	8,6
Tipos de Uso de la Tierra	Tierras de uso pastoril
Sistema de cultivo	Un solo cultivo
Topografía	Planicies y valles con pendientes medias a bajas

Fuente: Elaboración propia

### Caracterización detallada de la Práctica de Manejo Sostenible de Suelos y Aguas (PMSSA)

El tambo remite el volumen más importante de su producción de leche a la industria uruguaya, destinando un volumen menor al consumo humano y animal propio del establecimiento. La producción promedio anual es de 20 L/vaca en ordeño.

Figura 14 Sala de ordeño



Fuente: Facultad de Veterinaria

El establecimiento cuenta con una sala de ordeño de 12 órganos (línea baja) tal como se muestra en la figura, comederos automáticos, corral de espera con sombra y sala de leche con tanque de enfriado, así como con tubos con cepo convencional y de maniobras de rutina.

La aplicación de la lógica de economía circular de nutrientes requiere equipos, rutas de conducción y prácticas que permitan gestionar los efluentes líquidos y sólidos en un Sistema de Gestión de Efluentes (SGE).

La gestión de los efluentes en el establecimiento tambero está concebida con la concepción de que los efluentes y residuos sólidos provenientes de las excretas animales contienen una carga de materia orgánica y nutrientes que puede ser reaprovechada en el propio establecimiento.

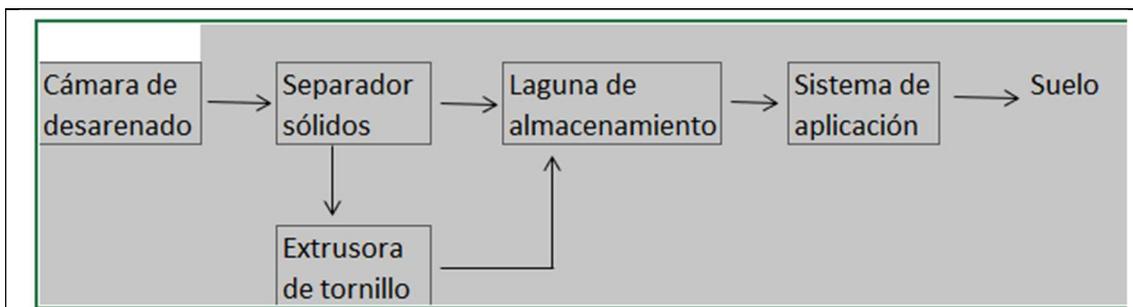
Adicionalmente a la reducción de los impactos ambientales por la gestión de los efluentes se considera un beneficio económico la reducción del uso de sustancias químicas como fertilizante. En este sentido no se fertiliza con fertilizantes químicos en las parcelas de aplicación de la práctica.

El sistema recolecta los efluentes que se generan en el corral de espera y sala de ordeño y la limpieza se realiza con agua presurizada. El patio de alimentación, hormigonado, cuenta con lavado por inundación que también conduce el efluente generado al sistema de gestión.

Los principales componentes del SGE son: un desarenador, un sistema de separación de sólidos tipo extrusora de pantalla, una pileta de almacenamiento impermeabilizada con membrana, pozo de bombeo con revolvedor mecánico que conduce el sólido al sistema de deshidratado y un cañón móvil autopropulsado para distribuir el efluente a campo.

En la figura a continuación se presenta la línea de flujo del efluente líquido y sólido y en las figuras siguientes se observan las fotografías que muestran dichos componentes.

Figura 15 Línea de flujo de los efluentes líquidos y sólidos generados en el tambo



Fuente: Elaboración propia en base a Proyecto Biovalor

Figura 16 Principales componentes del sistema de gestión de efluentes



Fuente: Facultad de Veterinaria y Biovalor.

a) y b) Vista general del tambo, al fondo sala de ordeño y corral de espera circular

c) Pozo de bombeo hacia separador de sólidos, con bomba estercolera

d) Bunker de almacenamiento de estiércol y extrusora

Figura 17 Almacenamiento y distribución del efluente



Fuente: Facultad de Veterinaria y Biovalor.

a) Pileta de almacenamiento en la etapa de construcción, actualmente en operación

b) Irrigador de distribución del efluente a campo

Las áreas objeto de estudio donde se está aplicando la Práctica de manejo sostenible de suelo (PMSS) son la superficie de aplicación del efluente líquido y la superficie de aplicación del estiércol generado en el tambo.

Para cada tipo de aplicación existe una zona testigo, con el mismo manejo del cultivo y con fertilización química. En las parcelas con aplicación no se usa fertilización química, sino que se realiza la aplicación del efluente y la del sólido que permite la circularidad de los nutrientes. Se busca de este modo comparar la práctica habitual de un tambo comercial con uno con circularidad de nutrientes.

En el piloto 1 se aplica el efluente generado en el tambo y como cultivo extractivo se propone el manejo de una festuca. En el piloto 2 se planta un maíz (*Zea mays*) en las dos parcelas evaluadas (testigo y con tratamiento).

El método de siembra de las parcelas con festuca es laboreo reducido con excéntrica de laboreo secundario y en la siembra del maíz se realiza laboreo reducido con excéntrica de laboreo primario.

Los indicadores obtenidos de las zonas testigo fueron comparados con los indicadores en las zonas de aplicación.

En la tabla de la hoja siguiente se resume lo indicado anteriormente para cada uno de los pilotos, es decir para cada unidad homogénea.

Tabla 9 Descripción de la PMSS para cada unidad homogénea

Unidad Homogénea	Sistema de Uso de la Tierra <sup>2</sup>	PMSSA <sup>3</sup>	Fecha de implementación	Propósitos de la PMSSA <sup>4</sup>	Descripción de la PMSSA
1	Pasturas	Adición de efluentes generados en el tambo, a las pasturas	Junio 2019	Circularidad en el ciclo productivo de materia orgánica y nutrientes	Luego de realizar la separación de sólidos (estiércol), el efluente líquido es distribuido con criterios agronómicos en las pasturas, con base al balance de nitrógeno y fósforo
2	Cultivo	Adición del estiércol generado en el tambo, al cultivo de maíz	Junio 2019	Circularidad en el ciclo productivo de materia orgánica y nutrientes	Luego de realizar la separación del estiércol del efluente, el mismo es distribuido con criterios agronómicos en el suelo que se cultivará maíz con base al balance de nitrógeno y fósforo

Fuente: Elaboración propia en base a Manual Técnico del Protocolo de MSS

## Detección de la Práctica de Manejo Sostenible según DVGSS

En este capítulo se evalúa el cumplimiento de las Directrices Voluntarias de Gestión Sostenible de Suelos (DVGSS).

Para ello se respondió la encuesta que tipifica el sistema de uso de la tierra y la práctica de manejo seleccionado completando el documento denominado *Escaneo de PMSS del Manual Técnico Protocolo v2.xlsx* resultando las tablas a continuación.

Tabla 10 Encuesta de caracterización de la PMSS – testigo de la aplicación de efluente y testigo de la aplicación del estiércol

Grupo	Pregunta	S/N	Puntos
Suelos y características de campo	1. Hay una reducción importante en el rendimiento o constante desde hace más de 2 años.	N	0
	2. Hay parcelas con suelo desnudo donde la vegetación no crece en más del 5% del área.	N	0
	3. Las características del campo pueden conducir a la pérdida de nutrientes y materia orgánica por lixiviación o escorrentía si hay exceso de riego o lluvia.	S	1
	4. Presencia de signos claros de erosión del suelo (surcos, cárcavas, etc.)	N	0
	5. Las plantas / cultivos tienen síntomas de deficiencia de nutrientes o toxicidad (por ejemplo, hojas de color verde más oscuro y pigmentos de púrpura a rojo pueden indicar una deficiencia de fósforo).	N	0
	6. Presencia limitada de organismos del suelo (lombrices de tierra y otros invertebrados)	N	0
	7. Poca capacidad de infiltración de agua, la estructura del suelo está visiblemente compactada. Es difícil insertar una pala o un objeto afilado.	N	0
	8. Clima árido o semiárido (<500 mm / año) y escasos recursos hídricos para riego	N	0
	9. Hay costras de sal blanca (sabor salado) en la superficie, cuando el suelo está seco. Hay manchas oscuras y grasosas en la superficie del suelo.	N	0
	10. El suelo presenta algunas manchas de diferente color y de él emergen olores desagradables o químicos. O: Presencia de animales o insectos muertos en áreas vecinas.	N	0
	11. Crecimiento invasivo de plantas acuáticas, agua de color verde o malos olores en los cuerpos de agua vecinos.	N	0
Labranza	12. Más de 1 labranza por año	N	0
	13. Labranza de más de 15 cm de profundidad	N	0

Fertilización	14. Abonos nitrogenados sintéticos utilizados siguiendo el principio “cuanto más, mejor” o abonos nitrogenados amónicos o azufrados al menos durante los 5 últimos años.	N	0
	15. Fertilización química u orgánica: menos de 30 Kg/Ha/A	N	0
	16. Fertilización química: más de 180 Kg/Ha/a o más de 30 Kg/Ha/a pero aplicada una vez por temporada (no en varios momentos durante el desarrollo del cultivo)	S	0,5
	17. Uso de estiércol de animales que generalmente reciben medicamentos veterinarios para tratar o prevenir enfermedades y/o alimentados con piensos ricos en oligoelementos	N	0
	18. Utilización de lodos de depuradora como enmienda orgánica	N	0
Control de Plagas	19. Número de tratamientos totales por año: 4 - 12	S	0,25
	20. Número de tratamientos totales por año:> 12	N	0
	21. Uso frecuente u ocasional de plaguicidas clasificados como plaguicidas altamente peligrosos (HHP) o enumerados como contaminantes orgánicos persistentes (COP) en el Convenio de Estocolmo.	N	0
Manejo del Cultivo	22. Quema de residuos de cultivos o plantas invasoras	N	0
	23. Todo el material vegetal se retira después de la cosecha (residuos de cultivos, plantas)	N	0
	24. El suelo está desnudo en ciertas porciones y / o durante períodos significativos del año.	N	0
	25. Pastizales para ganado sin prácticas de gestión sostenible, como las rotaciones, carga animal baja, utilización de pastos autóctonos o complementos al pastoreo	N	0
		<b>TOTAL</b>	<b>1,75</b>

Tabla 11 Encuesta de caracterización de la PMSS – aplicación de efluente y aplicación de estiércol al suelo

Grupo	Pregunta	S/N	Puntos
Suelos y características de campo	1. Hay una reducción importante en el rendimiento o constante desde hace más de 2 años.	N	0
	2. Hay parcelas con suelo desnudo donde la vegetación no crece en más del 5% del área.	N	0
	3. Las características del campo pueden conducir a la pérdida de nutrientes y materia orgánica por lixiviación o escorrentía si hay exceso de riego o lluvia.	N	1
	4. Presencia de signos claros de erosión del suelo (surcos, cárcavas, etc.)	N	0
	5. Las plantas / cultivos tienen síntomas de deficiencia de nutrientes o toxicidad (por ejemplo, hojas de color verde más oscuro y pigmentos de púrpura a rojo pueden indicar una deficiencia de fósforo).	N	0
	6. Presencia limitada de organismos del suelo (lombrices de tierra y otros invertebrados)	N	0
	7. Poca capacidad de infiltración de agua, la estructura del suelo está visiblemente compactada. Es difícil insertar una pala o un objeto afilado.	N	0
	8. Clima árido o semiárido (<500 mm / año) y escasos recursos hídricos para riego	N	0
	9. Hay costras de sal blanca (sabor salado) en la superficie, cuando el suelo está seco. Hay manchas oscuras y grasosas en la superficie del suelo.	N	0
	10. El suelo presenta algunas manchas de diferente color y de él emergen olores desagradables o químicos. O: Presencia de animales o insectos muertos en áreas vecinas.	N	0
	11. Crecimiento invasivo de plantas acuáticas, agua de color verde o malos olores en los cuerpos de agua vecinos.	N	0
Labranza	12. Más de 1 labranza por año	N	0
	13. Labranza de más de 15 cm de profundidad	N	0

Fertilización	14. Abonos nitrogenados sintéticos utilizados siguiendo el principio “cuanto más, mejor” o abonos nitrogenados amónicos o azufrados al menos durante los 5 últimos años.	N	0
	15. Fertilización química u orgánica: menos de 30 Kg/Ha/A	N	0
	16. Fertilización química: más de 180 Kg/Ha/a o más de 30 Kg/Ha/a pero aplicada una vez por temporada (no en varios momentos durante el desarrollo del cultivo)	N	0
	17. Uso de estiércol de animales que generalmente reciben medicamentos veterinarios para tratar o prevenir enfermedades y/o alimentados con piensos ricos en oligoelementos	S	0,5
	18. Utilización de lodos de depuradora como enmienda orgánica	N	0
Control de Plagas	19. Número de tratamientos totales por año: 4 - 12	S	0,25
	20. Número de tratamientos totales por año:> 12	N	0
	21. Uso frecuente u ocasional de plaguicidas clasificados como plaguicidas altamente peligrosos (HHP) o enumerados como contaminantes orgánicos persistentes (COP) en el Convenio de Estocolmo.	N	0
Manejo del Cultivo	22. Quema de residuos de cultivos o plantas invasoras	N	0
	23. Todo el material vegetal se retira después de la cosecha (residuos de cultivos, plantas)	N	0
	24. El suelo está desnudo en ciertas porciones y / o durante períodos significativos del año.	N	0
	25. Pastizales para ganado sin prácticas de gestión sostenible, como las rotaciones, carga animal baja, utilización de pastos autóctonos o complementos al pastoreo	N	0
		<b>TOTAL</b>	<b>1,75</b>

Tabla 12 Resultado del primer escaneo del manejo sostenible de los suelos para cada unidad homogénea

Unidad Homogénea	Área de evaluación	Resultado del escaneo (puntos)	Cumplimiento de la DVGSS (S/N)
1	1	1,75	S
1	2	1,75	S
2	1	1,75	S
2	2	1,75	S

Fuente: Elaboración propia en base a Manual Técnico del Protocolo de MSS

Se aprecia que en todos los casos el resultado del escaneo es inferior a 2 (Tabla 12), indicando que se están cumpliendo las DVGSS. Es importante acotar que las prácticas de aplicación de efluentes y estiércol tienen apenas 3 años de implementarse y factores como por ejemplo el crecimiento invasivo de plantas acuáticas, agua de color verde o malos olores en los cuerpos de agua vecinos, no se han manifestado.

El Proyecto Circularidad de Nutrientes, iniciado en el 2019 con las inversiones necesarias para la adecuación de la infraestructura, estableció durante la etapa de implementación la evaluación de aspectos agronómicos, ambientales, sanitarios y económicos.

Para la evaluación del impacto agronómico se definió el análisis anual durante la estación de otoño, de parámetros en suelo en 3 estratos distintos: 0-2,5 cm, entre 2,5 cm a 7,5 cm y entre 7,5 cm a 15 cm, en las dos parcelas, sin la aplicación de la PMSS y en las dos con la aplicación de la PMSS. Los parámetros analizados en suelo se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 13 Parámetros monitoreados para evaluación del suelo

PARAMETROS EN SUELO
N total org (mg/kg)
Fósforo total (mg/kg)
P Bray 1 (mg/kg)
Materia orgánica (%)
pH
CE (mS/cm)
Ca (meq/100g)
Mg (meq/100g)
Na (meq/100g)
K (meq/100g)
S (%) (meq/100g)
CIC (meq/100g)
B (mg/kg)
Zn (mg/kg)

Fuente: Proyecto Circularidad de Nutrientes

Junto con los parámetros de suelo se realiza un monitoreo en planta, previo a cada pastoreo, determinando el contenido de materia seca y los siguientes parámetros mostrados en la tabla.

Tabla 14 Parámetros analizados en planta

PARAMETROS PLANTA
N org (%)
P tot (%)
K (%)
S (%)
Ca (%)
Mg (%)
B (mg/kg)
Zn (mg/kg)
Mo (mg/kg)
Cu (mg/kg)
Mn (mg/kg)
Fe (mg/kg)

Fuente: Proyecto Circularidad de Nutrientes

Con respecto a la evaluación ambiental se busca tener una caracterización completa del efluente y el residuo sólido estiércol tanto con parámetros físico-químicos como con indicadores microbiológicos que puedan afectar las condiciones sanitarias. En la tabla a continuación se muestran los parámetros monitoreados.

Tabla 15 Parámetros monitoreados en el efluente y en el sólido

PARAMETROS EN EFLUENTE	PARAMETRO EN EL ESTIÉRCOL
N total (mg/l)	N total (mg/l)
P tot (mg/l)	P tot (mg/l)
Fosfato (mg/l)	pH
K (mg/l)	K (mg/l)
Mat org (%)	Mat org (%)
Sol Tot (%)	Sol Tot (%)
Coliformes totales	Colif totales
E. coli	E. coli
Salmonella	Salmonella
Parásitos gastrointestinales	Parásitos gastrointestinales
Pulmonares	Pulmonares
Fasciola Hepática	Fasciola Hepática

Fuente: Proyecto Circularidad de Nutrientes

Los datos de las tablas anteriores en conjunto con los datos de suelo aportan al balance de macro y micronutrientes para la evaluación de la efectividad agronómica de la PMSS.

## Análisis del Efluente

Adicionalmente, como parte de los objetivos del proyecto Biovalor y el análisis ambiental se presentan los resultados de composición del efluente líquido muestreado en el punto de salida del sistema de distribución a campo en dos oportunidades: 17 de junio de 2021 y 12 de febrero de 2022.

Tabla 16 Composición física y química del efluente del tambo, 17 de junio de 2021

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		EFLUENTE LIQUIDO (190995-1)		METODOLOGÍA ANALÍTICA
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS		
pH	(***)	7.3		1017UY - Dinama, 3ra Ed.2017
SOLIDOS TOTALES	(mg/l)	4600		1021UY - Dinama, 3ra Ed.2017
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	(mg/l SST)	1380		1020UY - Dinama, 3ra Ed.2017
SOLIDOS SEDIMENTABLES	10 minutos	(ml/l)	23	1019UY - Dinama, 3ra Ed.2017
	60 minutos	(ml/l)	25	
CALCIO	(mg/l)	167		3107UY - Dinama, 3ra Ed.2017
CARBONO ORGANICO	(%)	0.13		1021 UY-Dinama Solidos volátiles-Determinacion de C.org por calculo
DQO	(mgO <sub>2</sub> /l)	2500		2009UY - Dinama, 3ra Ed.2017
FOSFORO TOTAL	(mg/l)	55		4013UY - Dinama, 3ra Ed.2017
FOSFATO	(mg PO <sub>4</sub> /l)	113.8		APHA/ Standard Method 4500-P E
MAGNESIO	(mg/l)	78		3139UY - Dinama, 3ra Ed.2017
NITROGENO TOTAL (NTK)	(mg/l)	305.5		4090 UY-Dinama 3ra Ed. 2017.Kjeldahl.
POTASIO	(mg/l)	273		3147UY - Dinama, 3ra Ed.2017

Fuente: Laboratorio LAAI

Tabla 17 Composición física, química y bacteriológica del efluente del tambo, 12 de febrero de 2022

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		EFLUENTE LIQUIDO COMPOSICION (201172-1)		METODOLOGÍA ANALÍTICA
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS		
NITROGENO TOTAL (NTK)	(mg/l)	285.7		4090 UY-Dinama 3ra Ed. 2017.Kjeldahl.
CARBONO ORGANICO	(mg/l)	887		1021 UY-Dinama Solidos volátiles-Determinacion de C.org por calculo
FOSFORO TOTAL	(mg/l)	30.5		4013UY - Dinama, 3ra Ed.2017
FOSFATO	(mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /l)	67.6		APHA/ Standard Method 4500-P E
POTASIO	(mg/l)	476		3147UY - Dinama, 3ra Ed.2017
SOLIDOS TOTALES	(mg/l)	3280		1021UY - Dinama, 3ra Ed.2017

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		PARASITOS (201172-2)		METODOLOGÍA ANALÍTICA
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS		
PARASITOS	FASCIOLA HEPATICA	(huevos/g)	< 1	Laboratory Manual of Parasitological Techniques
	PARASITOS GASTROINTESTINALES.	(huevos/g)	< 1	
	PARASITOS PULMONARES	(huevos/g)	< 1	

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		MO INDICADOR (201172-3)		METODOLOGÍA ANALÍTICA
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS		
COLIFORMES TOTALES	(ufc/100 ml)	3.6 E5		5054UY - Dinama, 3ra Ed.2017
ESCHERICICIA COLI	(ufc/100 ml)	4.4 E5		APHA/ SMEWW 9222D, 9225
SALMONELLA	(25 grs)	ausencia		ISO 6579:2002

Fuente: Laboratorio LAAI

Los valores de nutrientes del efluente distribuido en campo dependen del tipo de sistema de gestión de efluente con el que se cuente, en particular, para aquellos con separación mecánica de sólidos, se puede caracterizar según se presentan en la siguiente tabla, de acuerdo con los datos experimentales de tambos del ámbito nacional.

*Tabla 18 Composición del efluente para sistemas con separación mecánica de sólidos*

Sistema de separación	Sólidos totales (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
Separación mecánica	3000 - 6000	250 – 350	26 - 36	200 - 350

*Fuente: Cartilla sobre criterios de aplicación de efluente a terreno y su implicancia práctica en el diseño e implementación*

En particular para este proyecto las concentraciones de macronutrientes usados para el diseño del sistema de distribución de efluente fueron 480 mg/L para el nitrógeno y 70 mg/L para el fósforo.

Los resultados de sólidos totales y nitrógeno de las dos muestras se encuentran dentro del rango de referencia. Los valores de fósforo y potasio de alguna de las muestras se encuentran por fuera del rango de referencia (Cartilla sobre criterios de aplicación de efluente a terreno y su implicancia práctica en el diseño e implementación) pero aún por debajo de los valores utilizados en el diseño.

En relación a los resultados bacteriológicos es importante indicar que la persistencia de los microorganismos indicadores es una señal del posible riesgo sanitario ante un establecimiento que tenga un diagnóstico de determinada enfermedad, ejemplo brucelosis, tuberculosis y leptospirosis. En ese caso deberíamos adecuar la gestión del efluente a esta condición.

## Análisis del Estiércol

La composición del estiércol en el bunker de almacenamiento se presenta en la tabla a continuación. De modo de tener una representación de toda la pila se compuso una muestra extrayendo submuestras a distintas alturas del bunker y edades de almacenamiento.

Tabla 19 Resultados de análisis físico-químicos de estiércol

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		SOLIDO MEZCLA (201173-1)	SOLIDO COMPISICION (201173-2)	METODOLOGÍA ANALÍTICA
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS		
SOLIDOS TOTALES	(%)	27.8	27.7	1021UY - Dinama, 3ra Ed.2017
NITROGENO TOTAL (NTK)	(%)	1.4	1.4	4090 UY-Dinama 3ra Ed. 2017.Kjeldahl.
POTASIO	(mg/l)	0.53	0.57	3147UY - Dinama, 3ra Ed.2017
FOSFORO TOTAL	(mg/l)	739	402	4013UY - Dinama, 3ra Ed.2017
MATERIA ORGANICA	(% BS)	59.2	52.4	1021UY - Dinama, 3ra Ed.2017
pH	(***)	8.2	8.1	1017UY - Dinama, 3ra Ed.2017

■

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		SOLIDO INDICADORES (201173-3)	METODOLOGÍA ANALÍTICA
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS	
COLIFORMES TOTALES	(ufc/100 ml)	4.6E5	5054UY - Dinama, 3ra Ed.2017
ESCHERICICIA COLI	(ufc/100 ml)	4.3E5	APHA/ SMEVW/9222D, 9225
SALMONELLA	(25 grs)	ausencia	ISO 6579:2002

■

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		SOLIDO ARRIBA (201173-4)	SOLIDO MEDIO (201173-5)	SOLIDO ABAJO (201173-6)	METODOLOGÍA ANALÍTICA	
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS				
PARASITOS	FASCIOLAHEPÁTICA	huevos /g	<1	<1	<1	Laboratory Manual of Parasitological Techniques
	PARASITOS GASTROINTESTINALES.	huevos /g	<1	<1	<1	
	PARASITOS PULMONARES	huevos /g	<1	<1	<1	

Fuente: Laboratorio LAAI

## Evaluación económica

Existen algunos casos de evaluación económica de esta PMSS en algunos predios del país. En campos con similar aplicación de la práctica se realizó un ACB (Análisis Costo Beneficio) privado y social, evaluando el costo de la inversión, el beneficio económico del escenario circular, los costos de operación y mantenimiento del sistema y los costos ambientales y sus externalidades.

El ACB privado dio como resultado que cuando no se toma la inversión inicial de infraestructura para la gestión de los efluentes los proyectos generan beneficios netos positivos, es decir, que los beneficios de aplicar el efluente en campo superan a los costos de operación y mantenimiento del sistema. En el caso de incorporar la inversión, en el ACB privado, el Valor Actual Neto reportado por los proyectos fue negativo; sin embargo, para algunos contextos particulares, los indicadores de la Tasa Interna de Retorno y porcentaje de repago de la inversión puede mostrar un proyecto rentable desde la óptica privada. Siendo que no solo se debe contar con la óptica de una inversión privada sino incluir los beneficios de reducir los impactos ambientales los proyectos son evaluados desde la óptica social.

El resultado del ACB social muestra que por el hecho de tomar en cuenta las externalidades positivas que se generan para la sociedad los indicadores de VANE (Valor Actual Neto Económico) y TIRE (Tasa Interna de Retorno Económico) responden positivamente en relación a los mismos en la evaluación privada.

## Indicadores propuestos a medir

De modo de seguir el marco guía que se establece en el Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible de Suelos se propone la medición de un set de indicadores básicos y otros complementarios, para los dos sitios Piloto.

A continuación, se presentan los indicadores básicos que seguirán la metodología establecida en el Protocolo y en la siguiente tabla los complementarios, todos ellos financiados por este TCP. Tal como se puede observar alguno de los indicadores propuestos en el Protocolo se venían midiendo en el proyecto Circularidad de Nutrientes.

Tabla 20 Indicadores básicos a medir en cada uno de los dos sitios Piloto

Indicador	Parámetro	Metodología analítica
Productividad del suelo	Peso seco por ha de productividad del cultivo	Submuestras compuestas con método de los cuadrantes y pesaje con horno mediante
Propiedades físicas	Densidad aparente	Método de anillo
Carbono orgánico en el suelo	% carbono orgánico	Método Wackley-Black en los tres estratos definidos del proyecto
Actividad biológica del suelo	Tasa de respiración del suelo (mgCO <sub>2</sub> /100g)	Cuantificación de la cantidad de C-CO <sub>2</sub> mineralizado en condiciones de temperatura y humedad controladas
	Actividad deshidrogenasa	Técnica colorimétrica usando iodonitrotetrazolio

Fuente: Protocolo de Manejo Sostenible de Suelos FAO

Tal como fue explicado en la caracterización del sitio es relevante medir en el tambo variables que indiquen el contenido de nutrientes en el suelo de modo de que la práctica de manejo sostenible prevenga la llegada de los nutrientes al curso de agua y siga las recomendaciones nacionales al respecto.

Tabla 21 Indicadores adicionales por las particularidades del sitio seleccionado

Indicador	Parámetro	Metodología analítica
Nutrientes	Fósforo Total	AOAC 990.08
Nutrientes	Fósforo Bray 1	– PR-ESPEC V03
Nutrientes	Nitrógeno orgánico	ASTM D5373
Nutrientes	Potasio	PR-Kint-FOT V03
Acidez-basicidad	pH	Potenciométrico
Salinidad	Conductividad eléctrica CE	Conductímetro

Fuente: Proyecto Biovalor

## Metodología de muestreo y análisis

Para la metodología de extracción de las muestras se continuó con la que se viene realizando en el Proyecto de modo de poder trabajar con variables comparables. En todas las variables, excepto densidad aparente, se tomaron muestras en puntos aleatorios (como mínimo 20 en cada unidad de evaluación) y se compuso una muestra compuesta. Esta muestra fue la que se envió al laboratorio para determinación según metodología analítica recomendada por el Protocolo. A continuación, se profundiza en cada variable.

El muestreo para la determinación de porcentaje de materia seca en chacra se realiza extrayendo submuestras provenientes de distintos puntos dentro de la chacra. Las submuestras, en el caso de la pastura, se extraen cortando a ras del suelo 30 rectángulos de 30 cm x 30 cm, antes del pastoreo y realizando un picado manual de dicho material.

Cada submuestra debe ser conservada en freezer, en bolsa de nylon bien cerrada, hasta que es enviada al laboratorio junto a las otras de la estación del año. Para este TCP se extrajo una muestra en otoño, para cada uno de los Pilotos.

Para recolectar las muestras de densidad aparente se extrajeron 8 muestras inalteradas en cada unidad de evaluación, con cilindros de 5 cm, en puntos aleatorios recorridos en zigzag.

*Figura 18 Equipos y muestras para medición de densidad aparente en Piloto 1 y 2*



*Fuente: Elaboración propia y Laboratorio de Suelos de la DGRN-MGAP*

Luego en gabinete se procedió a colocar las muestras en agua con el objetivo de alcanzar la saturación debido a que el contenido de humedad del suelo podría alterar considerablemente el resultado por la presencia de arcillas expansivas. Por esta razón, en Uruguay, se toma como metodología de análisis de densidad aparente la saturación y enrase de la muestra antes del secado.

Algunas de las muestras resultaron inválidas ya que se observó su alteración, posiblemente en el proceso de transporte, con lo cual las mismas fueron descartadas. Para cada una de las muestras válidas se realiza el procedimiento analítico de densidad aparente.

En relación al muestreo de suelo para el análisis de la tasa de respiración se realizó con la composición de 20 submuestras en cada una de las unidades evaluadas, extraídas con calador de 15 cm, recorriendo el campo en zigzag.

Para contar con datos de la actividad microbiana de los suelos estudiados se realizó actividad deshidrogenasa. Para ello se empleó una técnica colorimétrica que usa iodo-nitro-tetrazolio (INT) como sustrato (aceptor final de electrones) y mide el iodo-nitro-tetrazolio-formazán (INTF) formado al incubar las muestras en condiciones controladas. El muestreo de suelo se realizó con calador, recorriendo el campo en zigzag, y tomando 20 puntos seleccionados al azar en cada una de las unidades evaluadas, extrayendo submuestras de 15 cm, hasta completar una muestra compuesta que se envió al laboratorio. La metodología analítica empleada en laboratorio fue la de Von Mersi (1996) incubando las muestras por 2 horas a 40 °C y determinándose colorimétricamente el iodo-nitro-tetrazolio-formazán (INTF) producido.

A continuación, se presentan los métodos de análisis usados para las variables de suelo.

Tabla 22 Métodos de análisis en suelo

Análisis	Metodología analítica	Descripción
Fósforo Total	AOAC 990.08	Digestión con ácido nítrico y posterior determinación de P extraído mediante absorbancia del complejo molibdofosfato reducido
Fósforo Bray 1	PR-PBray ESPEC V03 / Ext PBray 1	Acorde a: Bray RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.
Materia orgánica	Método Walkley Black	
Nitrógeno orgánico	ASTM D5373	
pH	Potenciométrico	Agitación de la mezcla suelo: agua en una relación 1:2,5 acorde a Beretta, A. Bassahun, D; Musselli, R. ¿Medir el pH del suelo en reposo o agitando la mezcla suelo: agua? Agrociencia (Uruguay), v.: 18 2, p.: 90 - 94, 2014
Conductividad	Conductimétrico	Acorde a: Karen L. Gartley. Recommended Methods for Measuring Soluble Salts in Soils. En RECOMMENDED SOIL TESTING PROCEDURES FOR THE NORTHEASTERN UNITED STATES. Northeastern Regional Publication No. 493. 3rd. Disponible en

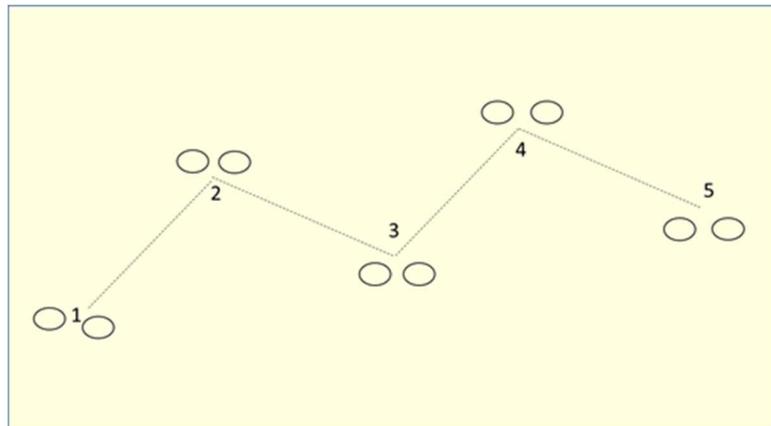
		<a href="http://s3.amazonaws.com/udextension/lawngarden/files/2012/10/CHAP10.pdf">http://s3.amazonaws.com/udextension/lawngarden/files/2012/10/CHAP10.pdf</a>
Cationes Intercambiables - CIC	Acidez titulable	Titulométrico. Acorde a: BERETTA, A.; BASSAHÚN D; TORRES DEBORAH; MUSSELLI RAQUEL ; GARCÍA L. Acidez titulable a pH = 7 estimada a partir del pH de una mezcla suelo: buffer. Agrociencia (Uruguay), v.: 21 1, p.: 105 - 108, 2017
	Calcio	Extracción Acetato Amonio (Emisión plasma ICP OES). Acorde a: JACKSON, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 662 p;
	Magnesio	
	Potasio Intercambiable	
	Sodio Intercambiable	
	CIC	Cálculo
	Bases totales	Cálculo
Saturación de bases	Cálculo	
Azufre	Extracción con fosfato monocalcio y turbidimetría con cloruro de bario	Acorde a: Cantarella, H. & Prochnow, L.I. 2001. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. [Eds] Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas. 225-230 p.
Boro		Emisión de plasma ICP-OES
Zinc	Extracción con DTPA y medición del extracto por absorción atómica	Acorde a: João Carlos de Andrade, Cleide Aparecida de Abreu e Mônica Ferreira de Abreu. 2001.DETERMINAÇÃO DE COBRE, FERRO, MANGANÊS, ZINCO, CÁDMIO, CROMO, NÍQUEL E CHUMBO EM SOLOS USANDO A SOLUÇÃO DE DTPA EM pH 7,3. Capítulo 16. Instituto Agronômico;

Fuente: Laboratorio LAAl

## Validación del método de muestreo

Dentro del marco de este TCP 3805 se propone la evaluación de una metodología de muestreo (en adelante “muestreo Validación”) diferente a la utilizada en el proyecto Biovalor (en adelante muestreo convencional). La metodología propuesta consiste en una caracterización visual más detallada de una zona de chacra, de superficie 1 ha, junto con un muestreo compuesto con el esquema de extracción de muestras que se presenta en la siguiente figura. La idea de este estudio detallado es poder verificar que los suelos muestreados son homogéneos mediante una caracterización visual a juicio de experto.

Figura 19 Esquema de extracción de muestras para validación



Fuente: FAO Proyecto TCP/RLA 3805

En cada uno de los puntos mostrados, numerados del 1 al 5, se propone extraer dos submuestras contiguas para formar una muestra compuesta a enviar al laboratorio.

El modo que se definió desde el Piloto para analizar el muestreo Validación es comparar los resultados de laboratorio obtenidos con este muestreo con aquellos que se viene realizando en el muestreo convencional, tal como se describió en el apartado “Metodología de muestreo”.

Para el muestreo Validación se selecciona la chacra del Piloto 2: Testigo de la aplicación de estiércol ya que cumple con tener una superficie de 1 ha y al mismo tiempo se extrae la muestra compuesta según la metodología convencional usada en el proyecto Biovalor. La comparativa se realiza usando los analitos Nitrógeno, Fósforo Total y Carbono orgánico.

## RESULTADOS

### Resultados de la validación del método de muestreo

La vista en Google Earth de los puntos de extracción se presenta en la próxima figura y en las fotografías siguientes las vistas panorámicas del Piloto 2 al momento de realizar la evaluación, donde se pueden observar las dos parcelas.

Figura 20 Puntos de extracción para verificación de homogeneidad del área seleccionada



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

*Figura 21 Vista de la parcela testigo del Piloto 2 el 16/05/2022*



*Fuente: Facultad de Veterinaria*

Figura 22 Vista de la parcela con aplicación de estiércol del Piloto 2 el 16/05/2022



Fuente: Facultad de Veterinaria

Las características relevadas en los puntos de chequeo se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 23 Tabla de caracterización de los puntos de muestreo, según indicaciones TCP 3805 FAO

Punto	Trat.	Par.	Coordenadas GPS	Color Suelo Munsell	Condición	Estructura Suelo (A, M, B)	Macroinvertebrados (A, M, B)	Prof Raíces (cm)	Calidad de Raíces (B, R M)
1 Ruta	Estiércol	Control	542560.99 m E, 6161633.44 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
1 Campo	Estiércol	Control	542565.29 m E, 6161632.78 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
2 Ruta	Estiércol	Control	542496.06 m E, 6161666.06 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
2 Campo	Estiércol	Control	542498.06 m E, 6161671.59 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
3 Ruta	Estiércol	Control	542460.06 m E, 6161714.07 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
3 Campo	Estiércol	Control	542456.01 m E, 6161715.95 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
4 Ruta	Estiércol	Control	542378.34 m E, 6161740.71 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
4 Campo	Estiércol	Control	542385.97 m E, 6161744.14 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
5 Ruta	Estiércol	Control	542354.89 m E, 6161772.59 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay
5 Campo	Estiércol	Control	542359.99 m E, 6161775.65 m S	Pardo	Humedad de suelo	A-M	Baja	0	No hay

Fuente: Facultad de Veterinaria

La cantidad de raíces, así como la presencia de macroinvertebrados es ausente o baja en todos los puntos de chequeo. En cuanto a la calidad de las raíces se corresponde con el uso del suelo de los últimos años que se constituye por un cultivo de raigrás y maíz con destino a silo.

Se verifica la homogeneidad de la chacra testigo, manteniéndose constante el color y la estructura del suelo.

A continuación, se presentan las fotografías de los puntos de extracción.

*Figura 23 Fotografías en campo de los puntos muestreados*

#### **Punto 1 Ruta**



#### **Punto 1 Campo**



**Punto 2 Ruta**



**Punto 2 Campo**



**Punto 3 Ruta**



**Punto 3 Campo**



**Punto 4 Ruta**



**Punto 4 Campo**



### Punto 5 Ruta



### Punto 5 Campo



---

*Fuente: Facultad de Veterinaria*

Por problemas de comunicación en el muestreo de Validación no se realizó la composición de las muestras en las cinco parejas de puntos, sino que se enviaron al laboratorio las muestras individuales y en éstas fueron analizadas las variables indicadas. Los 10 resultados obtenidos se muestran en la tabla 24.

El análisis de los datos se realizará verificando que los valores obtenidos con la metodología de muestreo convencional caen dentro del rango de variación obtenido por una distribución normal de los datos con la metodología Validación, comprendiendo el 95% de los datos (Intervalo de confianza: IC95) (Tabla 25).

Tabla 24 Resultados del muestreo Validación, con 10 puntos de extracción

Identificación muestras	Nitrógeno (%)	Fósforo Total (ppm)	Carbono orgánico (%)
1 Campo	0,11	450	1,0
1 Ruta	0,09	450	1,0
2 Campo	0,07	599	1,4
2 Ruta	0,16	600	1,7
3 Campo	0,07	550	1,2
3 Ruta	0,10	500	1,3
4 Campo	0,11	500	1,3
4 Ruta	0,07	499	2,0
5 Campo	0,09	897	1,7
5 Ruta	0,08	600	1,4

Fuente: Laboratorio LAAI

Tabla 25 Variables estadísticas de los resultados

	Nitrógeno (%)	Fósforo Total (ppm)	Carbono orgánico (%)
Media	0,10	565	1,4
Desviación estándar	0,03	131	0,3
IC95	0,02	93	0,2
Límite inferior	0,08	471	1,2
Límite Superior	0,12	658	1,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Resultados de N, P total y Carbono orgánico según muestreo convencional proyecto Biovalor

	Nitrógeno (%)	Fósforo Total (ppm)	Carbono orgánico (%)
0-2,5 cm	0,13	500	1,3
2,5-7,5 cm	0,15	524	1,3
7,5-15 cm	0,17	449	1,3
<b>0-15 cm promedio ponderado</b>	<b>0,16</b>	<b>483</b>	<b>1,3</b>

Fuente: Elaboración propia

Para las variables Fósforo total y Carbono orgánico se observa que los resultados del muestreo convencional del proyecto Biovalor están dentro del rango de valores que presentan los datos según el muestreo Validación, no así para el caso del Nitrógeno.

Otra evaluación que se propone para comparar los dos muestreos es realizar la misma comparativa pero ahora con la incertidumbre robusta del muestreo Validación (Tabla 27).

Tabla 27 Valores estadísticos para el cálculo de la incertidumbre robusta

	Nitrógeno (%)	Fósforo Total (ppm)	Carbono orgánico (%)
Mínimo	0,07	450	1,0
Máximo	0,16	897	2,0
Media	0,10	565	1,4
Rango	0,09	447	1,0
Valor referencia	0,16	483	1,3
<i>Incertidumbre</i>	0,07	154	0,3
<i>% incertidumbre</i>	71	27	23

Fuente: Elaboración propia

Acorde a lo que muestran los resultados la incertidumbre generada por el muestreo Validación podría ser elevada.

Un muestreo se considera representativo cuando logra reflejar las variaciones espaciales y temporales al haber sido realizado por diferentes personas. Independientemente de la comparativa que resulte de esta serie de valores, obtenidos para este proyecto con este procedimiento específico, se entiende que un muestreo al azar, con 20 muestras como mínimo (o en función del manejo del suelo, perturbación y su fertilización) es lo suficientemente representativo de esa parcela tal como lo demuestran los artículos científicos.

Al momento de diagnosticar el estado del suelo los errores más significativos se inducen en la etapa de muestreo con lo cual se comparte la preocupación de que exista un especial asesoramiento antes de realizarlo, teniendo en cuenta el procedimiento, las herramientas y su interpretación (DOC-LE-su-07- INIA).

Los trabajos existentes al respecto siguen la línea de muestras compuestas, con un mínimo de “pinchazos”, sin embargo, no hay una justificación sobre los muestreos compuestos con parejas de puntos cercanos.

## RESULTADOS DE INDICADORES DEL PILOTO 1

### INDICADORES EN PLANTA

#### Productividad

El muestreo de materia seca en planta del Piloto 1, se realizó por primera vez en febrero de este año, con este TCP, ya que no fue posible obtener mediciones en la matriz planta en los años anteriores. La pastura muestreada se trata de una Festuca plantada en 2020 con lo cual está en su segundo año. En las tablas a continuación se presenta la materia seca para el Piloto 1.

Tabla 28 Resultados de laboratorio de materia seca en planta, chacra testigo y chacra con PMSS

	<b>Piloto 1</b>	<b>2022</b>
<b>Materia seca (%)</b>	Testigo efluente	17,5
	Aplicación Efluente	27,4

Fuente: Laboratorio LAAI

Los datos de producción (Tabla 27) se obtuvieron mediante una estimación visual de disponibilidad de forraje desde a ras del suelo con la finalidad de presupuestar el stock de forraje y recomendar las medidas de manejo y nutrición del rodeo. El contenido de materia seca que se usó para esta estimación fue de 20-22% en julio y 25% para el resto del año. Estos valores de porcentaje de materia seca están dentro del orden de magnitud medido por el laboratorio.

Tabla 29 Productividad en parcela testigo

<b>Fecha</b>	<b>Materia seca (kgMS por ha)</b>
24/1/2022	1000
14/2/2022	1500
21/3/2022	600
26/7/2022	400

Fuente: Facultad de Veterinaria

En la parcela con aplicación de líquido se estima una producción de biomasa 20% superior a la testigo, también mediante estimación a campo.

Las observaciones en campo a la hora del muestreo, tal como muestran las siguientes fotografías indican una marcada diferencia visual entre la pastura de la parcela con aplicación a aquella en la que no se aplica el efluente. Se observa un color más intenso y una mayor población de plantas en la parcela con aplicación de efluentes. Por lo tanto, se podría inferir un efecto positivo en lo que respecta a la tasa de crecimiento, vigor y persistencia de la pastura tratada con efluente.

Figura 24 Vista del Piloto 1



Fuente: Facultad de Veterinaria. Foto superior parcela Testigo, foto inferior parcela con Aplicación.

Algunos trabajos en festuca y verdeos de invierno (Rodríguez M. 2021 y Silva Rodríguez et al. 1992), demuestran que la aplicación de efluente aumenta el rendimiento medido como materia seca por hectárea. Siendo que se cuenta con datos conjuntos no es posible realizar conclusiones acerca del efecto que tiene el tratamiento sin embargo la observación de campo concuerda con lo esperado.

#### Calidad vegetal

A su vez este TCP permitió realizar el análisis de otras variables en planta, de modo de conocer su respuesta a la aplicación y los resultados se presentan en las tablas a continuación.

Tabla 30 Medición de otras variables en festuca

Piloto 1	Testigo	Aplicación Efluente
N org (%)	3,8	1,1
P tot (%)	0,31	0,08
K (%)	2,41	0,74
S (%)	0,2	0,13
Ca (%)	0,9	0,4
Mg (%)	0,5	0,4
B (mg/kg)	21	9
Cu (mg/kg)	13	3
Fe (mg/kg)	295	331
Mn (mg/kg)	150	154
Mo (mg/kg)	3	3
Zn (mg/kg)	24	5

Fuente: Laboratorio LAAI

Los resultados obtenidos en planta no fueron acordes a lo esperado ya que si relacionamos estas concentraciones con la producción de biomasa se esperaban concentraciones similares de nutrientes, con un efecto de dilución en la unidad con mayor producción. Las notorias diferencias de concentración en nitrógeno, fósforo y potasio no podrían explicarse únicamente por este efecto. No tenemos información suficiente como para explicar las diferencias, aunque es importante señalar que las especies vegetales en las unidades evaluadas tuvieron diferentes evoluciones, y al momento del muestreo en la unidad testigo predominaban las malezas, diferentes a la festuca que predominaba en la unidad con aplicación de efluente (ver Figura 24).

Los valores de N, P y K en el testigo se deberían a la escasa producción de biomasa del cultivo y por ende poca dilución.

El resultado de producción de biomasa para la unidad testigo, más cercano a la fecha de muestreo, fue 1500 kg/ha y se estima en 1800 kg/ha para la unidad con aplicación. Con estos resultados es probable que la unidad con aplicación de efluentes haya tenido deficiencia de nitrógeno ya que el óptimo para dicha producción sería aproximadamente 4%.

## INDICADORES DE SUELO

### Densidad aparente

Tabla 31 Resultados de densidad aparente en Piloto 1

Piloto 1	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Testigo efluente. Punto 1.1	1,40
Testigo efluente. Punto 1.2	1,43
Testigo efluente. Punto 2.1	1,50
Testigo efluente. Punto 2.2	1,42
Testigo efluente. Punto 3.1	1,23
Testigo efluente. Punto 3.2	sd
Testigo efluente. Punto 4.1	1,29
Testigo efluente. Punto 4.2	1,33
Aplicación efluente. Punto 1.1	1,45
Aplicación efluente. Punto 1.2	1,33
Aplicación efluente. Punto 2.1	1,38
Aplicación efluente. Punto 2.2	1,41
Aplicación efluente. Punto 3.1	1,52
Aplicación efluente. Punto 3.2	1,45
Aplicación efluente. Punto 4.1	1,32
Aplicación efluente. Punto 4.2	1,31

Fuente: Laboratorio de Suelos del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca

Realizando la prueba de Fisher para comparación de medias se obtiene como resultado para los Pilotos, los siguientes valores de densidad aparente.

Tabla 32 Comparación de medias de Densidad aparente en Piloto 1

Piloto	Tratamiento	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
1	Testigo líquido	1,37 (0,093) a
1	Aplicación efluente	1,40 (0,075) a

Fuente: Elaboración propia. Letras diferentes indican diferencia estadística por Test de Fisher con  $p$ -valor  $< 0,05$ .

Con base en los resultados, las densidades aparentes de los dos tratamientos no son diferentes y se encuentran dentro de los rangos esperables para suelos de Uruguay.

### Carbono orgánico

El muestreo de suelo para análisis de variables químicas se realizó el 16 de mayo, correspondiente a otoño, tal como se hicieron los otros muestreos en años anteriores. Los

resultados del muestreo de carbono orgánico en cada una de las chacras se presentan a continuación.

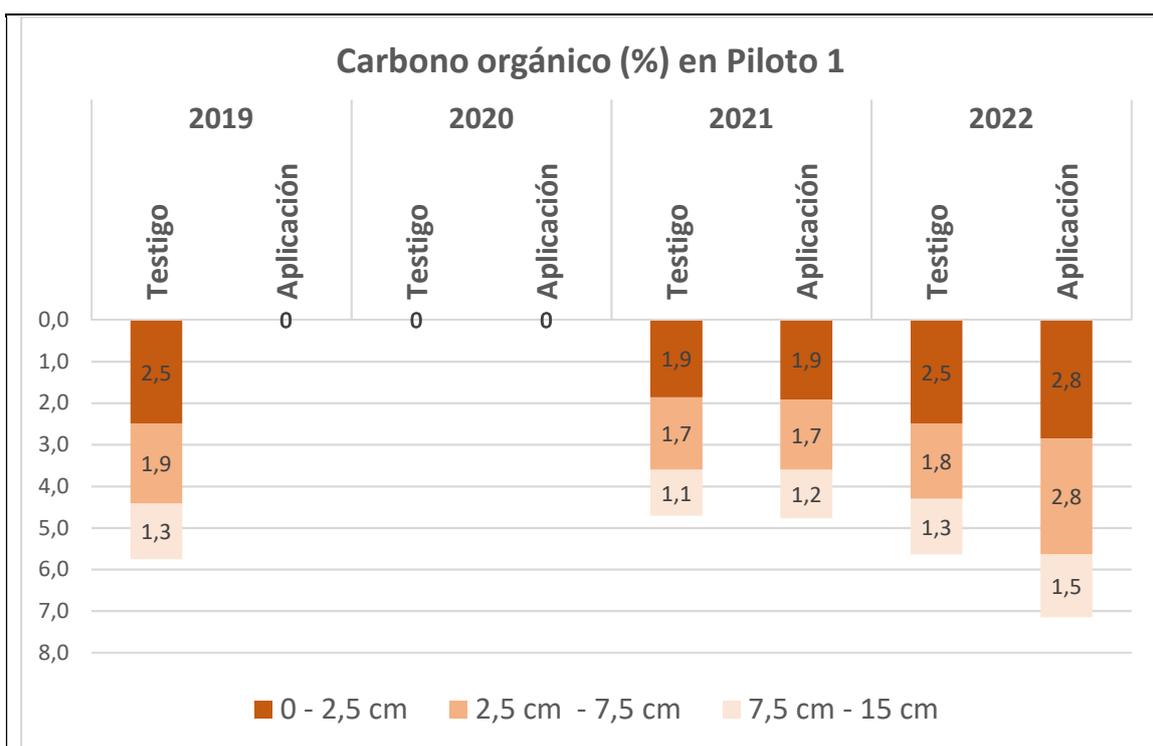
Tabla 33 Resultados de laboratorio de carbono orgánico en suelo, chacra testigo y chacra con PMSS

Carbono orgánico (%)	2022	
	Testigo	Aplicación efluente
0-2,5 cm	2,5	2,8
2,5 - 7,5 cm	1,8	2,8
7,5 -15 cm	1,3	1,5

Fuente: Laboratorio LAAI

La siguiente figura muestra los datos ya obtenidos en años anteriores en el proyecto, de modo de poder analizar la existencia de tendencias. En el año 2020 todavía no estaba operativo el sistema de aplicación de efluente a terreno con lo cual no se realizaron muestreos.

Figura 25 Comparativa de Carbono orgánico en el Piloto 1, con aplicación de efluente al terreno



Los números dentro de las barras corresponden al valor de carbono orgánico medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de carbono orgánico.

Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI.

Partiendo de la gráfica del 2019 como línea de base válida, el primer descenso de materia orgánica del año 2021 en las dos parcelas se puede deber a la intervención de la siembra de la festuca realizada en el año 2020.

Los resultados del año 2022, que muestran un aumento de la materia orgánica en todos los estratos de la parcela con aplicación de efluente, son consistentes con la buena práctica de manejo. Adicionalmente, la recuperación de carbono en ambas parcelas sería explicada en parte por la permanencia de un cultivo perenne.

### Tasa de respiración

Los resultados obtenidos en laboratorio se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 34 Tasa de respiración para Piloto 1 y Piloto 2

Piloto 1		2022
<b>Tasa de respiración (mg CO<sub>2</sub>/100 g)</b>	Testigo efluente, 0-15 cm	52,7
	Aplicación Efluente 0-15 cm	40,9

Fuente: Laboratorio Ecotech

Existen en Uruguay pocos estudios de medición en suelos de la Tasa de respiración. Considerando algunos trabajos no publicados (Lacuesta, MGAP 2022) la técnica presenta una variabilidad superior a la diferencia observada entre estas dos medidas con lo cual no se aprecian diferencias sustanciales entre las dos parcelas.

### Actividad biológica

Las enzimas deshidrogenasas son consideradas buenos indicadores de calidad del suelo ya que solo actúan en células viables (Iccardi, 2018). Hay que recordar también que pequeñas modificaciones en el manejo del suelo pueden representar cambios sensibles en los parámetros bioquímicos con lo cual con un único valor de un momento del manejo no se pueden inferir conclusiones de la sostenibilidad de la práctica.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para las parcelas con y sin aplicación de efluente.

Tabla 35 Resultados de laboratorio de actividad microbiana para el Piloto 1

Piloto 1	Actividad deshidrogenasa (ug INTF/g suelo seco)
Testigo muestra 1	69,61
Testigo muestra 2	56,55
Testigo muestra 3	55,89
Efluente muestra 1	71,05
Efluente muestra 2	81,85
Efluente muestra 3	52,08

Fuente: Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Agronomía UDELAR

Luego del análisis estadístico de los resultados se obtienen los siguientes valores para la actividad deshidrogenasa.

Tabla 36 Actividad biológica en Piloto 1

Piloto 1	Actividad deshidrogenasa (ug INTF/g suelo seco)
Testigo	60,68 a
Aplicación líquida	68,33 a
p valor	0,478

Fuente: Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Agronomía UDELAR. Letras diferentes indican diferencia estadística por Test de Tuckey con p-valor < 0,05.

Tal como muestran los valores no se presenta diferencia estadística entre los valores de las parcelas y realizando el mismo análisis estadístico tampoco se presenta diferencia entre los tratamientos.

Debido a los tiempos de ejecución de este TCP, junto con los tiempos de muestreo y análisis de laboratorio, no fue posible realizar el análisis de actividad microbiana en las mismas muestras de suelos en las que se realizó la Tasa de respiración, de modo de poder correlacionar los resultados.

#### Variables adicionales

Adicionalmente se realizaron otras variables en suelo, con el financiamiento de este TCP. La siguiente tabla presenta los resultados de nitrógeno orgánico de este año junto con los datos anteriores que ya se tenían para este proyecto.

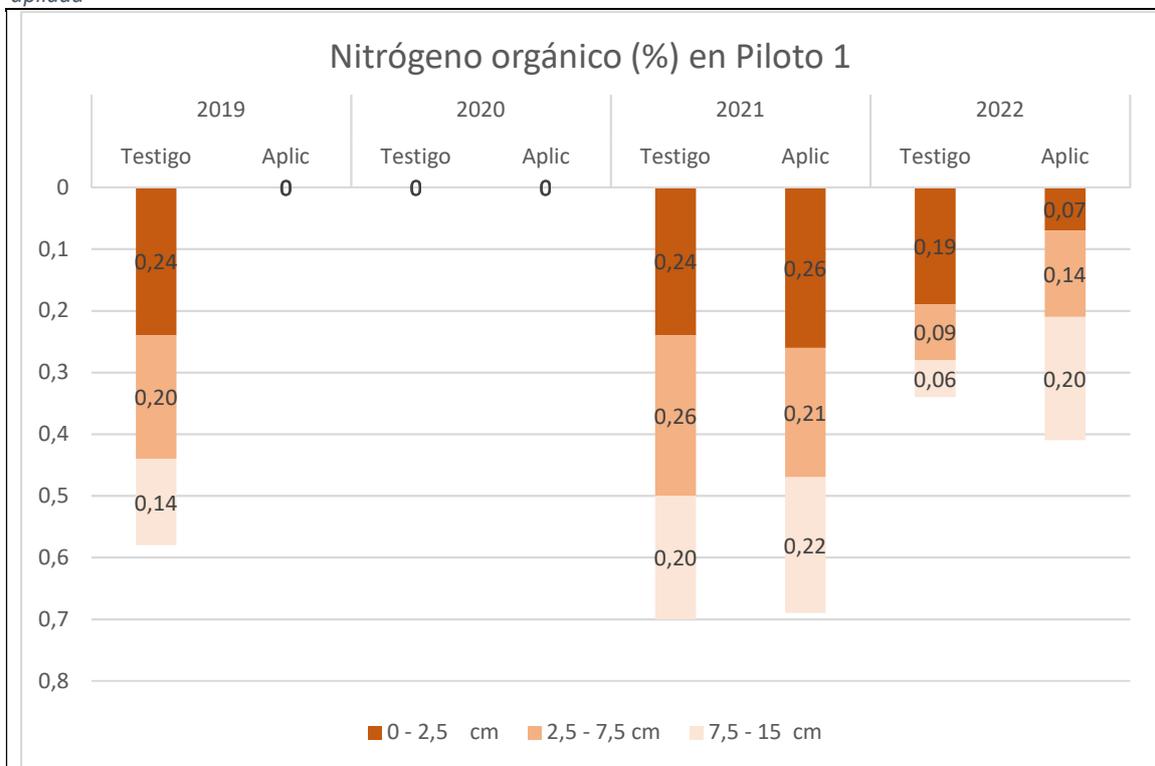
Tabla 37 Resultados de Nitrógeno Orgánico en suelos para el Piloto 1, junto con los resultados del proyecto Biovalor

		2019		2020		2021		2022	
		Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
<b>Nitrógeno Orgánico (%)</b>	0 - 2,5 cm	0,24	NA	ND	NA	0,24	0,26	0,19	0,07
	2,5 - 7,5 cm	0,20	NA	ND	NA	0,26	0,21	0,09	0,14
	7,5 - 15 cm	0,14	NA	ND	NA	0,20	0,22	0,06	0,20

NA: No aplica ya que no se estaba aplicando efluente. ND: Dato no disponible, muestreo inexistente

Fuente: Laboratorio LAAL

Figura 26 Nitrógeno Orgánico de parcelas testigo y aplicación de efluente, representando los estratos como columna apilada



Los números dentro de las barras corresponden al valor de nitrógeno orgánico medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de nitrógeno orgánico. Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI.

Se observa un marcado descenso en el contenido de nitrógeno en el 2022, para ambas parcelas, aun observando un aumento de carbono orgánico. Este comportamiento no tiene una explicación lógica. Con estos niveles se podría comprometer el aporte de nitrógeno a los cultivos siguientes, incluso la acumulación de carbono en el suelo.

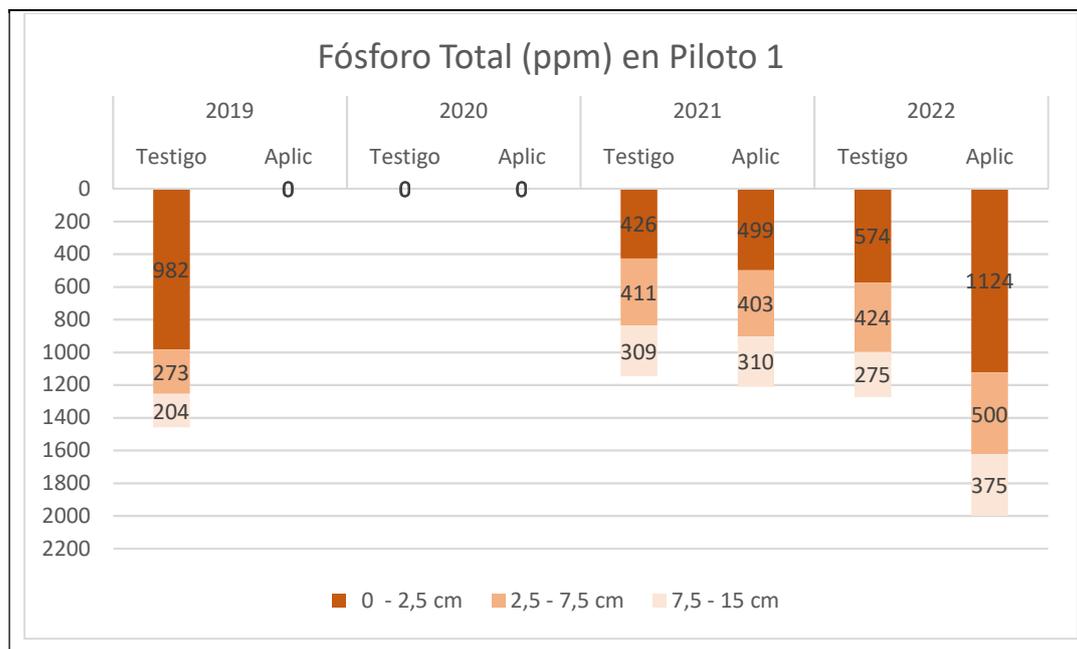
En relación al Fósforo Total la tabla 14 se presentan los valores para el Piloto 1 con su representación gráfica a continuación.

Tabla 38 Resultados de Fósforo Total en Piloto 1, junto con los resultados del proyecto Biovalor

Fósforo Total (ppm)		2019		2020		2021		2022	
		Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
	0 - 2,5 cm	982	NA	ND	NA	426	499	574	1124
	2,5 - 7,5 cm	273	NA	ND	NA	411	403	424	500
	7,5 - 15 cm	204	NA	ND	NA	309	310	275	375

NA: No aplica ya que no se estaba aplicando efluente. ND: Dato no disponible, muestreo inexistente  
Fuente: Laboratorio LAAI

Figura 27 Fósforo Total en suelo del Piloto 1, representando los estratos como columna apilada



Los números dentro de las barras corresponden al valor de fósforo total medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de fósforo total. Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI.

De acuerdo con los resultados se observa una inversión del fósforo que podría atribuirse a las intervenciones de laboreo para la siembra del año 2020 lo que habría disminuido la estratificación del fósforo total. Luego de este evento la tendencia volvería a generar estratificación en el cultivo perenne.

Tal como fue informado en la caracterización de suelos las parcelas testigo y aplicación, del Piloto 1, se caracterizan por suelos de la Unidad de Mapeo Tala-Rodríguez y de acuerdo con la composición textural, a juicio de experto basado en el relevamiento de campo y con la fórmula de Hernández *et al.* (1995), se pueden calcular los valores de referencia del fósforo total. Si se comparan los resultados del laboratorio con estos valores de referencia en la parcela testigo, los resultados están dentro de lo esperado considerando el contenido de arcilla.

Los aumentos de fósforo total en la parcela con aplicación de efluente se deberían a la PMSS implementada y adicionalmente se observa que se incrementa la estratificación de fósforo total en el perfil. Al haberse utilizado una estrategia de fertilización por balance, la acumulación de fósforo se debería a la menor extracción desde el cultivo a causa de menor rendimiento observado respecto al estimado.

En relación al fósforo Bray 1 de acuerdo con los resultados presentados en la tabla y gráfico a continuación se observa una tendencia de aumento del mismo en la parcela de aplicación de efluentes, confirmando lo esperado con la PMSS.

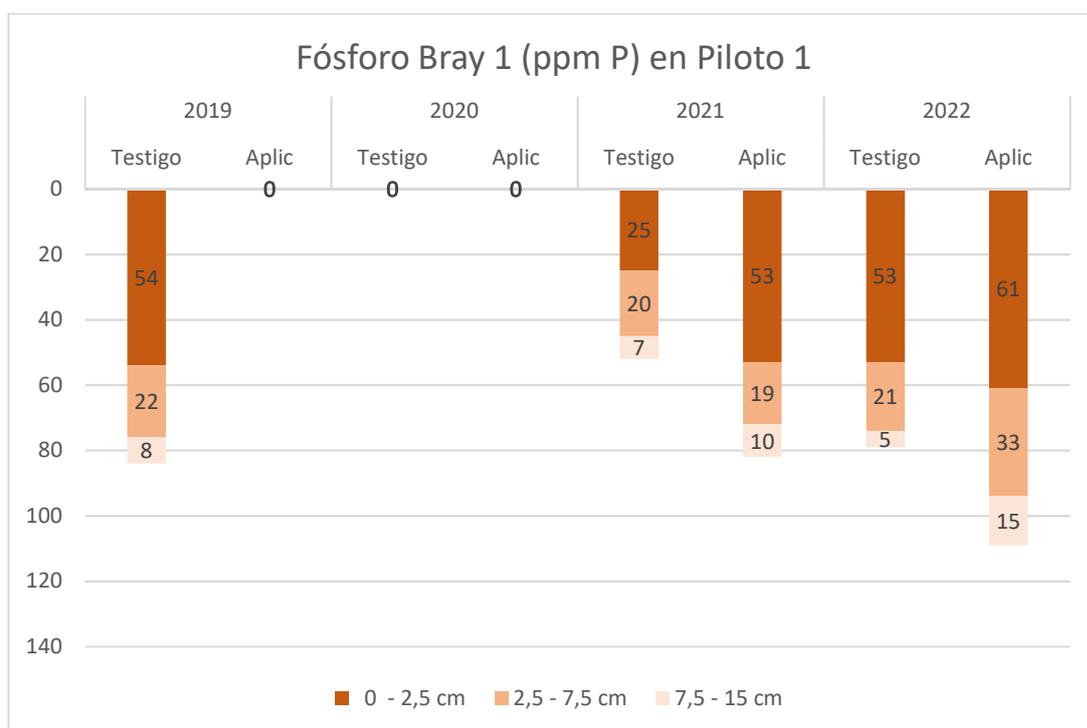
Calculando el promedio de fósforo Bray 1 en los 15 cm de suelo de la parcela con aplicación de la PMSS se obtiene un valor de 29 ppm próximo al límite establecido en Uruguay para los suelos de la cuenca (31 ppm Bray<sub>1</sub>) y además un valor mayor al nivel crítico para un cultivo de festuca (en el entorno de 10 ppm).

Tabla 39 Resultados muestreo de fósforo Bray 1 en suelos Piloto 1, junto con los resultados del proyecto Biovalor

Fósforo Bray 1 (ppm)	2019		2020		2021		2022	
	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
0 - 2,5 cm	54	NA	ND	NA	25	53	53	61
2,5 - 7,5 cm	22	NA	ND	NA	20	19	21	33
7,5 - 15 cm	8	NA	ND	NA	7	10	5	15

NA: No aplica ya que no se estaba aplicando efluente. ND: Dato no disponible, muestreo inexistente  
Fuente: Laboratorio LAAI

Figura 28 Fósforo Bray 1 en Piloto 1, representando los estratos como columna apilada



Los números dentro de las barras corresponden al valor de fósforo Bray 1 medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de fósforo Bray 1  
Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI.

El pH en los suelos de las unidades de evaluación; testigo y con tratamiento se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 40 pH medido en las unidades testigo y aplicación de efluente del Piloto 1

pH	2019		2020		2021		2022	
	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
0 - 2,5 cm	5,2	NA	0	ND	5,6	5,6	5,5	5,8
2,5 - 7,5 cm	5,1	NA	0	ND	5,8	5,8	5,4	5,6
7,5 - 15 cm	5,3	NA	0	ND	6,1	6,1	5,6	5,9

Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI

No se observan diferencias en los estratos ni entre los tratamientos. Se observa un leve incremento de pH en el tiempo en las dos parcelas lo cual repercutiría en un incremento de la disponibilidad de nutrientes y un descenso en la posibilidad de aparición de aluminio intercambiable de efecto fitotóxico.

Otras variables de suelo

Otras variables medidas en este TCP, definidas en el marco del proyecto Biovalor se presentan en el Anexo "Otras variables de suelo".

## RESULTADOS DEL PILOTO 2

### INDICADORES EN PLANTA

Productividad

El maíz plantado en las chacras del Piloto 2 es producido para silo de planta entera. La muestra a analizar es compuesta obteniéndose de tomar 8 submuestras de un metro lineal, cortando la planta entera a ras del suelo y picándola de forma manual.

Los resultados del porcentaje de materia seca en el maíz se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 41 Resultados de materia seca para el Piloto 2

	Piloto 2	2022
<b>Materia seca (%)</b>	Maíz chacra testigo (estiércol)	19,7
	Maíz chacra con aplicación (estiércol)	42,7

Fuente: Laboratorio LAAI

La diferencia en el porcentaje de materia seca no se puede atribuir estadísticamente a la diferencia de tratamiento. Se observa que el estado fenológico del maíz para silo no es el mismo en las dos parcelas, siendo el maíz de la parcela de aplicación de estiércol el que se encontraba en mejor estado para ensilaje.

Diferentes condiciones nutricionales del cultivo pueden generar diferencias de días en el desarrollo fenológico lo que podría haber sido la causa de las diferencias observadas.

En relación a la productividad obtenida para el Piloto 2, nos encontramos con la misma dificultad que el Piloto 1, es decir, no se realizó la medición de kgMS/ha específica de cada parcela, sino que se realizó una estimación de productividad para ambas parcelas.

Tabla 42 Rendimiento estimado de parcelas en Piloto 2

Fecha	Materia seca (Kg por ha)
14/2/2022	5000

Fuente: Facultad de Veterinaria

Si se compara el rendimiento promedio de estas parcelas con la de cultivares de secano según la Evaluación Nacional de Cultivares (INASE, 2020) se observa un bajo rendimiento del cultivo ya que ésta última muestra un valor de 9600 MS kg/ha. Las diferencias en la productividad pueden deberse a un periodo de sequía prolongado en la zafra verano 2022 más allá de las diferencias propias de la experimentación realizada en campo experimental.

### Calidad vegetal

Los resultados de composición mineral del maíz se presentan en la Tabla siguiente. Es especialmente llamativo que la muestra proveniente del testigo tenga valores de concentraciones mayores que la muestra de aplicación del estiércol.

Tabla 43 Medición de otras variables en maíz

Piloto 2	Testigo	Aplicación Estiércol
N org (%)	4	1,8
P tot (%)	0,31	0,18
K (%)	2,2	0,84
S (%)	0,19	0,13
Ca (%)	0,9	0,5
Mg (%)	0,5	0,6
B (mg/kg)	36	13
Cu (mg/kg)	12	4
Fe (mg/kg)	333	489
Mn (mg/kg)	188	193
Mo (mg/kg)	3	3
Zn (mg/kg)	22	9

Fuente: Laboratorio LAAI

El cultivo con aplicación de estiércol tiene un nivel de nitrógeno acorde con la biomasa producida, no así el maíz de la parcela testigo. La falta de valores diferenciados por parcela no permite profundizar en el análisis. Es importante mencionar que el momento de muestreo fue realizado en el estado fenológico R5 y por lo tanto no hay valores de referencia para el diagnóstico nutricional.

La relación N:P:K en ambas parcelas se mantuvo dentro de lo esperado.

## INDICADORES DE SUELO

### Densidad aparente

Tabla 44 Resultados de Densidad aparente en Piloto 2

	Piloto 2	2022
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Testigo Estiércol. Punto 1.1	1,25
	Testigo Estiércol. Punto 1.2	1,09
	Testigo Estiércol. Punto 2.1	1,31
	Testigo Estiércol. Punto 2.2	1,28
	Testigo Estiércol. Punto 3.1	sd
	Testigo Estiércol. Punto 3.2	1,24
	Testigo Estiércol. Punto 4.1	1,31
	Testigo Estiércol. Punto 4.2	sd
	Aplicación Estiércol. Punto 1.1	sd
	Aplicación Estiércol. Punto 1.2	1,21
	Aplicación Estiércol. Punto 2.1	1,30
	Aplicación Estiércol. Punto 2.2	1,40
	Aplicación Estiércol. Punto 3.1	1,31
	Aplicación Estiércol. Punto 3.2	1,36
	Aplicación Estiércol. Punto 4.1	sd
	Aplicación Estiércol. Punto 4.2	1,33

sd: sin dato

Fuente: Laboratorio de Suelos del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca

Realizando la prueba de Fisher para comparación de medias se obtiene como resultado los siguientes valores de densidad aparente.

Tabla 45 Comparación de medias de Densidad aparente en los Pilotos

Piloto	Tratamiento	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
2	Testigo Estiércol	1,25 (0,064) a
2	Aplicación Estiércol	1,32 (0,082) a

Fuente: Elaboración propia. Letras diferentes indican diferencia estadística por Test de Fisher con  $p$ -valor  $< 0,05$ .

Con base a los resultados las densidades aparentes de los diferentes tratamientos no son diferentes y están dentro de los valores para suelos del Uruguay.

### Carbono orgánico

El muestreo de suelo para análisis de variables químicas se realizó el 16 de mayo correspondiente a la estación otoñal. Los resultados de carbono orgánico en suelo de las dos parcelas se presentan a continuación.

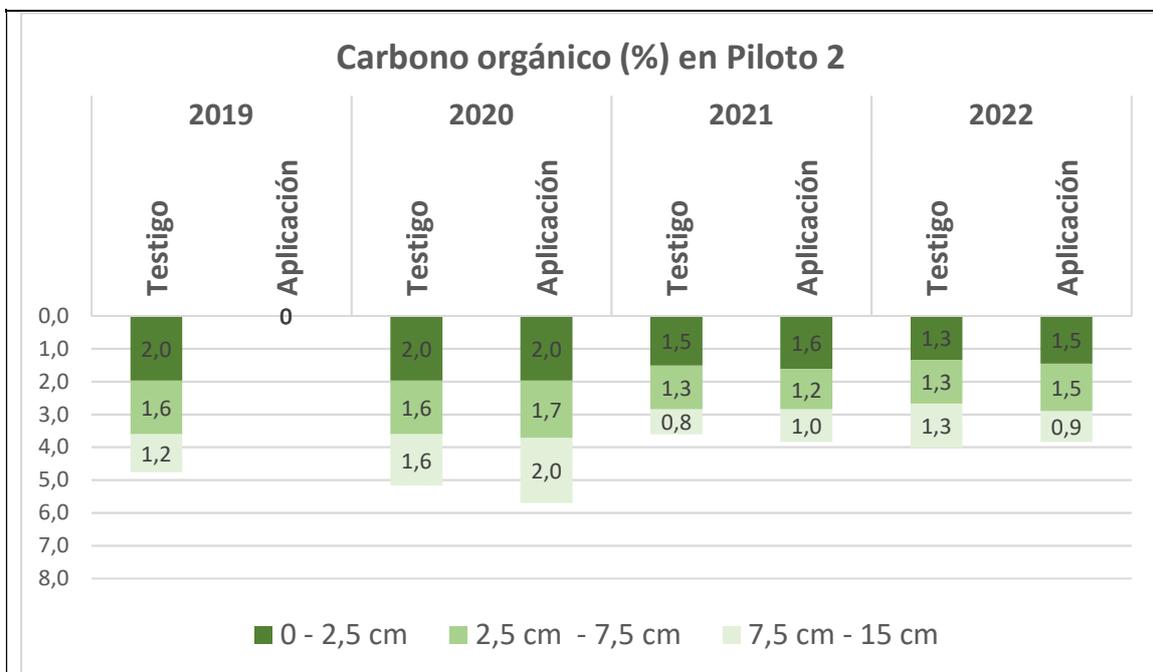
Tabla 46 Resultados de laboratorio de carbono orgánico, en chacra testigo y tratada con estiércol

Carbono orgánico (%)	2022	2022
	Testigo	Aplicación de estiércol
0-2,5 cm	1,3	1,5
2,5 - 7,5 cm	1,3	1,5
7,5 -15 cm	1,3	0,9

Fuente: Laboratorio LAAI

La figura a continuación muestra la evolución de los datos de carbono orgánico, para las parcelas del Piloto 2.

Figura 29 Evolución de los datos de Carbono orgánico en el Piloto 2, con aplicación de estiércol al terreno



Los números dentro de las barras corresponden al valor de carbono orgánico medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de carbono orgánico.

Fuente: Elaboración propia en base a laboratorio LAAI.

Si se comparan los valores de la parcela testigo con la de aplicación de estiércol los resultados están dentro del orden de magnitud y con valores similares. Por otro lado, en el transcurso de los 4 años se observa en las dos parcelas una tendencia a la disminución del carbono orgánico en todos los estratos si se compara con la situación del 2019.

Si analizamos los resultados interanuales la diferencia entre el 2020 y el 2021 podría deberse al barbecho previo a la siembra del verdeo invernal (Avena y Raigras). El barbecho promueve la pérdida de materia orgánica por respiración y erosión.

La rotación existente en estas dos parcelas es maíz en el periodo estival (oct a febrero) con avena y raigrás con pastoreo en otoño-invierno. Este sistema de cultivo continuo provocaría la pérdida de carbono y no se observa una mitigación por la incorporación de la PMSS.

En el manejo del estiércol se observa en campo que la aplicación dentro de la parcela tuvo una superficie variable, no llegando a cubrir las 8,4 ha definidas al momento del diseño del sistema. Esto puede deberse a que el rodeo animal al momento de la definición del área era superior al actual.

Este aspecto refleja la realidad productiva de los establecimientos de Uruguay, con la complejidad a la que deben enfrentarse al tratar de adecuar las definiciones de diseño a las de manejo.

### Tasa de respiración

Los resultados obtenidos en laboratorio para la Tasa de respiración se muestran en la siguiente tabla. Los datos se encuentran dentro de los rangos de los resultados de trabajos realizados en Uruguay.

Tabla 47 Tasa de respiración para Piloto 2

Piloto 2		2022
Tasa de respiración (mg CO <sub>2</sub> /100 g)	Testigo de estiércol, 0-15 cm	58,2
	Aplicación de estiércol 0-15 cm	51,6

Fuente: Laboratorio Ecotech

No se aprecian diferencias sustanciales entre las dos parcelas.

### Actividad Biológica

Los resultados de actividad enzimática por deshidrogenasa se presentan a continuación.

Tabla 48 Resultados de laboratorio de actividad microbiana para el Piloto 2

Piloto 2	Actividad deshidrogenasa (ug INTF/g suelo seco)
Testigo muestra 1	40,65

Testigo muestra 2	41,43
Testigo muestra 3	35,94
Estiércol muestra 1	36,11
Estiércol muestra 2	29,51
Estiércol muestra 3	25,94

Fuente: Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Agronomía UDELAR

Luego del análisis estadístico de los resultados se obtienen los siguientes valores para la actividad deshidrogenasa.

Tabla 31 Actividad biológica en Piloto 2

Piloto 2	Actividad deshidrogenasa (ug INTF/g suelo seco)
Testigo	39,34 a
Aplicación estiércol	30,52 a
p valor	0,0623

Fuente: Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Agronomía UDELAR. Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas por Test de Tuckey con p-valor < 0,05, n=3

Tal como muestran los valores no se presentan diferencias entre los tratamientos por lo que no habría afectación en la actividad biológica bajo esta variable y las condiciones de muestreo.

Variables adicionales

A continuación, se muestran los resultados de otras variables analizadas en suelo.

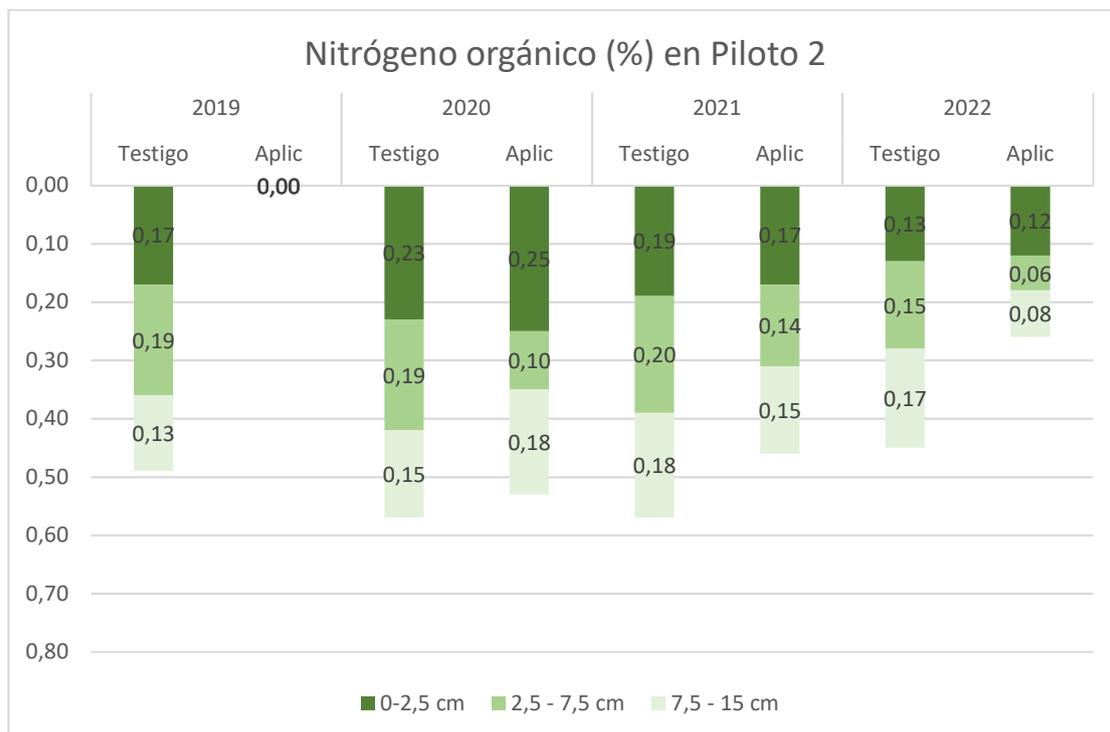
Tabla 49 Resultados de Nitrógeno Orgánico en suelo para testigo y aplicación de estiércol, junto con los resultados del proyecto Biovalor

		2019		2020		2021		2022	
		Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
<b>Nitrógeno Orgánico (%)</b>	0 - 2,5 cm	0,17	NA	0,23	0,25	0,19	0,17	0,13	0,12
	2,5 - 7,5 cm	0,19	NA	0,19	0,10	0,20	0,14	0,15	0,06
	7,5 - 15 cm	0,13	NA	0,15	0,18	0,18	0,15	0,17	0,08

NA: No aplica ya que no se estaba aplicando estiércol

Fuente: Laboratorio LAAI

Figura 30 Nitrógeno Orgánico en Piloto 2, representando los estratos como columna apilada



Los números dentro de las barras corresponden al valor de nitrógeno orgánico medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de nitrógeno orgánico.

Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI

Se observa un descenso de nitrógeno orgánico lo cual es coherente con la evolución del carbono en estas parcelas. El resultado de nitrógeno en el estrato 2,5-7,5 cm en la parcela con aplicación es especialmente bajo. Es posible que el agregado del estiércol promoviera la mineralización de la materia orgánica en el suelo y el nitrógeno mineral resultante (mayormente nitrato) se pierda por lixiviación y un menor porcentaje por desnitrificación.

A continuación, se presenta los valores de fósforo total y fosforo Bray 1.

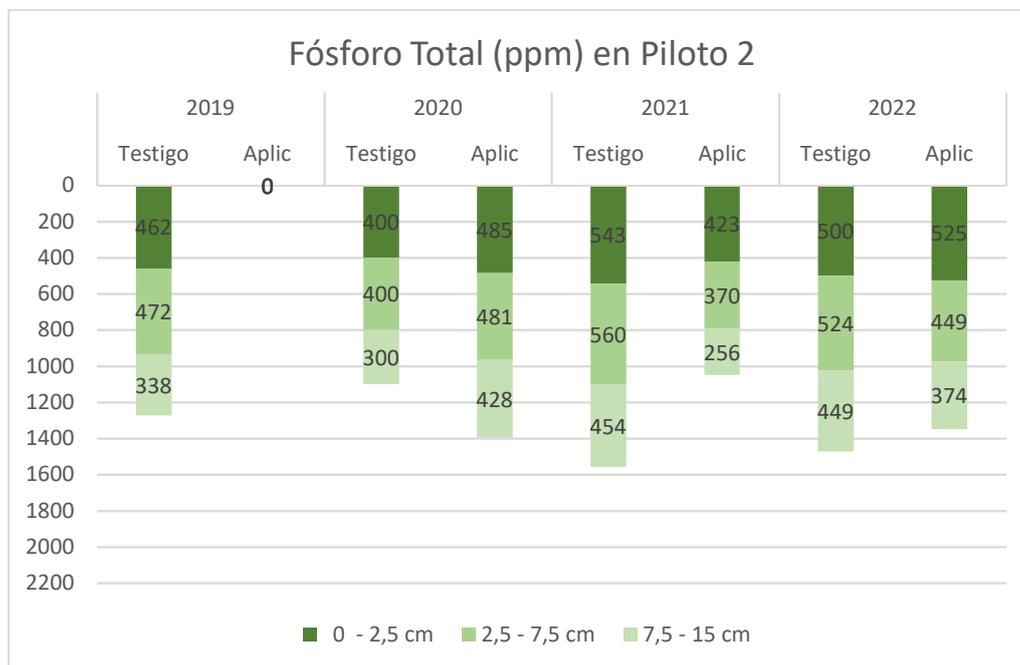
Tabla 50 Resultados de Fósforo Total en Piloto 1, junto con los resultados del proyecto Biovalor

Fosforo Total (ppm)	2019		2020		2021		2022	
	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
0 - 2,5 cm	462	NA	400	485	543	423	500	525
2,5 - 7,5 cm	472	NA	400	481	560	370	524	449
7,5 - 15 cm	338	NA	300	428	454	256	449	374

NA: No aplica ya que no se estaba aplicando estiércol

Fuente: Laboratorio LAAI

Figura 31 Fósforo Total en suelo del Piloto 2, representando los estratos como columna apilada



Los números dentro de las barras corresponden al valor de fósforo total medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de fósforo total.  
Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI

En este sistema no se ve grandes cambios en los valores de fósforo total por estrato ni por tratamiento. El laboreo ha evitado la estratificación.

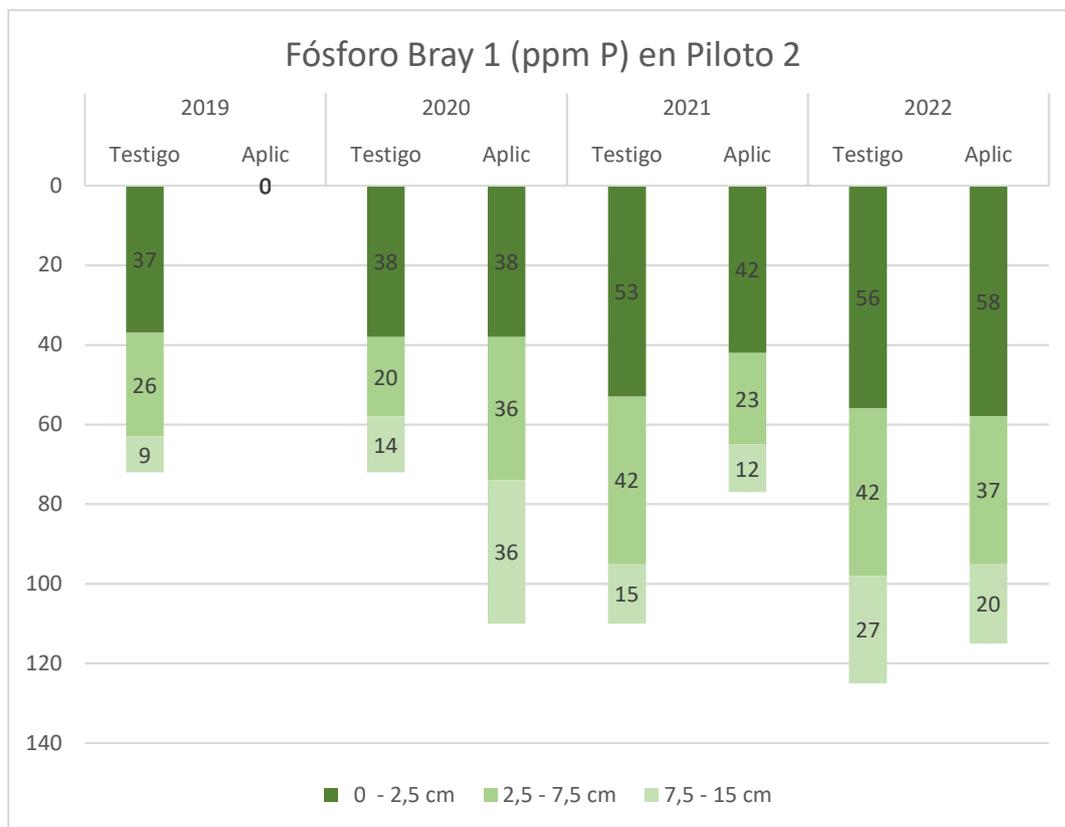
Los valores están dentro de lo esperado acorde al contenido de arcilla y el ajuste de la fórmula de Hernandez *et al.* 1995.

Tabla 51 Resultados muestreo de Fósforo Bray 1 del Piloto 2, junto con los resultados del proyecto Biovalor

Fósforo Bray 1 (ppm)		2019		2020		2021		2022	
		Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
	0 - 2,5 cm	37	NA	38	38	53	42	56	58
	2,5 - 7,5 cm	26	NA	20	36	42	23	42	37
	7,5 - 15 cm	9	NA	14	36	15	12	27	20
	Prom 0-15 cm	19	NA	20	36	30	21	37	32

NA: No aplica ya que no se estaba aplicando estiércol  
Fuente: Laboratorio LAAI

Figura 32 Fósforo Bray 1 en Piloto 2, representando los estratos como columna apilada



Los números dentro de las barras corresponden al valor de fósforo Bray 1 medido en cada estrato de muestreo. En el eje Y se representan los valores acumulados de porcentaje de fósforo Bray 1. Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI

Los resultados en la parcela con aplicación son consistentes con la medida de manejo en el sentido que incrementaron los niveles de fósforo Bray 1 en todos los años, por encima de lo esperable para un suelo sin fertilización. Con esta estrategia se superó el nivel crítico del cultivo (14-16 ppm Bray 1) y el máximo aceptable para los suelos de la cuenca (31 ppm Bray 1)

Los altos valores vistos en la parcela testigo responden a la fertilización química con fósforo ya que, el valor de P Bray 1 promedio en 15 cm es 37 ppm Bray 1 superior al valor esperable en suelos no fertilizados (Hernandez *et. al.* 1997).

Al igual que en las parcelas del Piloto 1 se recomienda revisar las estrategias de manejo y cultivo.

Los resultados de pH en las unidades se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 52 pH en unidades testigo y aplicación de estiércol del Piloto 2

pH		2019		2020		2021		2022	
		Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic	Testigo	Aplic
	0 - 2,5 cm	4,9	NA	5,2	5,0	5,7	5,6	4,9	5,0
	2,5 - 7,5 cm	4,6	NA	5,0	4,9	5,6	5,7	5,1	5,0
	7,5 - 15 cm	4,9	NA	5,2	4,9	5,7	5,8	5,2	5,2

Fuente: Elaboración propia en base a Laboratorio LAAI

Las diferencias de pH entre el 2019 y los siguientes años se puede deber al laboreo utilizado que pudo depositar carbonatos en los horizontes superficiales.

Otras variables de suelo.

Otras variables medidas en suelo se presentan en el Anexo I: Otras variables en suelo.

## RESUMEN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

### **Evaluación del Protocolo.**

El protocolo se propone como un documento de referencia para la validación de prácticas de manejo sostenible de suelos mediante la medición de indicadores básicos de suelo relacionados con la provisión de servicios ecosistémicos.

Una de las observaciones que surge de la aplicación del Protocolo es que la alternativa de usar dos parcelas (testigo y con tratamiento) no es fácilmente aplicable a tambos comerciales ya que implica perder suelo productivo. Adicionalmente, el hecho de tener que duplicar el muestreo de indicadores implica un costo adicional. En estos casos sería más recomendable usar la estrategia de línea de base.

En relación a los datos que se recaban durante la medición de los indicadores, la existencia de planillas estándar, plataforma o aplicaciones para el registro de los datos facilitaría el seguimiento de la implementación del Protocolo. Es igualmente necesario profundizar en productores rurales en la “cultura del registro”.

Los cuatro indicadores de referencia elegidos son pertinentes para indicar la sostenibilidad del suelo ya que a partir de su evolución y/o magnitud se puede inferir un deterioro o recuperación de la calidad del suelo. De dichos indicadores se entiende que el método de análisis y los valores de referencia deben interpretarse con base a investigación nacional ya que es de conocimiento la variabilidad de los métodos analíticos y en algunos casos la escasez de información de esos indicadores. En particular la tasa de respiración y actividad biológica requieren mayor investigación para contar con todas las características de indicador ya que existen incertidumbres de momento, frecuencia y método de muestreo.

De los indicadores adicionales el pH fue relevante en el caso de la aplicación del efluente, donde se observaron leves incrementos entre 0.2 y 0.3 unidades (Tabla 40) y podría incorporarse como indicador de referencia por su condición de claridad en su interpretación, a su vez que ésta depende de su magnitud y dirección.

La metodología de evaluación de los indicadores (tablas resumen con la comparativa de indicadores medidos versus valores de referencia y de evaluación con las directrices voluntarias) resultó útil y sencilla de inferir conclusiones. Es deseable profundizar en las explicaciones de su implementación incluyendo en los casos de falta de información local.

### **Evaluación de los resultados obtenidos de los indicadores para la PMSS en los Pilotos.**

A continuación, se presentan las tablas que resumen los indicadores relevados en los dos Pilotos y la evaluación del cumplimiento de las Directrices Voluntarias de Gestión Sostenible de suelos para cada unidad de evaluación en cada unidad homogénea. Aquellos indicadores que cuentan con más de un resultado por unidad de evaluación se efectúan los cálculos aritméticos necesarios para contar con un solo resultado por unidad.

## PILOTO 1

Tabla 53 Indicadores principales del Protocolo de Evaluación del Manejo Sostenible de Suelo (FAO-ITPS, 2020), para cada unidad de evaluación

Unidad Homogénea:	Unidad de Evaluación	Materia seca (%)	Productividad (Tn/ha/año)	Carbono Orgánico del Suelo (COS) (%) <sup>*1</sup>	Densidad aparente (Mg/m <sup>3</sup> ) <sup>*2</sup>	Tasa de Respiración (mg CO <sub>2</sub> /100 g)
1	1 (Testigo)	17,5	---	1,69	1,37	52,7
1	2 (Aplicación)	27,4	---	2,16	1,40	40,9

\*1 calculado como promedio ponderado en los 15 cm de suelo de las muestras de cada estrato.

\*2 calculado como promedio de las 8 muestras extraídas

Fuente: Elaboración propia en base a Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible (FAO-ITPS, 2020)

Tabla 54 Indicadores adicionales del Protocolo de Evaluación del Manejo Sostenible de Suelo (FAO-ITPS, 2020), para cada unidad de evaluación

Unidad Homogénea <sup>1</sup> :	Unidad de Evaluación	Indicador Adicional				
		pH	N orgánico (mg/kg)	P total (mg/kg)	P Bray 1 (mg/kg)	Actividad Enzimática (µg/g)
1	1 (Testigo)	5,5	0,09	375	18	60,7
1	2 (Aplicación)	5,8	0,16	542	29	68,3

Fuente: Elaboración propia en base a Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible (FAO-ITPS, 2020)

## PILOTO 2

Tabla 55 Valores de los indicadores principales del Protocolo de Evaluación del Manejo Sostenible de Suelo (FAO-ITPS, 2020), para cada unidad de evaluación

Unidad Homogénea:	Unidad de Evaluación	Materia seca (%)	Productividad (Tn/ha/año)	Carbono Orgánico del Suelo (COS) (%) <sup>*1</sup>	Densidad aparente (Mg/m <sup>3</sup> ) <sup>*2</sup>	Tasa de Respiración (mg CO <sub>2</sub> / 100 g)
2	1 (Testigo)	19,7	---	1,34	1,25	58,2
2	2 (Aplicación)	42,7	---	1,19	1,32	51,6

\*1 calculado como promedio ponderado en los 15 cm de suelo de las muestras de cada estrato.

\*2 calculado como promedio de las 8 muestras extraídas

Fuente: Elaboración propia en base a Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible (FAO-ITPS, 2020)

Tabla 56 Valores de los indicadores adicionales del Protocolo de Evaluación del Manejo Sostenible de Suelo (FAO-ITPS, 2020) para cada unidad de evaluación

Unidad Homogénea <sup>1</sup> :	Unidad de Evaluación	Indicador Adicional				
		pH	N orgánico (mg/kg)	P total (mg/kg)	P Bray 1 (mg/kg)	Actividad Enzimática (µg/g)
2	1 (Testigo)	5,1	0,16	483	37	39,3
2	2 (Aplicación)	5,1	0,08	424	32	30,5

Fuente: Elaboración propia en base a Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible (FAO-ITPS, 2020)

Tabla 57 Evaluación del Cumplimiento de las Directivas Voluntarias de Gestión Sostenible de Suelo (DVGSS) para la Unidad Homogénea 1, Unidad de evaluación 2, Piloto 1

Unidad Homogénea:	PILOTO 1			
	1 - Unidad de Evaluación 2 – Aplicación del efluente			
Indicador MSS	Tipo de dato de referencia <sup>(1)</sup>	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =)
Productividad	2	20% mayor al Testigo	3500 kgMS/7 meses	+
Carbono Orgánico (COS)	2	2,16 %	1,69 %	+
Densidad Aparente	2	1,4 Mg/m <sup>3</sup>	1,37 Mg/m <sup>3</sup>	=
Tasa de respiración	2	40,9 mg CO <sub>2</sub> /100 g	52,7 mg CO <sub>2</sub> /100 g	=
Actividad Deshidrogenasa	2	68,33 ug INTF/g suelo seco	60,68 ug INTF/g suelo seco	=
Fósforo Bray 1	2	29 mg/kg <sup>(2)</sup>	18 mg/kg	-
<b>Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)</b>				Medio

(1) Tipos: 1-Datos de línea de base anteriores a la instalación de la práctica 2-Datos de parcela testigo, 3-Valores de Referencia (locales o regionales)

(2) Valor próximo al límite establecido para la cuenca del río Santa Lucía, aunque dentro del rango permitido

A los efectos de la comparativa de los indicadores entre la parcela testigo y aquella donde se aplica el efluente de tambo, en el Piloto 1 se confirma la circularidad de carbono orgánico y nutrientes, en particular el fósforo. Se agrega como variable destacada el fósforo Bray 1 ya que es una variable importante en este tipo de sistemas por la amenaza existente a la sobreacumulación de fósforo en el suelo y luego en las aguas.

Se partió de una parcela Testigo con valores de carbono orgánico menores a los de referencia y densidad aparente elevada, ambos síntomas de degradación. Con la práctica de manejo se logró aumentar el contenido de carbono, y con el tiempo lograr revertir el síntoma de compactación.

Considerando los niveles ya existentes de fósforo Bray 1 en el suelo se recomienda la revisión de la PMSS para continuar su implementación sin exceder el límite de fósforo Bray 1 al que está sujeto la cuenca. Para esta variable y nitrógeno también se deberían considerar los requerimientos de los cultivos y características del suelo para ajustar las dosis a aplicar.

Con el resultado del Piloto 1 se recomienda la aplicación del efluente en una superficie mayor a la definida actualmente y visualizar la aplicación en otras chacras. Otras líneas de acción pueden ir en el sentido de incorporar a la pastura especies más extractivas en fósforo tales como leguminosas o bien incluirlas puras en la rotación. Otra alternativa es incorporar especies con destino a grano de manera de “exportar” fósforo del campo. Todas estas alternativas de manejo deben ir acompañadas de un balance de nutrientes.

Aunque con la implementación de la práctica se acercó al máximo límite de fósforo Bray 1 establecido por la normativa, se entiende que la práctica cumple con el objetivo primario que era recircular los nutrientes, sustituir el uso de fertilizantes químicos y tener una adecuada gestión de los efluentes evitando su descarga directa al curso de agua, con lo cual hay un cumplimiento Medio de las DVGSS.

Existe un caso particular con el contenido de nitrógeno por haber bajado los niveles en ambas parcelas del Piloto 1 con lo cual se recomienda evaluar el requerimiento de nitrógeno del cultivo para que estos no agoten el nitrógeno del suelo.

## PILOTO 2

Tabla 58 Evaluación del Cumplimiento de las Directivas Voluntarias de Gestión Sostenible de Suelo (DVGSS) para la Unidad Homogénea 2

Unidad Homogénea:	2 - Unidad de Evaluación 2 – Aplicación del estiércol			
Indicador MSS	Tipo de dato de referencia <sup>(1)</sup>	Resultado del indicador de MSS	Dato de Referencia	Diferencia (+ o - o =) (Tabla9.1)
Productividad	2	5000 KgMS/ha	5000 KgMS/ha	=
Carbono Orgánico (COS)	2	1,19 %	1,34 %	-
Densidad Aparente	2	1,32 Mg/m <sup>3</sup>	1,25 Mg/m <sup>3</sup>	=
Tasa de respiración	2	51,6 mg CO <sub>2</sub> /100 g	58,2 mg CO <sub>2</sub> /100 g	=
Actividad Deshidrogenasa	2	30,52 ug INTF/g suelo seco	39,34 ug INTF/g suelo seco	=
Fosforo Bray 1	2	32 mg/kg	37 mg/kg <sup>(2)</sup>	=
<b>Cumplimiento de las DVGSS (No, Bajo, Medio o Alto)</b>				No

(1) Tipos: 1-Datos de línea de base anteriores a la instalación de la práctica 2-Datos de parcela testigo, 3-Valores de Referencia (locales o regionales)

(2) Valor que supera el límite establecido para la cuenca del río Santa Lucía de 31 mg/kg

En el caso del Piloto 2, la comparativa de los indicadores de suelo muestra que la PMSS no alcanza los resultados esperados.

Tanto en la parcela testigo como aplicación del estiércol el carbono orgánico está por debajo de los valores de referencia; sin embargo, es importante recordar que la práctica se viene aplicando solo hace 3 años, por lo que se deben seguir evaluado los indicadores con la finalidad de monitorear los cambios en el suelo.

De esta manera, en ambos Pilotos es necesario continuar con la medición de los indicadores para concluir sobre la sostenibilidad de la PMSS y a los efectos de aportar información por parte de la Academia que permita cuantificar el impacto de la alternativa de gestión de efluentes en tambos.

Se recomienda además complementar la circularidad de nutrientes con manejo de fertilizantes de síntesis industrial para asegurar una fertilización balanceada.

## REFERENCIAS

Facultad de Agronomía. UDELAR. Boletín de Investigaciones N°43. Formas y contenidos de fósforo en algunos suelos del Uruguay. Montevideo. Uruguay Hernandez J., Otegui O. Zamalvide J.P, 1995.

FAO-ITPS Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible. 2020

FAO TCP/RLA/3805. Taller sobre implementación de Pilotos para la Validación del Protocolo de Evaluación de Manejo Sostenible de Suelos. Anexos. 9 de diciembre de 2021

Iccardi P. Indicadores Microbianos del impacto de la Intensificación agrícola sobre la calidad del suelo en sistemas arroceros 2018.

INALE Cartilla sobre criterios de aplicación de efluente a terreno y su implicancia práctica en el diseño e implementación. 2019

INASE La mejor genética de maíz para cada sistema productivo. Boshi, Federico, Cuadro, Melisa, 2020. Revista del Plan Agropecuario.

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca Carta de Suelos Escala 1-40.000 Dirección General de Recursos Naturales. Acceso el 4/5/2022 a través del link <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/tramites-y-servicios/servicios/carta-suelos-escala-140000>

Rodriguez M., 2021 Sistemas de gestión de efluentes de tambo implementados por la academia y evaluados en un proyecto multinstitucional: estudio de casos.

Rubio V. Impacto de propiedades físico-químicas en la estabilidad estructural de molisoles Revista Ciencia del suelo. 2019

Silva Rodriguez, A, Ponce de León Zarfino, J. Cavassa, R y Reyes Camacho, W. Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambos sobre la producción de verdes y propiedades físico-químicas del suelo. 1992 (16) 16 p.

## ANEXO 1 – OTRAS VARIABLES EN SUELO

Tabla 59 Resultados de variables adicionales medidas en suelo

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (N° LAAI)		TESTIGO EFLUENTE 0-2.5 CM (204416-1)	TESTIGO EFLUENTE 2.5-7.5 CM (204416-2)	TESTIGO EFLUENTE 7.5-15 CM (204416-3)	EFLUENTE 0-2.5 CM (204416-4)	EFLUENTE 2.5-7.5 CM (204416-5)	EFLUENTE 7.5-15 CM (204416-6)
PARÁMETRO	UNIDAD						
CONDUCTIVIDAD	(uS/cm.)	139	80	64	135	86	83
ACIDEZ TITULABLE	(meq/100 g)	4.1	4.5	3.4	4.1	4.7	3.8
CALCIO	(meq.Ca/100g)	15.1	11.5	11.6	14.1	13.4	12.5
MAGNESIO	(meq.Mg/100g)	9.9	9.9	10.3	11.0	9.4	9.3
POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA)	(meq.K/100g)	0.59	0.23	0.21	0.98	0.35	0.26
SODIO INTERCAMBIABLE	(meq.Na/100g)	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4	0.6
AZUFRE	(ppm S-SO <sub>4</sub> )	14	14	14	15	15	12
BORO	(ppm)	0.6	0.5	0.7	0.8	0.6	0.7
ZINC (DTPA)	(ppm)	0.9	0.4	0.4	1.4	0.5	0.3
CIC (Cationes Intercambiables)	(meq/100 g)	30.3	26.6	26.1	30.6	28.3	26.5
BASES TOTALES	(meq/100g)	26.2	22.1	22.7	26.5	23.6	22.7
SATURACION DE BASES	(%)	87	83	87	87	83	86
(Ca+Mg)/K	—	42	93	104	26	65	84
Ca/K	—	26	50	55	14	38	48
Ca/Mg	—	2	1	1	1	1	1
K/Mg	—	0.06	0.02	0.02	0.09	0.04	0.03
Mg/k	—	17	43	49	11	27	36

Fuente: Laboratorio LAAI

Tabla 60 Resultados de variables adicionales medidas en suelo

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA (Nº LAA)		TESTIGO ESTIERCOL 0-2.5 CM (204416-7)	TESTIGO ESTIERCOL 2.5-7.5 CM (204416-8)	TESTIGO ESTIERCOL 7.5-15 CM (204416-9)	ESTIERCOL 0.25 CM (204416-10)	ESTIERCOL 2.5-7.5 CM (204416-11)	ESTIERCOL 7.5-15 CM (204416-12)
PARÁMETRO	UNIDAD						
CONDUCTIVIDAD	(uS/cm.)	40	180	139	267	149	116
ACIDEZ TITULABLE	(meq/100 g)	5.2	5.0	4.9	4.6	4.8	4.4
CALCIO	(meq,Ca/100g)	7.9	7.1	7.0	7.6	7.3	7.1
MAGNESIO	(meq,Mg/100g)	7.5	7.8	8.7	7.7	7.7	8.3
POTASIO INTERCAMBIABLE (OUA)	(meq,K/100g)	0.72	0.50	0.34	0.57	0.34	0.19
SODIO INTERCAMBIABLE	(meq,Na/100g)	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5
AZUFRE	(ppm S-SO4)	19	14	13	14	14	15
BORO	(ppm)	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8
ZINC (DTPA)	(ppm)	0.9	0.4	0.8	0.8	0.8	0.3
CIC (Cationes Intercambiables)	(meq/100 g)	21.9	20.8	21.2	20.9	20.4	20.5
BASES TOTALES	(meq/100g)	16.7	15.8	16.3	16.3	15.6	16.1
SATURACION DE BASES	(%)	76	76	77	78	77	79
(Ca+Mg)/K	---	21	30	46	27	44	81
Ca/K	---	11	14	21	13	21	37
Ca/Mg	---	1	0.91	0.80	0.99	0.95	0.86
K/Mg	---	0.10	0.06	0.04	0.07	0.04	0.02
Mg/k	---	10	16	26	14	23	44

Fuente: Laboratorio LAAI