

421

**CONVENIO ENTRE
LA UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA - FACULTAD DE AGRONOMÍA
Y LA
ADMINISTRACION DE LAS OBRAS SANITARIAS DEL ESTADO**

En la ciudad de Montevideo, el día 11 de diciembre de dos mil trece.-----

--POR UNA PARTE: La Universidad de la República, Facultad de Agronomía, en adelante FAgro-UdelaR, representada en este acto por el Señor Rector Dr. Rodrigo Arocena, y por el Sr. Decano Ing. Agr. Fernando García Préchac, con domicilio en la calle Garzón N° 780 de esta ciudad, y-----

---POR OTRA PARTE: La Administración de las Obras Sanitarias del Estado, en adelante O.S.E., representada por el Ing. Milton Machado Lens y el Dr. Gustavo Pérez Vilche, en sus respectivas calidades de Presidente y Secretario General, constituyendo domicilio en la calle Carlos Roxlo N° 1275 de esta ciudad, deciden celebrar el siguiente Acuerdo:-----

---PRIMERO. ANTECEDENTES: I) Con fecha 25 de abril de 1994, O.S.E. y la Universidad de la República celebraron un Convenio Marco con el fin de ejecutar de común acuerdo proyectos y programas de complementación técnica y científica. II) La O.S.E. en el marco del Préstamo BIRF N° 8183 - UR Proyecto OSE Sustentable y Eficiente, se encuentra en un proceso de creación y mejora de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en las cuales se generan residuos sólidos que deben ser gestionados de forma ambientalmente adecuada; en particular los lodos tienen un potencial de revalorización como mejorador de suelos en actividades agropecuarias. III) En el marco de este proceso es que el Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República y O.S.E., han resuelto colaborar con el fin de cumplir con el mencionado objetivo mediante el proyecto **“Evaluación de uso de lodos de plantas de tratamiento como mejorador de suelo”**.-----

---SEGUNDO. OBJETO: La FAgro-UdelaR y O.S.E., acuerdan:-----

- A) Analizar la aplicabilidad de lodos con diferente grado de higienización y estabilización a suelos de uso agropecuario.-----
- B) Analizar el efecto de la aplicación de lodos sobre suelos con características diferentes (ej. suelos con mayor y menor pH a nivel de invernáculo).-----
- C) Identificar las especies vegetales, para uso como pasturas y cultivos, más propicias para la utilización de lodos como enmienda a nivel de invernáculo.-----
- D) Determinar tasas de aplicación de lodos a los diferentes tipos de suelo en función de los metales pesados y probar su potencial uso como mejorador de suelo de acuerdo a lo establecido en el Proyecto, el cual se adjunta y forma parte del presente.-----

---**TERCERO. INICIO:** La fecha de inicio del Proyecto será fijada por las partes de común acuerdo.-----

---**CUARTO. PLAZO:** El plazo es de 24 meses contados a partir de la firma del presente Convenio para la realización de las actividades establecidas en el proyecto que se llevarán a cabo de acuerdo al cronograma que consta en el mismo. Se prevé de común acuerdo una extensión de 24 meses más luego de finalizado el presente proyecto para la realización de una evaluación a largo plazo-----

---**QUINTO. PRECIO:** El precio del presente asciende a la suma de US\$ 46.300,00 (dólares estadounidenses cuarenta y seis mil trescientos) O.S.E. abonará en un total de cuatro pagos a Facultad de Agronomía. Se realizará un pago inicial del cuarenta por ciento del monto total (US\$ 18.520,00), dos pagos intermedios del veinte por ciento (US\$ 9260,00) correspondientes a la entrega de informes de avances, y un pago final del veinte por ciento (US\$ 9260,00) a la entrega del informe final.-----

---**SEXTO. OBLIGACIONES:** 1) Obligaciones de O.S.E.: Proveer la caracterización de enmiendas, suelos y tejido vegetal en su contenido de patógenos y metales pesados según corresponda; dichos análisis se llevarán a cabo en las diferentes etapas del proyecto. Dentro de los análisis a realizarse por gestión de OSE se incluyen: Pb, Cr, Cr+6, Cd, As, Cu, Zn, Ni y Hg (metales exigidos por PTR), a los que se agregará de

[Handwritten signature]

[Handwritten mark]

forma complementaria: Mn, Al, Fe y Sólidos Totales. Se realizará a su vez el test de lixiviación (exigido en la PTR incluye la medición de As, Ba, Cd, Cr, Cr+6, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ag) y análisis de coliformes fecales, Salmonella y huevos de helmintos en cuanto a presencia de patógenos.-----

Realizar el transporte de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (ciudad de Canelones) a la Facultad de Agronomía en dos ocasiones, previo al inicio de los experimento a meso y macro-escala.-----

II) Obligaciones de la Facultad de Agronomía: Realizar las actividades descriptas en el Proyecto en las distintas escalas:-----

- a) Microescala: Caracterización de enmiendas y suelos en cuanto a sus propiedades físico-químicas y contenido de nutrientes.-----
- b) Mesoescala: Aplicación de sustratos a evaluar en macetas en invernáculo con suelos de diferente tipo y en distintas especies. Se analizarán los patrones de mineralización y se realizará la evaluación agronómica.-----
- c) Macroescala: Trasladar lo aplicado en invernáculo a la escala real incorporando la evaluación de diversos usos del suelo.-----
- d) Entregar informes semestrales acerca de los progresos técnicos del proyecto y un informe final con los resultados obtenidos.-----
- e) Realizar el transporte de suelos de diferente textura hacia la Facultad de Agronomía previo al inicio de los experimentos a mesoescala.-----

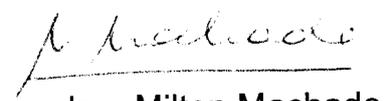
Parámetros a evaluar en cada etapa: C orgánico y C orgánico soluble, N total, N-NH₄⁺, NO₃, P total, K, Ca, Mg, Na, pH y conductividad eléctrica.-----

Los responsables del proyecto por parte de la Facultad de Agronomía comunicarán a OSE las fechas en las que se deberá realizar el transporte de lodos y la toma de muestras para análisis de laboratorio de acuerdo al cronograma establecido.-----

Los especialistas designados por la Facultad de Agronomía participarán en talleres de difusión de resultados organizados por O.S.E. al final de cada etapa (mesoescala y macroescala).-----

---**SÉPTIMO. PROPIEDAD INTELECTUAL:** a) Para la ejecución de las acciones previstas, los profesionales y técnicos intervinientes de ambas partes deberán cumplir las pautas y normas de las instituciones y unidades ejecutoras donde desempeñan actividades;-----
b) el manejo de la información y los resultados que surjan de las acciones previstas será competencia y responsabilidad de las entidades, profesionales y personal que tenga conocimiento de los mismos por su actividad. Esta información y resultados obtenidos deberán ser registrados de acuerdo a la legislación vigente, observando estricto respeto a la confidencialidad de los mismos;-----
c) la propiedad intelectual que pudiese surgir de los trabajos desarrollados, será compartida entre los firmantes del presente Convenio, conforme a las leyes y reglamentos nacionales y a la Ordenanza de Propiedad Intelectual de la UdelaR.-----
---**OCTAVO.** La presente contratación fue autorizada por Resolución de Directorio de O.S.E. número 1083/13 de fecha 28 de agosto de 2013 tramitada en el expediente número 922/13.-----
---**NOVENO.** Previa lectura, en prueba de conformidad y para constancia se suscriben tres ejemplares del mismo tenor en el lugar y fecha indicados.-----


Dr. Rodrigo Arocena
Rector UdelaR


Ing. Milton Machado
Presidente O.S.E.


Ing. Agr. Fernando García
Decano Facultad de Agronomía


Dr. Gustavo Pérez Vilche
Secretario General O.S.E.

“Evaluación del uso de lodos de plantas de tratamiento como mejorador de suelo”

Coordinación general: Unidad de Gestión Ambiental OSE – Qca. F. María Angélica Stipanovic

Coordinador del proyecto en OSE: Lic. Biol. Miriam Gerhard

Equipo de trabajo en OSE: Quím. F. Gabriel Carrasco, Lic. Quím. Dinorah Lorenzo

Coordinación en Facultad de Agronomía: Dra. Amabelia del Pino

1. Introducción

Los lodos o barros provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales son generados mediante un proceso biológico aerobio y/o anaerobio que emplea microorganismos para degradar los compuestos orgánicos. El sistema se compone de un reactor aireado artificialmente seguido por un sedimentador que cumple la función de separar la biomasa suspendida en la fase líquida. La biomasa separada en el sedimentador secundario se la recircula al reactor, una fracción de dicha biomasa se elimina como barros (purga de barros). Dichos lodos conforman un sustrato de elevada humedad y materia orgánica, con contenidos variables de nutrientes, metales pesados y presencia de patógenos (virus, bacterias y huevos de helmintos) (Fernandes y Pereira Da Silva, 1999). Estas características le permiten presentar un potencial uso benéfico como mejorador de suelo para actividades agropecuarias, pero también implica un riesgo a nivel sanitario y ambiental (Suárez, 1998).

Existen diversos mecanismos de higienización y estabilización del lodo, de forma tal de reducir la carga de patógenos que presenta el mismo así como la materia orgánica volátil, dentro de los más difundidos se encuentran el agregado de cal (Fernandes *et al.*, 2001), acidificación (Barrios *et al.*, 2004), compostaje (Laos *et al.*, 2000, Peralta *et al.*), entre otros. En este marco, la aplicación de los lodos de depuradoras al suelo se encuentra limitada por la presencia de metales pesados, lo cual fija en última instancia las posibles tasas de aplicación así como el tipo de emprendimiento al cual se le podría aplicar dicho sustrato. Uno de los factores a ser tomados en cuenta es la especie que se pretende cultivar en el suelo mezclado con lodo, ya que la capacidad de acumulación y tolerancia a metales por parte de vegetales es especie-específica (Rodríguez *et al.*, 2006; Pastor y Hernández, 2009; Ruiz & Armienta, 2012).

En Uruguay, la creciente generación de lodos provocada por el aumento de redes y plantas de tratamiento ha hecho que sea una línea de gestión prioritaria. La disposición final actual de lodos de PTARs de OSE incluye 7 plantas que envían sus residuos a vertederos municipales, 10 que estacionan el lodo en predios de las propias plantas y 1 caso en el cual son utilizados para suelos de producción lechera (Relevamiento UGA, 2012). Hoy en día la producción de lodos alcanza aproximadamente 40 a 60 ton/día (IAOs), tendencia que aumenta con la construcción y operación de nuevas plantas. Por otra parte, no existen estudios en nuestro país sobre la aplicación de lodo en suelo en cuanto a la evaluación de su contenido en metales pesados. Existen algunos estudios preliminares sobre aplicación de lodos como mejorador en suelos cultivados que muestran resultados positivos en la producción obtenida (Gilsanz *et al.*, 2012). Uno de los mayores desafíos que presenta la aplicación de lodos al suelo es la propuesta técnica de normativa, generada por la Dirección Nacional de Medio Ambiente, para la



disposición de residuos sólidos de actividades industriales, agroindustriales y servicios; es decir no específica para los lodos en cuestión (biosólidos). La misma posee niveles de exigencia sumamente rigurosos, en virtud de que abarca hasta residuos peligrosos, en comparación con normativas regionales e internacionales específicas de lodos de PTAR's, en cuanto a la concentración de metales pesados permitidos, limitando el uso de los mismos. A esto se le suma el hecho de que no existe una línea de base sobre el contenido de metales pesados en suelos rurales, que permita fijar valores de referencia para la protección del suelo, así como definir los valores del suelo para la reutilización de materiales y residuos, y calcular niveles críticos y tolerables (Peris, 2006).

1.1. Objetivo general:

Analizar el uso de lodos de plantas de tratamiento de diferente grado de higienización y estabilización en diversos escenarios de tipo de suelo y usos.

1.2. Objetivos específicos:

- Analizar la aplicabilidad de lodos con diferente grado de higienización y estabilización a suelos de uso agropecuario
- Analizar el efecto de la aplicación de lodos sobre suelos con características diferentes (ej, suelos con mayor y menor pH a nivel de invernáculo)
- Identificar las especies vegetales, para uso como pasturas y cultivos, más propicias para la utilización de lodos como enmienda a nivel de invernáculo.
- Determinar tasas de aplicación de lodos a los diferentes tipos de suelo en función de los metales pesados y probar su potencial uso como mejorador de suelo

2. Metodología

2.1. Microescala: Análisis de laboratorio

En una primera instancia se evaluarán las características generales de la matriz a utilizar como enmienda, así como el sustrato receptor. Esto permitirá ajustar la metodología a utilizar en los experimentos a meso escala. Se realizarán dos experimentos a diferentes escalas de aplicación de sustratos al suelo. En ambos casos se aplicarán dosis variables del material para su estudio y se realizará un monitoreo del sistema suelo-planta desde el punto de vista productivo y ambiental.

Se tomará como materia prima a ser analizada diferentes estados del lodo de plantas de tratamiento: lodo fresco, lodo higienizado con cal y lodo compostado. Los tres sustratos serán caracterizados en cuanto a sus propiedades físico-químicas, contenido de nutrientes, metales pesados y patógenos. La fracción a ser caracterizada de cada sustrato se tomará mediante un muestreo integrado del sustrato (UNE EN ISO 5667-13). A este trabajo inicial se le suma la realización de trabajo periódico de laboratorio en las diversas etapas del proyecto.

La caracterización a realizarse es la siguiente:

Análisis físico-químico por parte de Fac. de Agronomía

- Se realizarán muestreos sucesivos del material obtenido durante 5 meses a fin de estudiar la variabilidad en su composición. Las muestras serán almacenadas en frascos de plástico a 4°C para su posterior análisis. Dicho análisis se realizará en paralelo a los experimentos de invernáculo.
- Se determinará densidad aparente de los materiales.
- Se determinará materia seca por gravimetría de las muestras secadas a 60 °C por 48 horas.
- C orgánico y C orgánico soluble se determinarán por oxidación con $K_2Cr_2O_7$ en H_2SO_4 (Nelson y Sommers, 1996) y determinación colorimétrica (600 nm).
- El N total por el método de Kjeldahl, por mineralización con H_2SO_4 concentrado a 370°C y posterior destilación con NaOH recogiendo el destilado en H_3BO_3 y titulando con HCl.
- El $N-NH_4^+$ se determinará colorimétricamente según el método de Berthelot (Rhine et al., 1998) y NO_3
- Se determinará P total por el método colorimétrico con ácido ascórbico (Murphy y Riley, 1962).
- El K, Ca, Mg y Na por absorción y emisión atómica de muestra calcinada durante 5 horas a 550°C.
- pH y conductividad eléctrica se determinará con electrodos específicos

Por parte de OSE:

Se realizarán los muestreos de suelos y enmiendas y se llevarán las muestras a un laboratorio externo para realizar una caracterización completa en cuanto a metales pesados y patógenos.

Parámetros:

- Microbiológicos: coliformes fecales, Salmonella y huevos de helmintos
- Metales pesados: Pb, Cr, Cr+6, Cd, As, Cu, Zn, Ni y Hg (metales exigidos por PTR), a los que se agregará de forma complementaria: Mn, Al, Fe y Sólidos Totales
- Test de lixiviación: La PTR a su vez exige la realización de un test de lixiviación, en el mismo se deben analizar: As, Ba, Cd, Cr, Cr+6, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ag.

2.2. Experimento a Mesoescala

Descripción general

En base a las características del sustrato se evaluará de forma preliminar el efecto del material sobre algunas propiedades del suelo y del sistema suelo-planta en condiciones controladas. A nivel de invernáculo se aplicarán los tres sustratos a evaluar en macetas conteniendo suelos de diferente tipo (un suelo predominantemente arcilloso y otro arenoso). De esta manera se generan tratamientos con dos tipos de suelo, tres enmiendas y dos dosis de aplicación. Los suelos serán extraídos de diferentes zonas del Uruguay (Canelones y San José) y transportados a la estación experimental.

El suelo a ser utilizado en los experimentos de invernáculo será caracterizado al igual que el lodo, esto permitirá realizar una evaluación de las tasas de aplicación para los diferentes tipos de suelos sin que su calidad sea afectada. Esto se realizará a nivel de contaminantes como

metales pesados, así como contenido de materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica, contenido de nutrientes disponibles (P asimilable, y bases intercambiables: Ca, Mg, K y Na). Se realizará un seguimiento de las características de la mezcla (MO, N mineral, contenido de bases, P asimilable) para controlar su evolución. La producción primaria es evaluada cortando biomasa aérea a los cultivos de forma periódica, se miden nutrientes (N y P) y micronutrientes en el tejido vegetal (N, P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn; Del Pino *et al.*, 2012) para su evaluación agronómica, así como elementos de interés para su evaluación ambiental (Pb, Cd, Cr As, Hg y Ni; Peris, 2006).

También se realizará un experimento demostrativo de invernáculo con el fin de evaluar la acumulación de repetidas aplicaciones de lodos sobre algunas especies de interés. Se elegirán 5 especies de uso ampliamente distribuido y se le aplicará una dosis elevada de lodo. De esta forma se busca evaluar la acumulación de metales en tejido vegetal verificando la variabilidad entre las diferentes especies.

2.2.1. Patrones de mineralización

Los patrones de mineralización (capacidad de pasaje de los nutrientes de lodos a formas disponibles para la vegetación) de los lodos serán estimados a partir de incubación en condiciones controladas. Para ello se incorporarán los lodos al suelo, en dosis similar a la propuesta para ser utilizada en el campo (Equivalente a dosis de 0, 60 y 120 kg de P_2O_5 /ha incorporados a 20 cm de profundidad), y se incubarán a una humedad equivalente a capacidad de campo y 25°C durante 90 días. Las dosis de enmiendas se fijarán a partir de la concentración de P, utilizando una dosis considerada normal en situaciones de producción (60 kg de P_2O_5 /ha) y otra del doble, (120 kg de P_2O_5 /ha). El énfasis en la aplicación de P se debe a que su alta concentración en el suelo puede provocar efectos adversos sobre la calidad de aguas superficiales (eutrofización) a través de la erosión y arrastre. A nivel país se están tomando medidas para evitar dicho fenómeno en actividades productivas. Debido a que los lodos de PTAR poseen altas concentraciones de P, y la OSE pretende continuar con la línea de mitigar el input de nutrientes en niveles que puedan provocar eutrofización se evaluarán dosis similares a las utilizadas a nivel de producción. Cabe destacar que no se conoce con exactitud la reactividad del P de las enmiendas. Si de la incubación resultara que este elemento no está disponible para las plantas en forma comparable al agregado con los fertilizantes (determinado por análisis de suelos) se evaluarán dosis mayores en el experimento de campo.

Se extraerán muestras de la mezcla de lodos con suelo para determinar su contenido en nutrientes disponibles para las plantas a las 2, 4, 8 y 12 semanas. Se determinará semanalmente la evolución de CO_2 (respiración microbiana).

El suelo se secará a 40 °C y se molerá. El N mineral del suelo se extraerá con KCl 2M y se determinarán $N-NO_3^-$ y $N-NH_4^+$ por colorimetría (Mulvaney, 1996 y Rhine *et al.*, 1998 respectivamente). El P asimilable se determinará por Bray N°1 (Bray y Kurtz, 1945). Las bases intercambiables se extraerán con acetato de amonio 1 M a pH 7, y se determinarán Ca y Mg por absorción atómica y K y Na por emisión (Isaac y Kerber, 1971). El pH se determinará por potenciometría (Relación suelo:agua 1:1). Para la determinación de la evolución de CO_2 se colocará el suelo en frascos herméticos conteniendo un vial NaOH 0,25 M. Una vez por semana se estimará el C respirado titulando con HCl 0.1 M el NaOH remanente, restando el CO_2 del aire atrapado en dos frascos sin suelo.

2.2.2. Evaluación Agronómica

Para este experimento se tomarán dos suelos contrastantes en textura, y se realizará la aplicación de lodos en dosis correspondientes a las utilizadas en la incubación aplicaciones en macetas de 3 kg. Se mezclarán los lodos con el suelo simulando un laboreo y se agregará agua hasta llegar a capacidad de campo. Se sembrará raigrás o sudangrás (la elección dependerá de la época del año en que se inicie el experimento) en las macetas. Cada tratamiento tendrá tres repeticiones, así como parcelas control incluyendo los diferentes tipos de suelo y cultivos. Las especies propuestas para este experimento raigrás y sudangrás, son gramíneas extensamente usadas en producción ganadera y lechera en Uruguay. Estas gramíneas se adaptan a este tipo de experimento de invernáculo ya que son de rápido crecimiento, tienen un desarrollo radicular vigoroso, y por lo tanto alta extracción de nutrientes y permiten realizar varios cortes durante el ciclo ya que tienen capacidad de rebrote.

El verdeo se cortará periódicamente (en tres ocasiones) a fin de evaluar la liberación de nutrientes de los lodos en comparación a los testigos sin enmienda orgánica. Se estimará el rendimiento en biomasa, así como el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn en el forraje. Para el análisis de N se utilizará el método Kjeldahl, en tanto que los demás nutrientes se determinarán en muestras calcinadas a 550°C durante 5 horas.

Se realizará el muestreo de suelos al principio y al final del ciclo del verdeo. Se medirá la evolución de las variables del suelo que se detallan a continuación: Contenido de materia orgánica (MO), fraccionamiento físico de MO, formas minerales de N (Mulvaney, 1996), contenido de bases (Ca, Mg, Na y K) intercambiables, P disponible (Bray N° 1), pH, conductividad eléctrica y metales pesados.

2.2.3. Experimento demostrativo: Evaluación de acumulación de metales en diferentes especies.

Se realizará un experimento demostrativo a fin de evaluar el crecimiento, la absorción de Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb, y la respuesta a la aplicación de lodos para 5 especies de interés agronómico (tomate, alfalfa, achicoria, tabaco, sudán-grass). La elección de las especies no se realizó únicamente por ser especies sembradas en Uruguay, sino por ser dicotiledóneas (excepto sudangrás), las cuales son citadas como de mayor capacidad de absorción de metales pesados que las monocotiledóneas. El sudangrás se escogió como control, debido a que es la especie a utilizar en el experimento de campo.

Preparación del suelo. Se simulará una situación de aplicaciones de lodos durante varios años. Para ello se plantea usar dosis altas de lodos (20 veces superior a la máxima evaluada en el experimento macetero). Se realizó un cálculo estimativo de dosis, basado en datos de composición de lodos de los análisis hechos anteriormente (Materia seca = 17 %; P = 2%). Según este cálculo la dosis máxima de lodos (120 kg de P₂O₅/ha) sería aproximadamente equivalente a 15 toneladas de material fresco por hectárea. Estas dosis de material fresco se ajustarán luego de analizar los lodos a utilizar, ya que pueden variar en composición. El lodo se aplicará al suelo en forma fraccionada, mezclándose 3 veces, durante un período de un año

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

en el cual no se cultivará el suelo. Se mantendrá un tratamiento control, sin aplicación de lodos, en ambos tratamientos se controlará la humedad del suelo, manteniéndose un nivel de aproximadamente 2/3 de su capacidad de campo. Antes de la siembra se realizará un riego con agua en exceso, para evitar la acumulación de N mineral proveniente de los lodos, que puede ser perjudicial para los cultivos. El agua de drenaje proveniente de este riego se colectará, se medirá el volumen y se analizará su contenido de Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb.

Siembra. Se aplicará la dosis máxima evaluada en el experimento macetero a los suelos tratados anteriormente. Con los suelos tratados y el control se llenarán recipientes con el equivalente a 5 kg de suelo seco por maceta. Se sembrarán las siguientes especies: tomate, alfalfa, achicoria, tabaco, sudán-grass (3 plantas por maceta). Se realizarán 3 repeticiones de cada tratamiento.

Evaluación. Se realizará la cosecha de las plantas a los 90 días de instalado el experimento. Se evaluará la biomasa producida (g/planta), separándose las fracciones: parte aérea y raíces, y se analizará su contenido de P, N, Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb en el material vegetal. Se analizará la disponibilidad de P, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb en el suelo, mediante extracción con solución Mehlich 3 (Mehlich, 1984). Esta metodología de extracción se eligió ya que se trata de un extractante que ha sido utilizado con cierta frecuencia a nivel de investigación para determinar P asimilable, mostrando buen comportamiento en suelos de diferentes textura, pH y manejo anterior. También existe un antecedente de utilización de la solución Mehlich 3 como extractante para determinación de Cu, Fe, Mn y Zn en un suelo de Canelones, demostrando ser capaz de discriminar entre diferentes manejos de suelos (Monteverde, 2012).

Análisis realizados por OSE

Se realizará por OSE la toma de muestras en cada tratamiento así como de tejido vegetal y se llevarán a un laboratorio externo para una caracterización completa de materiales en cuanto a metales pesados y patógenos.

2.3. Experimento a Macroescala

En una segunda etapa de este estudio se pretende trasladar lo aplicado en invernáculo a la escala real, evaluando los posibles tipos de usos para su aplicación. Se buscará la mejor alternativa de aplicación, teniendo en cuenta las características físicas de los lodos y compost. Cabe destacar que el experimento de macroescala no implica la evaluación de formas de aplicación de los materiales.

Una vez obtenidos los resultados a mesoescala se escogerá uno de los tipos de suelo para la aplicación de lodos y su efecto en la producción. Los materiales a evaluar como enmienda en el campo serán los mismos que los de invernáculo. Se realizarán parcelas en campo de 4 m de ancho por 6 m de largo. En estas parcelas se incorporarán los diferentes materiales en dos dosis, dejando un tratamiento control sin agregado. Los tratamientos se dispondrán aleatoriamente en el campo con 3 repeticiones. En este experimento se cultivarán las especies escogidas en base a resultados obtenidos en la primera fase. Se realizarán dos cultivos sucesivos (un año de evaluación), aplicándose nuevamente las enmiendas a la siembra del segundo cultivo, en las mismas dosis utilizadas anteriormente en cada parcela, manteniéndose una parcela control con igual tratamiento pero sin adición de lodos. Se considera más

adecuada la aplicación a la siembra de cultivos y pasturas, que el uso en cultivos instalados ya que permite la incorporación al suelo, evitando que la enmienda pueda sufrir erosión o arrastre, al estar en superficie. Por otro lado, al aplicar la enmienda a la siembra se aleja en el tiempo el momento de consumo respecto a la aplicación, permitiendo al suelo ejercer su efecto de desactivación biológica en relación a posibles patógenos de los materiales.

A su vez se realizará un experimento de campo en un suelo con alto grado de degradación, con el fin de evaluar el lodo para la recuperación de suelos degradados. La condición de degradación se evaluará a partir de la pérdida de MO en comparación con la condición original del suelo. Para el experimento se buscará una situación donde la pérdida de MO sea mayor a 30% del contenido original, situación que es frecuente en suelos de la zona hortícola de Canelones (García de Souza et al., 2011). Como en el caso anterior se realizarán caracterizaciones completas del suelo y enmiendas.

En cuanto a las obligaciones de cada parte, se mantienen para esta etapa los criterios utilizados en los experimentos a mesoescala.

Usos a ser evaluados:

Una vez obtenidos los resultados de los experimentos de mesoescala se realizará una ronda de consultas (talleres) a instituciones y técnicos de producción a fin de evaluar la posibilidad del uso de las enmiendas en las siguientes producciones.

- Pradera: Para ganadería y Lechería
- Horticultura: Elección de especies tomando en cuenta el tema de acumulación de metales, así como restricciones por contaminación biológica
- Como mejorador de suelos degradados (mejora estructural, aumento de MO y nutrientes).
- Viveros de plantas ornamentales
- Floricultura
- Forestal
- Agricultura extensiva

Esta etapa se basa en la necesidad de información para determinar la aplicación en alguna región del país, teniendo en cuenta el medio receptor y factores como el contexto agrícola, disponibilidad vial, hidrología, aspectos socio-económicos, entre otros (Fernandes, 2001).

Monitoreo a largo plazo: Se prevé de común acuerdo una extensión de 24 meses más luego de finalizado el presente proyecto para la realización de una evaluación a largo plazo.

Muestreos a ser realizados:

1. Microescala:

Muestra	Suelo	Lodo fresco	Lodo + cal	Lodo compost
OSE	Metales pesados	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos
Fac. Agronomía	Nutrientes: C, N, P, K, Ca, Mg, Na	Nutrientes: C, N, P, K, Ca, Mg, Na	Nutrientes: C, N, P, K, Ca, Mg, Na	Nutrientes: C, N, P, K, Ca, Mg, Na

2. Mesoescala:

2.1 Patrones de mineralización

Muestra	Tratamientos		
	Lodo fresco	Lodo + cal	Lodo compost
OSE	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos
Fac. Agronomía	MO, pH, K, Ca, Mg y Na intercambiables, P disponible, NO ₃ , NH ₄ , CO ₂	MO, pH, K, Ca, Mg y Na intercambiables, P disponible, NO ₃ , NH ₄ , CO ₂	MO, pH, K, Ca, Mg y Na intercambiables, P disponible, NO ₃ , NH ₄ , CO ₂

2.2 Evaluación agronómica.

Muestra	Suelo inicio (tratamientos)	Suelo fin ciclo	Control	Cultivo corte 1	Cultivo corte 2
OSE	Realizado anteriormente	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados	Metales pesados
Fac. Agronomía	Realizado anteriormente	MO, pH, K, Ca, Mg y Na intercambiables, P disponible, NO ₃ , NH ₄	MO, pH, K, Ca, Mg y Na intercambiables, P disponible, NO ₃ , NH ₄	N, P, K, Ca, Mg, Na	N, P, K, Ca, Mg, Na

2.3 Acumulación de metales en diferentes especies

Muestra	Suelo + lodos	Suelo final del exp.	Agua de escurrimiento	Conc final en tejido veg. (5 spp)
OSE	Metales pesados Test de Lixiviación Microbiológicos	Metales pesados	As, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg y Ni	As, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg y Ni
Fac. Agronomía		P, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb extraídos con solución Mehlich	Ca, Mg, K, Na	Ca, Mg, K, Na

3. Macroescala:

Muestra	Suelo				Cultivo	
	Suelo sin lodo	Lodo fresco	Lodo + cal	Lodo compost	Corte 1	Corte 2
OSE	Metales pesados	Metales pesados Test de Lixiviación	Metales pesados Test de Lixiviación	Metales pesados Test de Lixiviación	Metales pesados	Metales pesados

		Microbiológicos	Microbiológicos	Microbiológicos		
Fac. Agronomía	MO, pH, K, Ca, Mg, Na, P, NO3 y NH4	MO, pH, K, Ca, Mg, Na, P, NO3 y NH4	MO, pH, K, Ca, Mg, Na, P, NO3 y NH4	MO, pH, K, Ca, Mg, Na, P, NO3 y NH4	N, P, K, Ca, Mg, Na	N, P, K, Ca, Mg, Na

3. Resultados esperados

3.1. Experimento a Mesoescala

Se espera en esta primera instancia obtener resultados preliminares que permitan definir la posibilidad de aplicar o no lodo en los diferentes tipos de suelo y una aproximación a calcular las tasas de aplicación. Por otra parte se busca identificar el mejor uso para este tipo de sustrato en cuanto las especies vegetales utilizadas y su grado de absorción y tolerancia a metales pesados. En este sentido se busca identificar en qué tipo de emprendimiento agropecuario sería viable la aplicación de lodos tomando en cuenta la posible fitoacumulación de metales que pudieran transmitirse de los cultivos al ganado para consumo humano (Bernal y Espinosa, 2003).

3.2 Experimento a Macroescala

Se busca determinar la tasa de aplicación a escala real de lodos de plantas de tratamiento que permita calcular el volumen de dicho sustrato que pudiera tener como destino final una aplicación agropecuaria. A su vez se pretende evaluar el uso de lodo como recuperador en suelos de alto grado de erosión/degradación.

4. Plan de difusión:

- Difusión escrita: Realizar difusión de informes de resultados realizados por la Facultad de Agronomía a los jefes departamentales y otras partes de OSE implicadas.
- Talleres: Coordinación de dos talleres a realizarse en Montevideo, uno al final de los experimentos a mesoescala y otros al final de los experimentos de campo (macroescala). En los mismos se contará con la participación de los especialistas de la Facultad de Agronomía. Se convocará al personal de OSE de la Gerencia de Saneamiento, Jefaturas Regionales y Departamentales, GPFE, otros que se consideren. El responsable de la organización de estos talleres será la OSE.
- Realización de seminarios a nivel regional durante el transcurso del proyecto para la difusión de los objetivos del mismo y resultados preliminares. Se pretende convocar como público objetivo al personal operativo. Estas instancias de difusión serán realizadas por personal de OSE.
- Se prevé la coordinación de diferentes instancias de intercambio con DINAMA previas y durante las diferentes etapas del proyecto, que serán coordinadas por la Unidad de Gestión Ambiental.

5. Cronograma de actividades:

No está definido el cultivo/comienzo debido que está sujeto a los plazos administrativos (firma de convenio, fondos).

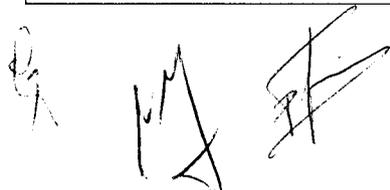
ETAPA 1

Actividades	Año 2013						Año 2014					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Bimestre												
Revisión bibliográfica												
Formalización acuerdo con la Facultad de Agronomía												
Ajuste propuesta técnica y Generación de plan de trabajo												
Definición de metodología y análisis												
Análisis de laboratorio												
Mesoescala: Expto de Mineralización												
Mesoescala: Evaluación Agronómica												
Mesoescala: Experimento demostrativo de acumulación de metales												
Macroescala: Primer y segundo cultivo												
Análisis de datos												
Redacción de Informes												
Difusión general / Difusión de resultados												

Actividades	Año 2015						Año 2016					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Bimestre												
Macroescala: Primer y segundo cultivo												
Redacción de Informes												
Difusión de Resultados												

6. Presupuesto general

Actividad	US\$
Convenio con Facultad de Agronomía	46.300
Análisis de metales pesados en suelo, enmiendas, tejido vegetal y lixiviados	100.000
Difusión de resultados	15.000
Imprevistos (10% aprox.)	16.000
Total	177.300



Bibliografía

Barrios, J. A.; Jiménez, B.; González, O.; Salgado, G.; Sanabria, L. & Iturbe, R. 2004. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos físico-químicos por vía ácida. Instituto de Ingeniería UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F.

Bernal, J & Espinosa, J. 2003. Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. International Plant Nutrition Institute.

Bray, R. H & Kurtz, L. T. 1945. Determinations of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59: 39-45.

del Pino, A.; Casanova, O.; Barbazán, M.; Mancassola, V.; Arló, L.; Rodríguez, J.; Borzacconi, L & Passeggi, M. 2012. Yield and quality of *Festuca Arundinacea* amended with digested slurry. Resúmenes del Congreso Internacional de ISTRO. 24-28 de setiembre de 2012. Montevideo, Uruguay.

Fernandes, F. & Pereira Da Silva, S. 1999. *Manual práctico para a compostagem de biosólidos*. Londrina: Universidade Estadual de Londrina.

Fernandes, F.; Weigert, W.; Kurten, R. G & Andreoli, C. V. 2001. Reciclagem de lodo de esgoto – experiência da região metropolitana de Curitiba. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Gilsanz, J. C.; Leoni, C.; Schelotto, F & Acuña, A. Valorización de los lodos residuales de plantas de tratamiento de efluentes y de otros desechos orgánicos agrícolas y agroindustriales. PDT 32-12. *Revista INIA* 2012, vol. 6.

Isaac, R. A. & Kerber, J. D. 1971. Atomic absorption and flame photometry techniques and uses in soil, plant and water analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues*. Madison: Soil. Sci. Soc. Am, pp 17-37.

Laos, F.; Mazzarino, M.J.; Satti, P.; Roselli, L.; Moyano, S.; Ruival, M. & Moller Poulsen, L. 2000. Planta de Compostaje de biosólidos: investigación y desarrollo en Bariloche, Argentina. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 50: 86-89.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 15(12): 1409-1416.

Murphy, J. & Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.

Mulvaney, R.L. 1996. Total Carbon, Nitrogen-inorganic forms. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. ASA and SSSA. (Ed). D.L. Sparks et al. Madison WI., pp 1123-1184.

Nelson, D.W. & Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. ASA and SSSA. (Ed). D.L. Sparks et al. Madison WI., Pp. 961-1010.

Pastor, J. & Hernández, A. J. 2009. Contenidos de metales pesados en gramíneas de ecosistemas desarrollados sobre antiguas minas abandonadas de Madrid y Castilla-La Mancha. *Cumbre del Desarrollo Sostenible*. ISBN: 978-84-6131481-2.

Peralta, E.; González, R.; von Haefen, G.; Comino, A.; Gayoso, G.; Vergara, S.; Genga, G & Scagliola, M. Experiencia piloto de compostaje de barros primarios cloacales de Mar del Plata. Gerencia de Calidad de Obras Sanitarias Mar del Plata (OSSE) - Mar del Plata – Argentina.

Peris, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Tesis Doctoral, Universitat de Valencia.

Rhine, E. D.; Sims, G. H.; Mulvaney, R. L.; Pratt, E. J. 1998. Improving the Berthelot reaction for determining ammonium in soil extracts and water. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:473-480.

Rodríguez, J. C.; Rodríguez, H.; De Lira, G.; Martínez, J. & Lara, J. L. 2006. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Fitotecnia Mexicana*, 29(3): 239-245.

Ruiz, E. A & Armienta, M. A. 2012. Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 28(2): 103-117.

Suárez, L. 1998. Gestión de lodos de depuración. Estación depuradora de aguas residuales de León. *Reciclajes y valorizaciones*, S. L.

FINANCIAMIENTO CONVENIO OSE - FACULTAD DE AGRONOMÍA
Evaluación de uso de lodos de plantas de tratamiento como mejorador de suelo

FINANCIAMIENTO INICIAL				
Actividad	TOTAL (U\$S)	OSE (U\$S)	BANCO (U\$S)	% Financ.
Convenio con Facultad de Agronomía	46.300	23.150	23.150	50%
Análisis de metales pesados en suelo, enmiendas, tejido vegetal y lixiviados	100.000	50.000	50.000	50%
Difusión de resultados	15.000	7.500	7.500	50%
Imprevistos (10% aprox.)	16.000	8.000	8.000	50%
Total	177.300	88.650	88.650	50%

FINANCIAMIENTO REPROGRAMADO				
Actividad	TOTAL (U\$S)	OSE (U\$S)	BANCO (U\$S)	% Financ.
Convenio con Facultad de Agronomía	46.300	46.300	0	0% (*)
Análisis de metales pesados en suelo, enmiendas, tejido vegetal y lixiviados	100.000	0	100.000	100% (**)
Difusión de resultados	15.000	0	15.000	100% (**)
Imprevistos (10% aprox.)	16.000	0	16.000	100% (**)
Total	177.300	46.300	131.000	74% (***)

(*) Financiamiento del Convenio con Facultad de Agronomía que se aprueba con este expediente.
 Financiación 100% OSE

(**) Gastos de compras que se efectuarán por separado por los trámites de adquisición habituales de OSE. Financiación 100% BIRF

(***) Financiamiento global: 74% BIRF, 26% OSE