



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA
PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS
QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD
AGRÍCOLA”**

Realizado por:

BELÉN SUBÍA MUÑOZ

Director del proyecto

Ing. Msc. Walberto Gallegos Eras

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

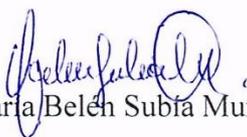
Quito, 26 de JULIO de 2017

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, BELÉN SUBÍA MUÑOZ, con cédula de identidad 1716683063, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.


María Belén Subía Muñoz

1716683063

[Escriba aquí]

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA”

Realizado por:

BÉLEN SUBÍA MUÑOZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

WALBERTO GALLEGOS ERAS

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Walberto Gallegos Eras

Director

[Escriba aquí]

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

MIGUEL MARTINEZ-FRESNEDA

KATTY CORAL CARRILLO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante el
tribunal examinador



Miguel Martínez-Fresneda



Katty Coral

Quito, 26 de JULIO de 201

[Escriba aquí]

**VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA
PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU
APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA**

María Belén SUBÍA MUÑOZ¹

Walberto Efraín, GALLEGOS ERAS^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales Quito,
Ecuador

* AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Msc Walberto Efraín Gallegos Eras,
Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito
Ecuador

walberto.gallegos@uisek.edu.ec

Título corto: LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA DE QUITO PARA
USO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

RESUMEN

El presente proyecto de investigación pretende obtener información sobre la composición y características de varias muestras de lodos residuales procedentes de la planta piloto de tratamiento de aguas de la EPMAPS Quito, con el fin de evaluar la calidad de los mismos y establecer orientaciones sobre su posible gestión en la actividad agrícola y aplicación en suelos. El tratamiento de aguas residuales en las estaciones depuradoras genera estos materiales como subproductos secundarios resultantes del proceso realizado, los cuales concentran los contaminantes que inicialmente estaban contenidos en el agua, transformados o mezclados con otros compuestos. Se realizó la toma y recolección de doce (12) muestras de lodos generados en la planta piloto de aguas residuales, para su posterior caracterización fisicoquímica, agronómica, microbiológica y determinación del contenido de metales pesados que permitan la recopilación de información necesaria sobre la composición de dichos lodos. Esto aportó en el planteamiento de una línea base sobre el conocimiento de las características de los lodos residuales generados en el Distrito Metropolitano de Quito, y a su vez permitió la comparación de estos valores con la normativa internacional existente y estudios previos realizados. Con los análisis obtenidos se determinó que estos residuos orgánicos presentaron niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio relativamente altos siendo las concentraciones obtenidas comparables con abonos orgánicos usados en la actividad agrícola y biosólidos destinados para aplicación en suelos. En términos generales, el contenido de metales pesados se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en las legislaciones a nivel internacional y se evidenció que las concentraciones de microorganismos patógenos presentes son altas, excediendo límites máximos permisibles establecidos por las leyes de varios países para ser aplicados en la agricultura.

Palabras clave: caracterización; lodos residuales; actividad agrícola; estaciones depuradoras; EPMAPS Quito; gestión.

ABSTRACT

The present research project hopes to get information about the composition and characteristics of several samples of residual mud lands coming from the pilot plant of water treatment from EPMAPS Quito, its purpose is to evaluate their quality and establish certain orientations about their possible managements in the agricultural activity and the application on soils. The residual water treatment in the purification plants generates these materials like secondary byproducts as a result of the done process, these ones concentrate the contaminants that were previously contained in water, which were transformed or mixed with other compounds. The collection of twelve samples of mud lands generated in the pilot plant of residual water was done for the purpose of getting their post physicochemical, agronomic, microbiological characterization and heavy metal content determination in order to collect all needed information about the composition of such residuals. This investigation will help the baseline approach about knowledge of the characteristics of residual mud lands generated in Metropolitan District of Quito, as well as, it will contribute to the comparison of these values with the international existent norm and previous studies. With the analysis obtained, it was determined that these organic residues presented relatively high levels of organic matter,

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

nitrogen, phosphorus and potassium being the concentrations obtained comparable with organic fertilizers used in the agricultural activity and biosolids destined for application in soils. In general terms, the content of heavy metals is below the maximum permissible limits established in international legislation and it was evidenced that the concentrations of pathogenic microorganisms present are high, exceeding the maximum permissible limits established by the laws of several countries for Be applied in agriculture.

Key words: characterization, residual mud lands, agricultural activity, purification plants, EPMAPS Quito, management.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial conlleva un aumento de la demanda de agua existente en el planeta. Como consecuencia existe un mayor volumen de agua residual generada, lo que limita la disponibilidad de dicho recurso y restringe las posibilidades de uso. El manejo y disposición inadecuada de las aguas residuales está directamente relacionado con el deterioro del ambiente y contaminación de fuentes superficiales, lo que pone en riesgo la calidad y disponibilidad de la misma. Es por esto, la necesidad de emplear sistemas de recolección y tratamiento que permitan gestionar de manera eficiente este recurso (Donado, 2012).

Por otra parte, el tratamiento de aguas residuales en las estaciones depuradoras (EDAR), da como resultado la generación de subproductos, en este caso lodos, los cuales concentran los contaminantes que inicialmente estaban contenidos en el agua, transformados o mezclados con otros compuestos. Estos lodos residuales producidos son de gran importancia debido a sus grandes volúmenes, así como por el tratamiento que demandan posteriormente a su generación (Limón Macías, 2013).

Dichos subproductos pueden ser definidos como: “residuo sólido, semisólido o líquido que se genera por el tratamiento de las aguas residuales. Su composición depende principalmente de las características del agua residual afluente y del proceso de tratamiento utilizado en la planta que lo genera” (Moeller, Ferat, & López, 2005, p.1). Si estos lodos no han sido sometidos a ningún proceso de tratamiento ni estabilización, son conocidos como lodos crudos o frescos, los cuales tienden a generar acidificación y producir mal olor (Builes B, 2010).

“El volumen que se genera depende de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de

humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismo (Donado, 2012, p.15) La actividad de los diferentes sistemas y tecnologías de depuración dentro de las estaciones depuradoras de aguas residuales concentran este lodo que comúnmente contiene un porcentaje muy bajo de sólidos (1-6%), por tal razón, su empleo suele ser complicado y una adecuada gestión requiere el manejo de grandes volúmenes de material (Donado, 2012).

Sin una correcta gestión de estos residuos, es probable que se desarrolle un problema adicional, ya que por sus características producirían un peligro en el equilibrio de los ecosistemas y en la salud de los habitantes, por su alto contenido en patógenos, materia orgánica y otros posibles contaminantes. La disposición final que tendrán estos lodos está relacionada con la composición del mismo, por tal razón, es necesario que se realice un tratamiento previo antes de reutilizarlos con un fin determinado, disponerlos o en último caso confinarlos (Colín Cruz, Ayestarán Hernández, Gutiérrez Segura, & Torres Pérez, 2014).

Los tratamientos posteriores que se aplican a los lodos crudos o frescos, permite que ocurra procesos de mineralización de la materia orgánica, reducción de materiales volátiles, eliminación de organismos patógenos y concentración de lodo como tal. Existen diversos destinos en donde estos materiales pueden ser dispuestos: reutilización en la actividad agrícola como abono o fertilizante, recuperación de terrenos forestales o agotados, generación de energía eléctrica, mecánica o calorífica, compostaje, vertidos directamente a cuerpos hídricos tanto marinos como de agua dulce, rellenos sanitarios, escombreras, minas o pantanos (Torres, 2004).

El destino más común que se tiende a priorizar como la mejor opción en el caso de lodos residuales de depuradora, es la aplicación en suelos y actividad agrícola. Al ser estos residuos materiales con alto contenido de materia orgánica y ricos en nutrientes como nitrógeno, fósforo

y potasio son idóneos para la gestión en este campo. Por lo tanto, el beneficio que se espera obtener con el aprovechamiento de estos residuos, está enfocado en dos fines principales: mejorar el terreno debido al potencial poder fertilizante que contiene, que a su vez está determinado por el contenido de nutrientes, y el segundo es la disposición adecuada de los sólidos que derivan del proceso de tratamiento de aguas residuales. (Arodys, Nelson, & Essbio, 2001).

Sin embargo, es esencial conocer que los lodos que no han recibido un tratamiento de estabilización pueden presentar ciertas características perjudiciales que, en términos generales, definen su calidad para su posible reutilización dentro de la actividad agraria. Los cuatro componentes que principalmente determinan dicha calidad se pueden clasificar dentro de cuatro tipos de contaminantes (Builes B, 2010).

El primer contaminante es el contenido de materia orgánica y de patógenos presentes en estos productos. La materia orgánica puede ser un componente esencial en la aplicación de suelos como agente mejorador, sin embargo, si ésta no está correctamente estabilizada podría derivar en ciertos problemas de vectores y olores desagradables. En el caso de organismos patógenos, como virus, bacterias o huevos de gusanos parásitos, que pueden estar concentrados en lodos residuales, pueden resultar en enfermedades graves al tener contacto con los seres humanos (Donado, 2012).

En segundo término, es esencial saber el contenido de nutrientes presentes, los cuales son los principales componentes del metabolismo para las plantas como el nitrógeno, fósforo y en menor cantidad, el potasio. Estos no suelen ser eliminados completamente en el tratamiento de agua empleada, por lo que existe la posibilidad de que las plantas los consuman para su beneficio. No obstante, se debe considerar las relaciones óptimas entre estos elementos y tasas

adecuadas de aplicación, que están relacionadas con el terreno y tipo de cultivo en donde se van a aplicar dichos elementos (Donado, 2012).

En tercer lugar, los metales presentes en los lodos residuales urbanos, pueden generar riesgo tóxico para las plantas, animales y el ser humano. De igual forma, en el caso de aplicación en suelo podrían llegar a quedar atrapados en la estructura del mismo y la preocupación principal radica en la capacidad de acumularse en los tejidos de los organismos e incluso biomagnificarse. Se toma en cuenta principalmente el contenido de zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr) contenido en estos materiales (Builes B, 2010).

Y por último, un elemento importante a considerar es la presencia de contaminantes orgánicos como disolventes, colorantes, plaguicidas, tensoactivos y otras moléculas orgánicas complejas que tienen un alta capacidad de adsorción, poca solubilidad en agua y pueden estar concentrados en estos lodos. Por sus tasas lentas de biodegradación estos contaminantes pueden llegar a generar riesgos en el ambiente y en la salud de la población (Builes B, 2010).

En diversos casos la aplicación de lodos residuales en el suelo otorga un beneficio adicional; no obstante, existen restricciones y limitaciones para su posible gestión en suelos y agricultura, por lo tanto, es importante determinar las potencialidades de utilización de estos residuos, así como las posibles restricciones y riesgos asociados a los mismos.

La gran problemática que enfrenta Ecuador actualmente es la contaminación de los recursos hídricos causado por el vertimiento de desperdicios generados por los municipios, la industria, agricultura, minería, petróleo, y otros desechos sólidos urbanos que ocasionan un deterioro no solo del entorno natural, sino también crean un escenario perjudicial para la salud de los habitantes (CEPAL, 2011).

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS) ha implementado el “Programa para la Descontaminación de los ríos de Quito” en el cual se proponen medidas, acciones y actividades encaminadas al cumplimiento de una gestión integral de las aguas residuales generadas en la cuenca del río Guayllabamba, en donde se encuentra ubicado el DMQ, formado por la ciudad de Quito y treinta y tres parroquias rurales (Iagua, 2015).

El objetivo, es implementar la intercepción, conducción y tratamiento de las descargas domésticas generadas por la población y los efluentes industriales derivados de la actividad productiva dentro de la capital. (CEPAL, 2011). Así mismo, se busca mejorar la calidad ambiental del entorno próximo a los ríos que rodean la ciudad, con el fin de mantener un equilibrio ecológico de los ecosistemas, y asegurar la salud pública de los habitantes (Iagua, 2015).

Para potenciar este proyecto, se construyó la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a escala piloto, en el año 2014, que actualmente se encuentra en operación y toma aguas crudas directamente de la descarga del sector “El Batán”, permitiendo disponer de datos aproximados a la realidad acerca de los parámetros de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales que se construirá en Vindobona a escala real (Iagua, 2015).

Los lodos producidos en la planta piloto no reciben ninguna gestión o tratamiento posterior que permitan aprovechar las potencialidades de estos residuos, al ser compuestos que contienen alta carga de materia orgánica y nutrientes como N, P y K. Es fundamental implementar una adecuada gestión de los mismos, con el fin de reducir los impactos puedan ocasionar al ambiente como consecuencia secundaria del tratamiento implementado en las estaciones depuradoras. La disposición final de los lodos generados es esencial ya que pueden

ser gestionados como residuos y ser dispuestos en vertederos, o a su vez, potenciarlos como recurso eficiente para su aprovechamiento en la actividad agrícola o en la generación de energía. (Arodys, Nelson, & Essbio, 2001).

Considerando el principio de jerarquía para la reutilización de lodos residuales de depuradora, se prioriza su aplicación al suelo como meta principal, el cual está determinado por sus contenido orgánico y de patógenos, contenido de nutrientes, metales pesados y características físicas del residuo. Con el aprovechamiento, a su vez, se busca la disposición apropiada de los sólidos que contribuya en la reducción del volumen de desechos producidos diariamente en nuestro país y que se está convirtiendo en un problema cada vez más difícil de gestionar (Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009).

Si se prioriza la gestión de estos residuos urbanos en el campo agrario y suelos, existen diversos destinos en donde puede ser empleados dependiendo de los requerimientos del medio en donde se los utilice, así como de las características finales del lodo. Pueden ser utilizados como abonos o fertilizantes en la agricultura, como enmiendas orgánicas para la recuperación de terrenos agotados, o como compost siendo este un material idóneo para su disposición en suelos y cultivos. Por esto, el método más adecuado de tratamiento y estabilización del lodos dependerá directamente del destino final que se enfatice, de los costos que conlleva el tratamiento y de las características iniciales del lodo (Torres, 2004).

Por lo tanto, la importancia de este estudio es obtener información sobre la composición y características de varias muestras de lodos procedentes de la planta piloto de tratamiento de aguas de la EPMAPS, lo que permitirá la evaluación de la calidad de los mismos, con el fin de establecer si son aptos para su aprovechamiento en la actividad agrícola y aplicación en suelos. Estos resultados contribuirán en la construcción de una línea base sobre sobre el conocimiento

de las características de los lodos residuales generados en el DMQ, aportando ciertas proyecciones y orientaciones sobre la gestión más aconsejable de este residuo.

En consecuencia, se conoce que los lodos producidos en las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas son materiales que por sus características y composición química, son susceptibles a ser utilizados como recurso en la actividad agrícola. Se ha planteado dentro del proyecto la siguiente hipótesis:

Los lodos procedentes de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la EPMAPS Quito, por su contenido de elementos agronómicos y fisicoquímicos, organismos patógenos y metales pesados, pueden ser o no susceptibles a ser gestionados en la actividad agrícola y aplicación en suelos.

Así el presente proyecto de investigación tuvo como objetivo general; valorar la calidad de lodos residuales procedentes de la planta piloto de tratamiento de aguas de la EPMAPS Quito con el fin de determinar sus posibles restricciones y potencialidades. Como objetivos específicos: determinar la composición de los lodos residuales de la estación de depuración de la planta piloto de aguas residuales mediante la caracterización de parámetros agrupados en (metales pesados, parámetros agronómicos y fisicoquímicos, y parámetros microbiológicos); comparar los valores obtenidos en los análisis realizados con la normativa internacional existente y estudio previos realizados y proponer estrategias acerca de la posible gestión de estos lodos en la actividad agrícola y aplicación en suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación “Caracterización de los lodos de la planta de aguas residuales de la EPMAPS Quito” se realizó en la Universidad Internacional SEK, y vincula a dicha institución con la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, mediante un convenio firmado entre las partes interesadas.

Área de estudio

Los lodos residuales analizados provienen de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la EPMAPS ubicada en la ciudad de Quito que trabaja con un sistema de aeración prolongada, en donde se tiene un caudal de entrada de 1,6 L/min, tiempo de retención hidráulica de 30 horas y tiempo de retención celular de 25 días. Se compone de una serie de tres (3) tanques anóxicos, dos (2) tanques aeróbicos y un (1) tanque anóxico, que posteriormente deriva en un sedimentador secundario (ver Anexo A-1).

La planta de tratamiento piloto se encarga de remover la materia carbonácea y el nitrógeno presente alternando procesos aeróbicos en donde se produce la nitrificación y procesos anóxicos en donde se produce la desnitrificación. Desde el sedimentador secundario existe una recirculación del efluente, en donde, una parte del mismo recircula como licor de mezcla o biomasa encargada de mantener la edad de lodo y tiempo de retención celular, y la otra parte corresponde a los lodos de recirculación como tal, que son purgados diariamente y de los cuales se tomó las muestras para posterior análisis. El volumen de purga de dichos lodos es de 80 L/ por día.

Fase de muestreo

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Se realizó un total de 12 muestreos en la planta de tratamiento, 6 primeras muestras fueron recolectadas quincenalmente, es decir 2 por mes; mientras que las 6 restantes, fueron recolectadas semanalmente, analizando en total 4 muestras por mes, desde el mes de enero a mayo de 2017. Para la recolección de la muestra se utilizó recipientes de 6 litros tomando muestra de lodos residuales directamente de la manguera de recirculación proveniente del sedimentador secundario. Parte de las muestras fueron embotelladas en recipientes previamente tratados con ácido sulfúrico (H_2SO_4) para su adecuada preservación, y parte restante en botellas sin ácido para su análisis inmediato en laboratorio. Estos lodos fueron almacenados y transportados a una temperatura de 4°C, con el fin de mantener inalteradas las características del mismo. La cantidad de muestra de lodos recolectada y transportada hacia la Universidad Internacional SEK fue de aproximadamente 40 litros por muestreo

Tabla 1. Fechas establecidas para recolección de muestras.

Número de muestra	Fecha
1	5-ene
2	19-ene
3	6-feb
4	20-feb
5	1-mar
6	20-mar
7	27-mar
8	3-abr
9	10-abr
10	17-abr
11	24-abr
12	1-may

Se determinó parámetros in-situ de los lodos de recirculación: oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura mediante el equipo multiparámetros HQ40d HACH. Se estableció tres tipos de contaminantes a determinar en laboratorio que permita tener una idea

global de la composición y calidad de los lodos residuales analizados, divididos en parámetros fisicoquímicos y agronómicos, metales pesados y parámetros microbiológicos.

Parte Experimental

Acondicionamiento de la muestra

Mediante el proceso de decantación con embudos de separación de vidrio, se separó por diferencia de densidad los lodos residuales de gran porcentaje de agua contenida en la muestra. Dicho proceso de separación sucede de forma muy rápida, dejando decantar la muestra por varios minutos, con el fin de recolectar los lodos que se depositan al fondo del embudo y retirar la cantidad de agua que permanece como sobrenadante (ver Anexo A-2. Foto 7).

Una vez realizado el proceso de decantación, cierto volumen de lodos fue filtrado y utilizado para determinar los parámetros que demanden base húmeda; y el volumen restante fue vertido en bandejas de aluminio, simulando un lecho de secado, las cuales se colocaron sobre planchas de calentamiento para realizar una deshidratación previa de los mismos (ver Anexo A-2. Foto 5). Una vez que se logró eliminar gran parte de la humedad contenida, se colocó las planchas en la estufa a una temperatura de 105°C, durante un periodo de 12 horas, con el fin de obtener la muestra exenta de humedad para análisis de parámetros que requieran base seca (ver Anexo A-2. Foto 6).

Es importante aclarar que todos los resultados obtenidos en los análisis realizados, corresponden a lodos residuales crudos o frescos, es decir que no han sido sometidos a ningún proceso de tratamiento posterior a su generación (deshidratación, secado o estabilización). Los procesos de acondicionamiento y preparación de muestra son realizados en función del parámetro a analizar, siguiendo los métodos establecidos en cada norma.

Tabla 2. Parámetros analizados en los lodos residuales.

Base húmeda	Base seca
<i>Escherichia coli</i>	<i>Materia orgánica total</i>
<i>Salmonella choleraesuis</i>	<i>Carbono orgánico total</i>
<i>Shigella flexneri</i>	<i>Nitrógeno total Kjeldah</i>
<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Relación C:N</i>
Huevos de helminto	<i>Fósforo</i>
Densidad real	<i>Potasio total</i>
Contenido de humedad ¹	<i>Análisis de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb, Zn)</i>
Sólidos sedimentables ¹	

¹ Parámetros analizados sin someter a la muestra a ningún proceso de acondicionamiento previo.

La caracterización de los lodos residuales de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de Quito se lo realizó de acuerdo a normas y métodos contenidos en los estándares ASTM, “Procedimientos seleccionados del manual de HACH sobre análisis del agua”, “Métodos de análisis de suelos- INIA”, “Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Residuales” edición 22 y “Manual Difco y BBL 2ª edición.”

Parámetros Físicoquímicos y agronómicos

Para la caracterización físicoquímica se determinó pH, conductividad, y temperatura in-situ siguiendo los procedimientos descritos en el manual HACH mediante el multiparámetros HQ40d. Para el contenido de humedad de la muestra, se utilizó la norma ASTM D-4220. Los sólidos sedimentables se determinaron mediante método para determinación de sólidos sedimentables descritos en los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Residuales. El contenido de materia orgánica y carbono orgánico total se lo realizó mediante el método de Walkley y Black. El contenido de nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl y finalmente para el fósforo se utilizó el método de Bray y Kurtz 1.

Metales pesados

Para la determinación de metales pesados establecidos (*Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb, Zn*) incluyendo el contenido de potasio (K) se secó las muestras a 105°C y se utilizó método EPA 3050B para su digestión y determinación en horno de grafito y espectrofotómetro de absorción atómica.

Parámetros Microbiológicos:

Los análisis microbiológicos se los realizo mediante el método BBL Agar Endo por conteo directo en placas Petri. Se obtuvo el número de unidades formadores de colonias (UFC/g) de cada especie establecida (*Escherichia coli, Salmonella choleraesuis, Enterococcus faecalis, y Shigella flexneri*). Los huevos de helminto se determinaron mediante método cualitativo de McMaster.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se muestra los resultados de parámetros in situ determinados. Se indica rangos, promedios y valores recomendados para aplicación en suelos y cultivos. Para el caso del, temperatura oxígeno disuelto y pH se puede observar que los valores obtenidos en las muestras presentan una tendencia estable; es decir, no tienen cambios significativos. Sin embargo, las conductividades eléctricas se encuentran en un rango mucho mayor, debido a grandes variaciones de cada muestra de lodo. Es importante aclarar que estos parámetros se midieron en el líquido de recirculación contenido en las muestras de lodos.

Tabla 3. Parámetros medidos in-situ

Muestra	Temperatura (C°)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (µS /cm)
1	18,8	7,27	0,29	6400
2	18,6	6,81	0,26	5060
3	18,9	6,82	0,37	10830
4	18,4	7,03	0,34	11340
5	19,1	7,09	0,34	9670
6	16,2	7,02	0,52	9740
7	18,2	6,81	0,62	3420
8	18,6	7,15	0,25	2490
9	17,9	7,01	0,35	2580
10	18,1	7,15	0,23	3060
11	16,9	7,01	0,42	2600
12	17,4	7,2	0,31	3140
Rango	16,2 – 19,1	6,81-7,2	0,23 – 0,62	2490 - 11340
Promedio	18,1	7,03	0,36	5861

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Valores recomendados²	--	6,6 < pH < 7,5	Valores recomendados para cultivos³	100-1000
			Algunas especies soportan hasta	2000
			No superior	>4000
			Valores para compostaje	>8000

² Valores de pH recomendados para uso agrícola y aplicación en suelos. ³ Valores recomendados y máximos de conductividad eléctrica para empleo en cultivos.

Para el empleo de lodos en el campo agrario y aplicación en suelos se hace énfasis en los indicadores como pH y conductividad eléctrica.

Las magnitudes del pH presentan valores muy cercanos a la neutralidad oscilando entre valores ligeramente básicos y ácidos. El rango obtenido se encuentran en valores de 6,81 a 7,2 (ver Tabla 3.). Valores recomendados para el proceso de compostaje se encuentran en rangos de 5,8 < pH < 7,5 y para materiales aplicados a suelos de 6,6 < pH < 7,5. El pH es fundamental en aplicación a suelos y cultivos, ya que los macronutrientes esenciales para las plantas adquieren mayores tasas de asimilación y relativa movilidad en el suelo cuando este tiende a ser neutro. De igual forma, en valores de pH neutro la movilidad de los metales pesados presentes se ve condicionada, evitando que las plantas absorban concentraciones elevadas que pueden llegar a ser tóxicas, produciendo alteraciones en su metabolismo (Utria, Reynaldo, Cabrera, Morales, & Morúa, 2006).

El parámetro conductividad eléctrica nos da información acerca de las sales solubles en el extracto acuoso de la muestra, es decir, el contenido en iones. Se sabe que al emplear lodos

residuales en suelos, se produce un aumento en la conductividad el mismo; valores elevados de conductividad eléctrica son un factor limitante si sobrepasan la presión osmótica del medio, provocando que la raíz no pueda extraer agua o nutrientes del suelo y alterando su estructura y agrupación de partículas. (Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2009).

Los valores de conductividad obtenidos en las muestras tienen oscilaciones muy significativas con un rango de 2490 – 11340 $\mu\text{S}/\text{cm}$; aunque la mayoría de resultados se encuentran en un valor de 2000 a 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Santamaría y Ferrera (2001) expresan que las concentraciones de sales en un compost por encima de 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ influyen negativamente en las poblaciones de microorganismos y transformación de materia orgánica (ver Tabla 3). De igual forma, “los valores recomendados en suelos en donde los cultivos responden apropiadamente oscila entre 100 y 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Algunas especies soportan hasta 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; por encima de 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se hace imposible el cultivo” (Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2009, p.29)

La conductividad eléctrica de las muestras analizadas rebasa notablemente los valores recomendados y máximos por lo que pueden llegar a ser un factor limitante. Para determinar las dosis de lodos aptas para su aplicación en suelos, se debe tomar en consideración el tipo de suelo y las prácticas agrícolas previamente realizadas como aplicación de fertilizantes (Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2009).

La tabla 4 nos muestra la densidad, cantidad de sólidos sedimentables contenidos, y porcentaje de humedad total de lodos analizados. Se hace énfasis en el parámetro humedad, debido a la gran influencia que tiene en la aplicación en suelos y en el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos. Se presentan porcentajes de humedad ideales para la realización del proceso de compostaje, así como las propiedades y requisitos mínimos sobre el contenido de humedad

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

para considerar a un producto como compost, establecidos por la OMS y la legislación española.

Tabla 4. Humedad, densidad y porcentaje en volumen de los sólidos contenidos en los lodos de recirculación.

Muestra	Densidad de lodos (g/cc)	% (v/v)	Humedad del lodos de recirculación (%)
1	1,05	2,81	99,9
2	1,04	2,56	99,9
3	1,04	1,99	99,8
4	1,03	2,78	99,8
5	1,04	1,68	99,8
6	1,08	2,48	99,8
7	1,09	2,98	99,7
8	1,03	2,96	99,9
9	1,02	2,68	99,9
10	1,01	3	99,9
11	1,05	2,16	99,8
12	1,03	2,24	99,9
Rango	1,01 – 1,09	1,68 - 3	99,7 - 99,9
Promedio	1,08	2,52	99,83
		Humedad óptima para proceso de compostaje (%)	50-70
		Propiedades generales de un compost para ser comercializado (OMS)(%)⁴	30-50
		Humedad máxima del compost (Real Decreto	40

506/2013)(%)⁵

⁴ Propiedades que debe tener un compost decretado por la Organización Mundial de la Salud. ⁵ Requisitos mínimos exigidos para considerar un producto como compost de acuerdo a la legislación española sobre productos fertilizantes.

La densidad de los lodos analizados tiene promedio de 1,08 g/cc, siendo más densos que el agua, por lo que se depositan al fondo del embudo de decantación de vidrio al momento de realizar el proceso de espesamiento. Los sólidos sedimentables obtenidos en las muestras tienen un valor promedio de 2,52 % expresado en v/v, mientras que la humedad contenida presenta valores extremadamente altos con un promedio de 99,83 % (ver Tabla 4).

La humedad en los suelos es un parámetro esencial que se debe controlar durante un proceso de cultivo agrícola. “La importancia de este parámetro, en relación al valor agrícola de un lodo, es consecuencia de la cantidad de sales minerales disueltas en el agua y la materia orgánica en suspensión” (Fernández, 2010, p.102).

Los valores ideales de humedad para que un material sea susceptible a ser compostado con el fin de obtener un compost de buena calidad, oscilan en un rango ideal de 50 a 70%. De la misma forma, según la OMS se establece que las propiedades generales de humedad que debe tener un compost para ser comercializado son de 30-50 %, mientras que los requisitos mínimos exigidos para considerar un producto como compost según el Real Decreto 506/2013 para productos fertilizantes, es de 40% de humedad (Lopez, 2015).

Los valores de humedad de los lodos analizados superan significativamente los porcentaje ideales; esto nos muestra que es necesario emplear un proceso deshidratación preliminar de los mismos que permitan llegar a niveles óptimos para posteriormente someterlos a técnicas de estabilización de residuos orgánicos como es el compostaje; que son ideales para el aprovechamiento de lodos residuales en el campo agrario, permitiendo convertir a estos

materiales en abonos y fertilizantes naturales (Huerta & Monserrat, 2004).

En la tabla 5 se expresan los resultados de los parámetros agronómicos analizados; materia orgánica total, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y relación C/N, elementos esenciales en la actividad agrícola por ser macro y micronutrientes de la plantas y cultivos y agentes promotores de la fertilidad del suelo. En la tabla 6 se indica el contenido de nutrientes en abonos orgánicos más comunes y biosólidos utilizados en la agricultura, con el fin de realizar una comparación con los valores obtenidos en los lodos.

Tabla 5. Concentración de parámetros agronómicos.

Muestras	Materia orgánica total (%)	Carbono (%)	Nitrógeno NTK (%)	Relación C/N	Potasio (%)	Fósforo (%)
1	41,27	23,94	4,79	5,00	0,1224	0,435
2	37,83	21,95	5,81	3,78	0,1204	0,589
3	41,27	23,94	5,92	4,04	0,1214	0,576
4	34,39	19,95	6,97	2,86	0,1182	0,525
5	41,27	23,94	4,2	5,70	0,1195	0,576
6	36,2	21	5,11	4,11	0,1176	0,550
7	34,39	19,95	4,97	4,01	0,1183	0,673
8	37,83	21,95	4,62	4,75	0,1191	0,691
9	31,32	18	4,54	3,96	0,118	0,589
10	26,5	15,38	5,07	3,03	0,1178	0,563
11	37,92	22	5,25	4,19	0,1145	0,653
12	34,48	20	6,02	3,32	0,1171	0,512
Rango	26,5 - 41,27	18 - 23,94	4,2 - 6,97	2,86 - 5,7	0,1145-0,1224	0,435-0,653
Promedio	36,22	21,00	5,27	4,06	0,1186	0,576

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

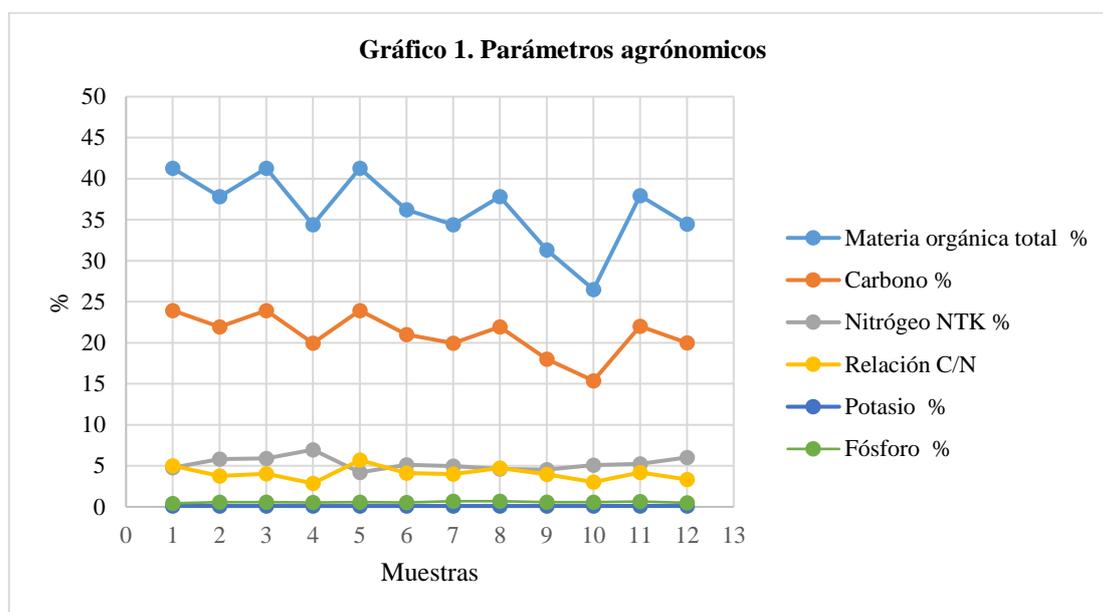


Tabla 6. Nutrientes en abonos orgánicos más comunes y biosólidos utilizados en la agricultura

	Materia orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Potasio (%)	Fósforo (%)	Relación C/N óptima inicial⁹
Estiércol mezcla	40	0,5	0.60	0,10	25-35
Gallinaza	25-35	1,4	1	0,20	Relación C/N óptima en suelo¹⁰
Compost vegetal	47	1,5	1	0,80	8-10
Estiércol Vacuno	25-30	2	1	1,50	
Biósólidos de uso en Agricultura⁶	20.6-57.4	3-8	0,1-0,8	0,40 – 4,9	
Requisitos Real Decreto 506/2013	>35				
Informe Comisión Europea⁸	>15 (m.s)				

⁶ Rangos típicos de biosólidos digeridos representativos y biosólidos de aguas residuales urbanas a nivel internacional. ⁷ Requisitos mínimos exigidos para considerar un producto como compost de acuerdo a la legislación española sobre productos fertilizantes. ⁸ Informe final sobre criterios europeos para compost digeridos, 2014. ⁹ Relación C/N óptima inicial para realización de un proceso de compostaje. ¹⁰ Relación óptima para suelos.

Los valores de materia orgánica presentes en los lodos oscilan en rangos de 26,5 a 41,27%; la

mayoría de las muestras se mantienen bastantes estables en rangos de 30-40 % dando un valor promedio de 36,22%. Podemos evidenciar que los valores obtenidos son altos, siendo esto muy habitual en lodos procedentes de tratamiento y depuración de aguas residuales urbanas. Los porcentajes de materia orgánica total se encuentran muy cercanos a los valores contenidos en los abonos orgánicos más comunes que se emplean en el campo agrícola y entran en el rango de biosólidos usados en la agricultura. Igualmente, superan los requisitos mínimos de contenido de materia orgánica para considerar un producto como compost, establecidos tanto en la legislación española y el informe de la Comisión Europea (ver Tabla 5 y 6).

La materia orgánica presente en estos materiales es de gran importancia pues tiene incidencia directa en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en donde se lo aplique; favoreciendo los ciclos geoquímicos, influyendo en la estabilidad y fertilidad del mismo y evitando su erosión. Por esto, tiene lógica aplicar compostaje a materiales con altos contenidos en MO; sin embargo, se debe tomar en cuenta el contenido final de la misma, que será una relación directa con el contenido inicial, su tasa de degradabilidad y la transformación que haya sufrido durante este proceso (Soliva & López, 2004).

Para el caso del carbono total, los rangos son bastantes estables con valores de 18 a 23,94% con un promedio de 21%. Del mismo modo, este parámetro agronómico es esencial, pues nos da información acerca de la capacidad del residuo para proveer al medio de compuestos orgánicos más o menos biodegradables, que de igual forma favorecen la fertilidad de los suelos y promueven la actividad metabólica de los microorganismos (Lopez, 2015).

El contenido de nitrógeno total de los lodos va de rangos de 4,2 - 6,97% con un promedio de 5,27%. Al comparar la cantidad de nitrógeno total de los lodos analizados con los abonos orgánicos comunes, podemos ver que los valores obtenidos se encuentran en porcentajes

mayores, lo que es frecuente que ocurra en lodos procedentes de tratamientos de aguas residuales urbanas por los procesos de nitrificación y desnitrificación que se emplean para remoción de nitrógeno presente. Sin embargo, estos valores se encuentran dentro del rango de biósólidos para uso en agricultura (ver Tabla 5 y 6).

Este parámetro es de gran interés ya que es considerado uno de los macronutrientes vitales para el óptimo crecimiento de las plantas. Tiene varias funciones dentro su metabolismo y para ser asimilado tiene que sufrir una serie de transformaciones que finalmente permita a las plantas utilizarlo en forma de aminoácidos. Estas moléculas son unidades funcionales de las proteínas; forman parte de los ácidos nucleicos, nucleótidos, amidas y aminas. Adicionalmente, el nitrógeno es contenido en la molécula de clorofila y es constituyente estructural de la pared celular (Rodríguez, 2005). Al momento de emplear lodos residuales en suelos es importante considerar las proporciones de este elemento para evitar generación de malos olores o posibles lixiviados que puedan ocasionar un problema adicional de contaminación de aguas superficiales o subterráneas (Huerta & Monserrat, 2004)

La relación C/N es fundamental en un proceso de compostaje y aplicación de materiales en suelos. Los valores obtenidos oscilan en rangos de 2,86 - 5,7 con un valor promedio de 4,06 (ver Tabla 5). Este parámetro mide la rapidez en la que se descompone la materia orgánica de acuerdo al contenido de nitrógeno presente, y nos proporciona información acerca de la estabilidad del lodo en su aplicación al suelo. Según estudios realizados la relación óptima de C/N en la que un lodo se encuentra bien estabilizado y es susceptible a ser utilizado como abono ronda entre 8 a 10 y la relación de C/N óptima inicial para la realización de un proceso de compostaje se encuentra en 25-35 (ver Tabla 6) (Lopez, 2015).

Al comparar los valores analizados podemos evidenciar que la relación obtenida es baja

consecuencia del alto contenido de nitrógeno presente en los lodos. Debido a estas características es fundamental que los lodos de depuradora se mezclen con materiales con características complementarias que contengan menor cantidad de humedad y nitrógeno, una relación de C/N equilibrada, mejor estructura y mejor proporción de polímeros como restos vegetales de diferentes tamaños y composición. Esto permitirá por una parte, mejorar la aeración de la mezcla en el proceso, y por otra conseguir las relaciones de C/N necesarias. De igual forma, se debe tomar en cuenta la pérdida de carbono que es muy superior a la de nitrógeno al momento de someter a los lodos a un proceso de mineralización junto con las transformaciones que sufren estos elementos con el fin de obtener una relación equilibrada de estos dos componentes (Huerta & Monserrat, 2004).

Adicionalmente, los valores de potasio obtenidos se encuentran en un rango de 0,1145-0,1224% con un valor promedio de 0,1186%; al compararlos con los estiércoles y abonos orgánicos utilizados como abonos, se puede ver que estos son ligeramente más bajos; sin embargo, están en el rango de biosólidos utilizados en la agricultura (ver Tabla 5 y 6). Este elemento corresponde a uno de los macronutrientes vitales para las plantas junto con el nitrógeno y fósforo. Se encarga de regular funciones metabólicas, enzimáticas, presión osmótica de las plantas y proveer de resistencia a la misma (Gonz & Pomares, 2008).

En el caso del fósforo disponible, los datos obtenidos oscilan en rangos de 0,435-0,653 % con el valor promedio de 0,576 %. Si comparamos con los valores de biosólidos utilizados internacionalmente en la agricultura, estos se encuentran dentro de los rangos establecidos. Este parámetro agronómico corresponde a uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de cultivos y plantas y su importancia radica en que ningún otro elemento puede remplazar las funciones que tiene dentro del metabolismo vegetal. Juega un papel primordial

en la transferencia de energía, por lo que influye directamente en un proceso eficiente de fotosíntesis (FAO, 2013) “El fósforo se clasifica como un nutriente primario, razón por la cual es comúnmente deficiente en la producción agrícola y los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes. La concentración total de fósforo en los cultivos varía de 0.1 a 0.5 %” (Munera & Meza, 2012, p.4)

La tabla 7 nos muestra los resultados obtenidos en la caracterización microbiológica de cuatro tipos de bacterias patógenas: *Salmonella Cholerasuis*, *Escherichia Coli*, *Shigella Flexneri*, *Enterococcus Faecalis* expresadas en unidades formadores de colonias por cada gramo de lodo (UFC/g). También, se muestra los resultados de huevos de gusanos parásitos, aunque cabe recalcar, que este parámetro se lo realizó cualitativamente determinando presencia o ausencia en cada muestra, mas no el número de huevos presentes. La tabla 8 y 9 muestra los límites permisibles para organismos patógenos y huevos de gusanos parásitos en lodos de depuradora para uso agrícola.

Tabla 7. Parámetros microbiológicos expresados en UFC/g.

Muestra	<i>Salmonella Cholerasuis</i>	<i>Escherichia Coli</i>	<i>Shigella Flexneri</i>	<i>Enterococcus Faecalis</i>	Huevos de Helminto
1	1,78*10 ⁷	6,80*10 ⁷	3,00*10 ⁷	3,40*10 ⁶	ausencia
2	7,13*10 ⁷	1,81*10 ⁷	9,15*10 ⁷	5,27*10 ⁶	presencia
3	7,40*10 ⁷	5,40*10 ⁷	6,00*10 ⁷	7,30*10 ⁷	presencia
4	1,26*10 ⁹	6,95*10 ⁸	3,42*10 ⁸	1,54*10 ⁹	presencia
5	1,64*10 ⁸	2,35*10 ⁸	4,41*10 ⁸	5,97*10 ⁸	ausencia
6	1,48*10 ⁸	5,68*10 ⁸	1,76*10 ⁸	3,20*10 ⁸	presencia
7	1,40*10 ⁷	1,74*10 ⁸	3,00*10 ⁷	2,80*10 ⁷	presencia

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

8	$7,60 \cdot 10^8$	$1,52 \cdot 10^9$	$1,60 \cdot 10^8$	$1,36 \cdot 10^9$	presencia
9	$3,20 \cdot 10^8$	$4,16 \cdot 10^8$	$9,60 \cdot 10^8$	$6,40 \cdot 10^8$	presencia
10	$3,20 \cdot 10^8$	$4,10 \cdot 10^8$	$3,20 \cdot 10^8$	$6,40 \cdot 10^8$	presencia
11	$1,20 \cdot 10^8$	$5,80 \cdot 10^7$	$1,20 \cdot 10^8$	$1,70 \cdot 10^8$	presencia
12	$2,88 \cdot 10^8$	$4,20 \cdot 10^8$	$2,37 \cdot 10^8$	$4,73 \cdot 10^8$	ausencia
Rango	$1,40 \cdot 10^7$	$1,81 \cdot 10^7$	$3,00 \cdot 10^7$	$3,40 \cdot 10^6$	9 de 12 muestras
Promedio	$- 1,26 \cdot 10^9$ $2,88 \cdot 10^8$	$- 1,52 \cdot 10^9$ $4,20 \cdot 10^8$	$- 9,60 \cdot 10^8$ $2,37 \cdot 10^8$	$- 1,54 \cdot 10^9$ $4,73 \cdot 10^8$	-

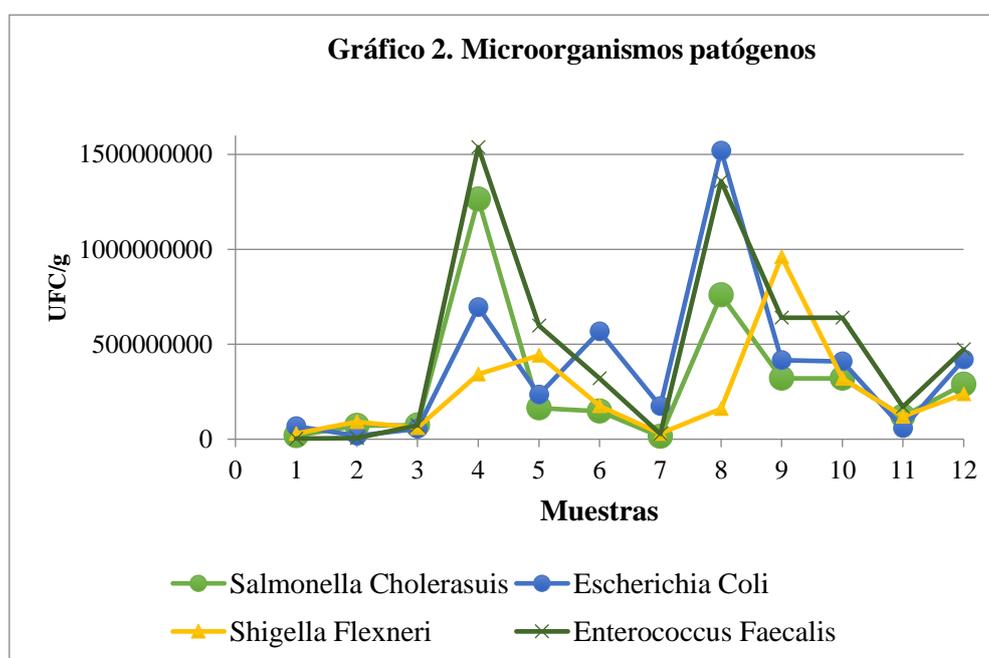


Tabla 8. Límites permisibles para organismos patógenos en lodos de depuradora para uso agrícola

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Unión Europea	
Salmonella spp*	Ausentes en 50 g de materia fresca
E coli*	< 5 x 10 ² UFC/g Producto final
Informe final sobre Criterios Europeos (compost y digeridos)	
Salmonella spp	Ausentes en 25 g compost
E.coli	<1000 UFC/g
USEPA coliformes fecales	Valor Máximo: 6 x 10 ⁶ UFC/100ml en lodos digeridos anaeróbicamente
Francia NFU 44-095:2006	* <i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridium perfringens</i> presencia de <i>Listeria monocytogenes</i> y <i>Salmonellas pp</i>

*establecidos como microorganismos marcadores en las legislaciones correspondientes.

Tabla 9. Límites permisibles para huevos de gusanos parásitos

NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002	Huevos de helmintos/g en base seca
Clase	
A	Menor a 1
B	Menor a 10
C	Menor a 35

Los valores obtenidos de microorganismos patógenos en las muestras analizadas de lodos residuales oscilan entre valores elevados a la sexta potencia (10⁶) siendo el valor más bajo, hasta valores elevados a la novena potencia (10⁹), siendo el valor más alto (ver Tabla 7). La especie más numerosa es *Entoerococcus faecalis*, seguida de *Escherichia coli*, *Salmonella cholerasuis* y por último *Shigella flexneri*. Estos valores nos muestran que la cantidad de organismos patógenos presentes en los lodos es extremadamente alta debido a que son lodos crudos o frescos, es decir no han sido sometidos a un proceso de estabilización.

Los límites establecidos en la legislación de la Unión Europea que regula organismos patógenos en lodos de depuradora, así como en el Informe final sobre Criterios Europeos para compost y digeridos, los límites permisibles para *Escherichia Coli* son de valores de $< 5 \times 10^2$ UFC/g y < 1000 UFC/g en producto final, respectivamente. Por otra parte, la legislación de la Unión Europea exige ausencia de la especie *Salmonella spp* en 50 g de materia fresca, mientras que en el Informe final, ausencia en 25 g compost para la misma especie. Para el caso de la USEPA se establece que el nivel máximo permisible de coliformes fecales debe ser de 6×10^6 UFC/100ml en lodos digeridos anaeróbicamente (ver Tabla 8).

Si bien no existe valores definidos para la legislación francesa, esta exige determinación microorganismos indicadores entre los que incluye a *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* y enterococos y adicionalmente determina la presencia de los microorganismos patógenos *Listeria monocytogenes* y *Salmonellas pp*. Asimismo, en la Legislación Europea se establece como organismos marcadores a la especies de *Salmonella spp* y *Escherichia coli*, especies que fueron determinados en los lodos residuales analizados (ver Tabla 8) (Rocamora, Porto, Alonso, & Navarro-garcía, 2015).

Para el caso de huevos de helminto, 9 de las 12 muestras analizadas indican presencia de estos organismos parásitos y tan solo 3 muestran indican ausencia. La Norma mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 establece clases A, B Y C para lodos de acuerdo a la cantidad de huevos presentes, siendo los biosólidos de mejor calidad los de clase A y los de peor calidad los de clase C. Si bien, en el presente proyecto no se determinó valores cuantitativos de huevos de helminto, se debe hacer énfasis en este parámetro por la prevalencia de los mismos en lodos y su resistencia a procesos de estabilización, siendo estos causantes de enfermedades intestinales con gran incidencia y relativa gravedad (Guillén, Víctor, & Vidal, 2004).

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Si se prioriza la aplicación de lodos de depuradora en suelos, lo más habitual es que se use el proceso de compostaje como sistema de estabilización, en donde los sustratos orgánicos que existen en el material compostado se estabilizan debido a la acción metabólica de los microorganismos. El producto final resultante en el compostaje es orgánicamente estable y por las altas temperaturas alcanzadas se da la destrucción de organismos patógenos que puedan ocasionar efectos perjudiciales en la salud de la población. Este proceso también puede ser apto para destruir enfermedades de plantas, malezas, insectos y huevos de larvas (Huerta & Monserrat, 2004).

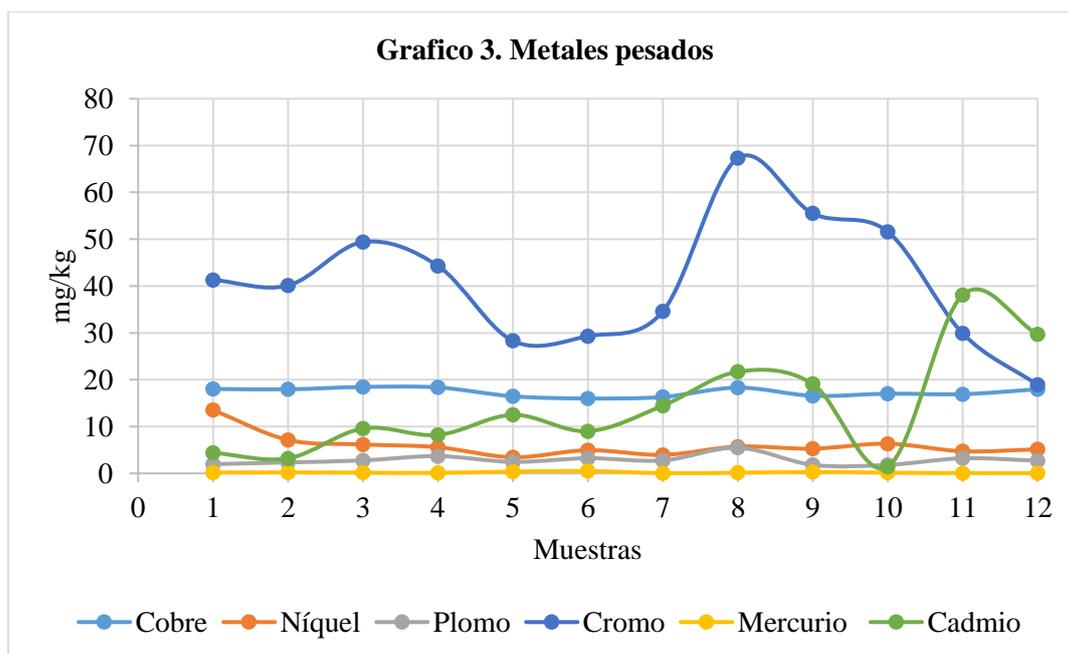
Finalmente en la tabla 10 se expresan los resultados de metales pesados contenidos en las muestras de lodos analizados de la planta piloto de aguas residuales. Los metales que se analizaron son cobre, níquel, plomo, cromo, cadmio, mercurio y zinc, los cuales son normados en diferentes legislaciones sobre biosólidos para uso en la agricultura. En la tabla 11 se encuentran los valores límites permisibles de cada metal establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y Real Decreto 1310/1990 de 29 de Octubre de la legislación española.

Tabla 10. Metales pesados en lodos residuales, expresados en mg/kg.

Muestra	Cobre (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
1	18,04	13,52	1,98	41,3	4,4	0,158	268,9
2	17,95	7,14	2,34	401	3,2	0,1913	396,2
3	18,45	6,18	2,78	49,4	9,6	0,1313	443,9
4	18,35	5,59	3,69	44,3	8,2	0,0913	625,1
5	16,46	3,44	2,46	28,3	12,5	0,378	299,8

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

6	16,00	4,95	3,24	29,3	9	0,4913	164,3
7	16,32	3,96	2,76	34,6	14,45	0,038	196,3
8	18,31	5,72	5,47	67,3	21,7	0,1246	464,6
9	16,56	5,28	1,81	55,5	19,1	0,2846	234,7
10	17,01	6,34	1,81	51,6	1,4	0,1314	209,2
11	16,92	4,72	3,22	29,9	38,09	0,0446	202,8
12	17,95	5,13	2,71	18,9	29,7	0,0113	131,5
Rango	16,00 - 18,45	3,44 - 13,52	1,81 - 5,47	18,9-67,3	1,4- 38,09	0,011- 0,49	131,5-625,1
Promedio	17,35	5,99	2,85	40,87	14,27	0,173	303,10



VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

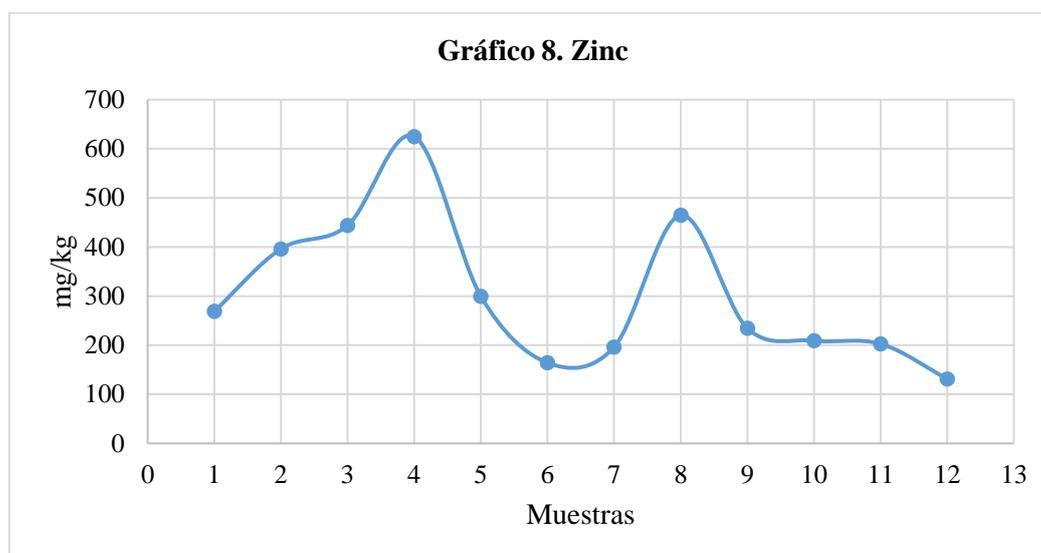


Tabla 11. Valores límite de las concentraciones de metales pesados en lodos, expresados en mg/kg. Normativa internacional.

Metal	Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002		Real Decreto 1310/1990 de 29 de Octubre	
	Excelentes	Buenos	Suelos con pH menor de 7	Suelos con pH mayor de 7
Cobre	1500	4300	1000	1750
Plomo	300	840	750	1200
Níquel	420	420	300	400
Cromo	1200	3000	1000	1500
Cadmio	39	85	20	40
Mercurio	17	57	16	25
Zinc	2800	7500	2500	4000

Los valores obtenidos en los análisis de este estudio sobre el contenido de metales pesados en los lodos residuales, se encuentran en rangos de 16,00 - 18,45 para cobre; 3,44 - 13,52 para

níquel; 1,81 - 5,47 para plomo; 18,9 - 67,3 para cromo; 1,4 - 38,09 para cadmio; 0,04 - 0,39 para mercurio y 131,5 - 625,1 para zinc (ver Tabla 10).

Si comparamos los valores determinados de cada metal con la respectiva normativa aplicable, podemos ver que ninguno sobrepasa los niveles máximos permisibles establecidos tanto en la norma mexicana como en la norma española; a excepción del cadmio. El único metal que rebasa ligeramente uno de los límites impuestos en el Real Decreto 1310/1990 español para suelos con pH menor a 7, es el cadmio en las muestras 11 y 12, con valores de 38,09 mg/kg y 29,7 mg/kg siendo el límite 20 mg/kg. Sin embargo, estas muestras se encuentran por dentro del límite para suelos con pH mayor a 7 de la norma mencionada anteriormente, así como de la norma oficial mexicana.

Altas concentraciones de estos elementos metálicos puede llegar a ser tóxicos y perjudiciales para la actividad biológica de las plantas y seres vivos en general, por su capacidad de bioacumularse o biomagnificarse. El problema principal radica en que estos metales bajo ciertas condiciones, tienen a ser muy móviles y pueden ser asimilados fácilmente por las plantas y cultivos en donde se encuentren. De ser el caso, estos provocan alteraciones en el funcionamiento de las plantas y si se llegan a acumularse en los tejidos, podrían ocasionar un riesgo de contaminación en animales que finalmente deriven en el ser humano. La disponibilidad y el grado de solubilidad de estos elementos están directamente influenciada por el pH por lo que es un factor esencial en la aplicación en suelos (Kabata-pendias & Pendias, 2001).

La cantidad del contenido de metales en lodos residuales está directamente relacionada con el tipo de vertido que suelen ser de tipo industrial. Las industrias en las cuales se usa como materia prima, materiales que contienen cantidades considerables de metales pesados, son fuente

principal del contenido de estos elementos en lodos de depuradora. Si bien es cierto, el canal que atraviesa la Planta Piloto de la EPMAPS ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito recoge vertidos industriales, las concentraciones contenidas no llegan a ser significativas en los lodos generados (Lopez, 2015).

Producción anual de lodos

$$\frac{80 L}{día} \times 0,0252^* \times 365 días \times \frac{1000 cc}{1l} \times \frac{1,08 g}{cc} \times \frac{1kg}{1000g} = 794,70 \frac{kg}{año}$$

$$0,7947 ton/año$$

Ecuación N°1: Cálculo de la producción de lodos anuales

Dosis de aplicación

Tal y como expresa el manual de “Pautas de Trabajo en la explotación de lodos de depuradora en suelo agrícola” (2014) elaborado por la Departamento de Gestión de Residuos Grupo AEMA, por la gran variabilidad que existe en la composición de suelos y lodos tratados se debe realizar un cálculo de la dosificación del lodos individualizado, para conocer la cantidad de lodos a aplicar en un terreno específico. Para esto, se toma en cuenta diferentes elementos, como el cultivo que se va a explotar o la producción estimada por hectárea cultivada. Los pasos básicos que se debe realizar son: Cálculo de la dosis de lodo en función del cultivo a instalar, cálculo de la acumulación de metales pesados tras la aplicación y cálculo de los nutrientes aportados en función de la dosis de lodo (Bayona, 2014).

Cálculo de la dosis de aplicación

* Corresponde al porcentaje promedio de sólidos sedimentables contenidos en las muestras

Por otra parte, la USEPA (1994; 1995) y el Decreto 1287 del año 2014 de la legislación colombiana, establece criterios para la dosis de aplicación de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Para el cálculo de las dosis a aplicar solo se toma en cuenta la concentración de 9 metales pesados (ver Tabla 12), considerados en las normativas anteriormente mencionadas. Donde se calcula la Tasa Anual de Aplicación de Biosólido (TAAB), en toneladas por hectárea por año (ton/ha - año).

$$TAAB = \frac{TMAA}{C \times 0.001}$$

Ecuación N° 2: Fórmula para el cálculo de tasas anuales de aplicación de biosólido.

dónde: TMAA es la Tasa Máxima de Aplicación Anual del parámetro en kg/ha por año; C es la concentración de contaminante en mg/kg y 0,001 es un factor de conversión. Con esto se puede obtener valores de aplicación limitados por cada uno de los nueve contaminantes mencionados, que dan una excelente estimación de la cantidad de biosólidos que se pueden utilizar (Ministerio de Vivienda, 2014).

Tabla de 12. Cálculo de la tasas de aplicación de biosólidos en suelos.

Contaminante	Tasa Máxima anual de aplicación TMAA (kg/ha ¹ año)	Tasa total anual de aplicación de biosólidos (aguas residuales) (TAAB) (ton/ha - año) ¹⁰
Arsénico	2	-
Cadmio	1,9	133,07
Cobre	75	4320,67
Plomo	15	5252,87
Mercurio	0,85	4415,58
Molibdeno	-	-
Níquel	21	3501,90
Selenio	5	-
Zinc	140	461,88

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

¹⁰La tasa total anual se calculó con los promedios en mg/kg obtenidos en la caracterización de lodos residuales de la planta piloto de la EPMAPS para cada metal.

Se realizó el cálculo de las tasas totales anuales de aplicación de biosólidos para cada contaminante establecido en la norma; en donde se muestra la cantidad de lodo en ton/ha-año máximo que se podría aplicar, tomando en cuenta las concentraciones de metales existentes en los lodos residuales de la planta piloto de la EPMAPS, para su aprovechamiento en la agricultura (ver tabla 12). Al momento de calcular dosis de aplicaciones, se debe en primer lugar, determinar las concentraciones de los nueve elementos regulados en la norma y posteriormente, se realiza el cálculo para determinar las tasas totales anuales de aplicación de biosólidos (Ozores-hampton, 2017)

Esto provee de excelentes estimaciones sobre la cantidad de biosólidos que se podrían utilizar; no obstante, uno de los factores que también puede influir y limitar habitualmente las dosis de aplicación, es la cantidad de nitrógeno o dosis agronómicas contenidas. Es por esto, la importancia de saber el contenido de nitrógeno total presente en lodos residuales, con el fin de prevenir posibles contaminaciones por lixiviados generados. Estas estimaciones pueden ser trasladadas a lodos residuales generados a escala real, con el fin de determinar la tasas de aplicación en suelos y evitar que estos de bioacumulen generando otro riesgo adicional y problemas de contaminación (Ozores-hampton, 2017).

CONCLUSIONES

- Mediante la caracterización de los lodos residuales procedentes de la planta piloto se pudo determinar sus características y composición. Comparando los valores obtenidos con estudios previos, valores recomendables y normativa ambiental aplicable, se determinó ciertas restricciones y potencialidades para el aprovechamiento de estos residuos en la actividad agrícola
- Las conductividades eléctricas de las muestras analizadas superan rangos recomendables para procesos de compostaje y aplicación en suelos y cultivos, por lo que puede ser una limitación para su uso en suelos y actividad agrícola. Sin embargo, es importante que en futuros proyectos se realice la determinación de parámetros fisicoquímicos: conductividad eléctrica, y pH en la fracción sólida de las muestras de lodos analizados siendo esta la fracción aprovechable en el campo agrario.
- Para la aplicación de lodos en el sector agrario será esencial realizar el proceso de deshidratación de los mismos, con el fin de reducir su volumen y alcanzar los niveles de humedad final deseada.
- Los valores de parámetros agronómicos obtenidos en los lodos residuales oscilan en rangos cercanos a los usados comúnmente en abonos orgánicos y biosólidos por lo que representan una fuente de nutrientes y materia orgánica útil para su aplicación al suelo. Sin embargo, es indispensable realizar estudios más específicos sobre la evolución del contenido de estos parámetros al someter a los lodos a procesos de estabilización necesarios.
- Es fundamental que los lodos de depuradora se mezclen con materiales con características complementarias que contengan menor cantidad de humedad y

nitrógeno, una relación de C/N equilibrada, mejor estructura y mejor proporción de polímeros para conseguir las relaciones de nutrientes necesarias.

- Los valores obtenidos en la determinación de metales pesados presentes en los lodos residuales, están por debajo de los límites permisibles de la normativa internacional vigente, tanto la mexicana como la española. A pesar de que el contenido de cadmio de dos muestras de lodos analizadas rebasan ligeramente un criterio del límite permisible establecido en la legislación española, no representaría un problema significativo.
- Debido a las altas concentraciones de microorganismos patógenos en todas las muestras, es necesario emplear un proceso previo de estabilización a los lodos residuales antes de a su incorporación al suelo y a su contacto con los cultivos. La opción más adecuada si se prioriza la gestión de lodos como enmiendas orgánicas o abonos, es la de compostaje.
- Debido a la presencia de organismos parásitos, se recomienda un estudio más especializado sobre cuantificación e identificación de huevos de helminto, con el fin de valorar la condición de salubridad de la población Quiteña.
- Si bien las tasas máximas de aplicación de lodos en suelos suministran estimaciones adecuadas y confiables, los factores que limitan la cantidad de biosólidos usados, es con frecuencia las dosis agronómicas, como la cantidad de N necesario para el cultivo. Por esto, es necesario determinar cantidad de N total y disponible de los biosólidos, pérdidas de N, otras fuentes de N y rendimientos esperados, para así obtener los rendimientos requeridos y minimizar la posible lixiviación en aguas subterráneas.
- Los lodos residuales presentan potencialidades para su uso en la agricultura, sin embargo, es necesario emplear un tratamiento posterior a su generación ya que en dichas condiciones no son aptos para su uso en la actividad agrícola.

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

- Es recomendable mantener un control del proceso de secado de lodos residuales debido a los malos olores que se generan por la emisión de compuestos volátiles.

REFERENCIAS

- Arodys, L., Nelson, P., & Essbio, S. A. (2001). LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE AGUAS SERVIDAS : POTENCIALIDADES Y RESTRICCIONES ; TEMORES Y REALIDADES, 1–8.
- Bayona, J. (2014). Pautas de Trabajo en la explotación de lodos de depuradora en suelo agrícola, 24–26.
- Builes B, S. (2010). Tratamiento Y Adecuada Disposición De Lodos Domesticos E Industriales, 36–37. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1835/1/62839B932.pdf>
- Colín Cruz, A., Ayestarán Hernández, L. M., Gutiérrez Segura, E. E., & Torres Pérez, J. (2014). Nuevas aplicaciones de lodos residuales. *Universidad Autonoma Del Estado de México*, 1–10.
- Donado, R. (2012). PLAN DE GESTIÓN PARA LODOS GENERADOS EN LAS PTAR-D DE LOS MUNICIPIOS DE CUMARAL Y SAN MARTÍN DE LOS LLANOS EN EL DEPARTAMENTO DEL META. *Uma Ética Para Quantos?*, XXXIII(2), 81–87. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Fernández, P. J. G. (2010). EFECTOS SOBRE EL SISTEMA SUELO-PLANTA DE COMPOST DE LODO ANAEROBIO. COMPARACIÓN CON UN FERTILIZANTE TRADICIONAL DE LA COMARCA DE CARTAGENA.

Gonz, V., & Pomares, F. (2008). LA FERTILIZACIÓN Y EL BALANCE DE NUTRIENTES EN SISTEMAS AGROECOLÓGICOS, 1–24.

Guillén, S., Víctor, H., & Vidal, M. (2004). Helminfos, 209–212.

Huerta, O., & Monserrat, S. (2004). Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas, 1–9.

Iagua. (2015). Los beneficios de la PTAR Piloto en Vindobona se extenderán al ámbito académico

Kabata-pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants Trace Elements in Soils and Plants*.

Lopez, A. (2015). RECICLAJE DE LODOS DE DEPURADORA :

Ministerio de Ambiente y Medio Rural y Marino de España. (2009). *Caracterizacion de lodos de depuradoras generados en España Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España*.

Ministerio de Vivienda, C. y T. (2014). Decreto numero 1287.

Moeller, G., Ferat, C., & López, R. (2005). I-169 - aplicación del procesamiento termico y alcalino para la desinfección de lodos residuales primarios. un estudio comparativo. *Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária E Ambiental*, (1), 1–5.

Munera, G., & Meza, D. (2012). EL FOSFORO ELEMENTO INDISPENSABLE.

Ozores-hampton, M. (2017). Uso de Biosolidos en Producción de Hortalizas 1, 1–9.

Rocamora, I. N., Porto, C. G., Alonso, L. P., & Navarro-garcía, F. (2015). Uso de lodos de depuradora en agricultura : patógenos y resistencias a antibióticos The agricultural use of

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

water treatment plant sludge : patogénicos e resistència a antibióticos, *15*(2), 113–120.

Rodriguez, C. (2005). Efecto del nitrogeno, fosforo y poasio en el crecimiento y produccion de plantulas de tomate, 5–5.

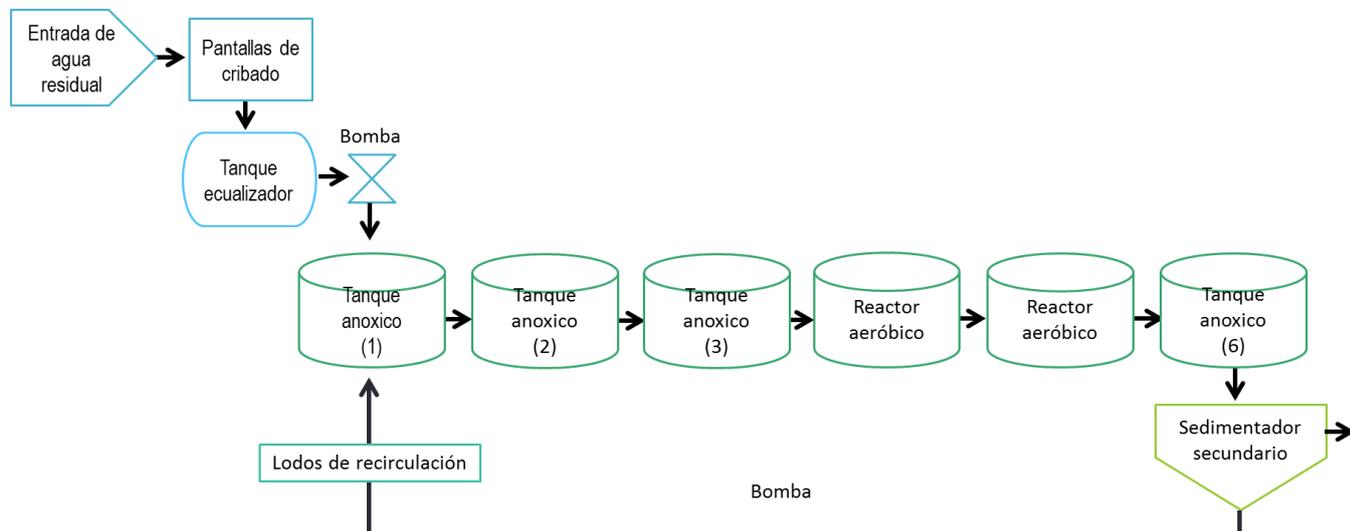
Soliva, M., & López, M. (2004). Calidad del compost : Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso, 1–20.

Torres, E. (2004). Reutilización de aguas y lodos residuales, 11. Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>

Utria, E., Reynaldo, I., Cabrera, A., Morales, D., & Morúa, A. (2006). RESIDUALES DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS.

ANEXO A

A-1. Diagrama de flujo de la planta piloto de aguas residuales



A-2. Fotografías de la planta piloto de aguas residuales y procesos realizados en laboratorio para los análisis.

Foto 1. Canal de transporte de aguas residuales	Foto 2. Toma de muestras de lodos desde la manguera de recirculación	Foto 3. Almacenamiento de muestras en coolers
		

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Foto 4. Series de tanques anóxicos y aeróbicos de la planta piloto de aguas residuales



Foto 5. Deshidratación previa de los lodos en planchas de calentamiento



Foto 6. Secado de los lodos en la estufa a 105°C



Foto 7. Separación de agua mediante embudo de decantación.



VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Foto 8. Muestra de lodos filtrada	Foto 9. Muestra de lodos seca
	

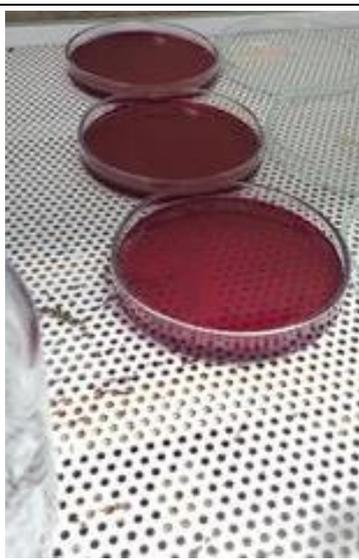
Foto 10. Muestras almacenadas en base seca	Foto 11. Digestión para medición de metales	Foto 12. Medios de cultivo
		

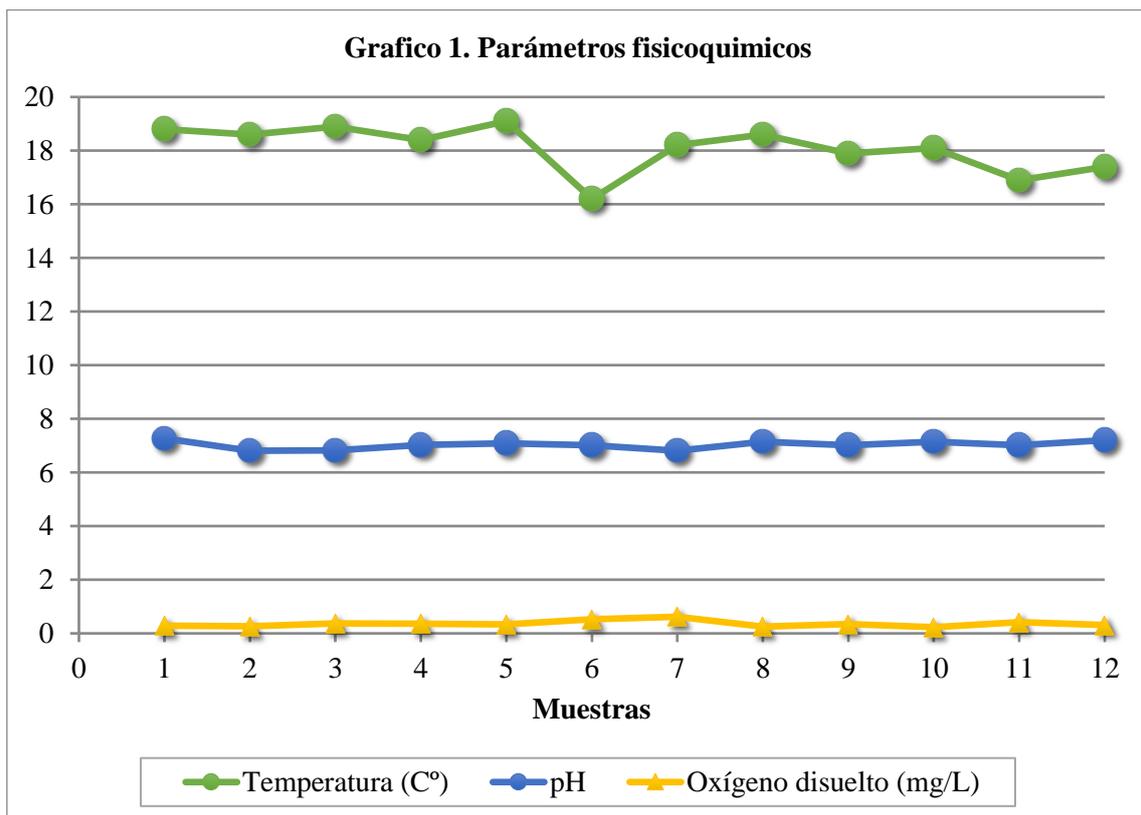
Foto 13. Centrifuga MIDCISS 0 a 50000 RPM	Foto 14. Tubos de centrifuga de 50 mililitros
--	--

VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

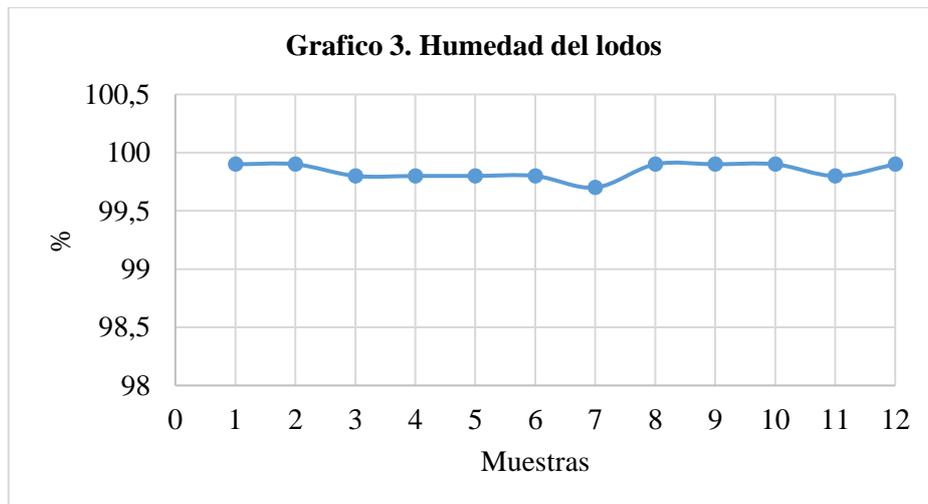
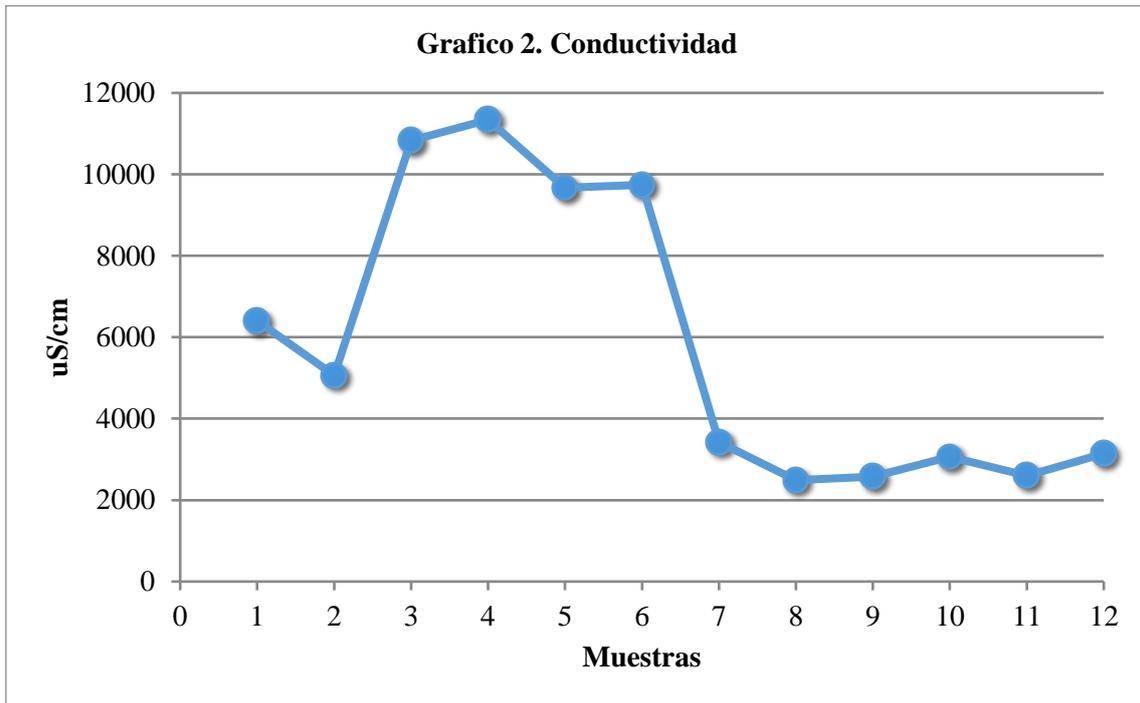


ANEXO B

B-1. Gráficos de dispersión de parámetros fisicoquímicos analizados.



VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA



VALORACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA EPMAPS QUITO PARA SU APROVECHAMIENTO EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

