

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA
DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE LOS LABORATORIOS DE LA
ECAA.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LÍNEA 4: GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES

SUBLÍNEA: AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

AUTOR: ERICK STEEVEN BOSMEDIANO MEDIAVILLA
ASESORA: MSC. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

IBARRA, JULIO DE 2021



CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

Ibarra, 02 de julio del 2021

Msc. Moraima Cristina Mera Aguas

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:) 

Msc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C: 1001743721



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI)

(f):

A blue ink signature of Msc. Moraima Cristina Mera Aguas.

Msc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C: 1001743721

(f):

A blue ink signature of Msc. Diego Leopoldo Mejía Romo.

Msc. Diego Leopoldo Mejía Romo

C.C: 1001912961

(f):

A blue ink signature of PhD. Ruben del Toro Deniz.

PhD. Ruben del Toro Deniz

C.C: 1757544471



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Erick Steeven Bosmediano Mediavilla, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilizations de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 02 de julio del 2021

f):

Erick Steeven Bosmediano Mediavilla.

C.C: 1003984109



AUTORÍA

Yo, Erick Steeven Bosmediano Mediavilla, portador de la cédula de ciudadanía N. 100398410-9, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f):

A small, square, grayscale image of a handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Erick Steeven Bosmediano Mediavilla'.

Erick Steeven Bosmediano Mediavilla

C.C.: 1003984109



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Erick Steeven Bosmediano Mediavilla, con CC 100398410-9, autor del trabajo de grado intitulado: Propuesta de tratamiento de lodos generados en la planta depuradora de aguas residuales de los laboratorios de la (ECAA) previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental y Ecodesarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 02 de julio del 2021

(f.)

Erick Steeven Bosmediano Mediavilla

C.C. 1003984109



DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: “Propuesta de tratamiento de lodos generados en la planta depuradora de aguas residuales de los laboratorios de la ECAA.” lo propuesto en el Código de Ética de la Investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE.

(f.)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Erick Steeven Bosmediano Mediavilla', is written over a light gray rectangular background.

Erick Steeven Bosmediano Mediavilla

C.C: 1003984109

Carrera: Ingeniería en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Ibarra, 02 de julio del 2021



DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico a mis padres quienes son el pilar fundamental de mi vida, y que a través de mi formación académica me han apoyado económica y moralmente manteniendo siempre su amor incondicional, para verme cumplir mis sueños y metas especialmente el de ser un gran profesional y sentirme orgullo de ser su hijo, aquel que nunca les va a fallar.

A mis queridas hermanas quienes han venido apoyándome, convirtiéndose en mi fuente de motivación.

A mis sobrinos que son mi aliento para seguir adelante ya que ellos se reflejan en mis logros, son mi fortalece para nunca decaer y seguir en pie ante cualquier adversidad.

Erick Steeven Bosmediano Mediavilla



AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por haberme puesto a personas que se han convertido en mi apoyo que han brindado la mano con el pasar de los años y estuvieron ofreciendo un granito de arena a esta investigación.

A mi familia en especial a mis padres que les debo la vida entera, mi respeto y admiración, los cuales me enseñaron la dureza de la vida, la dedicación, y el esfuerzo el cual trae sus recompensas, agradezco por el apoyo incondicional, por acompañarme en mi vida universitaria y en la vida diaria como hijo, estudiante, músico y deportista.

A mis hermanas y sobrinos los cuales son y seguirán siendo mi fortaleza más grande para seguir luchando por mis sueños sin rendirme luchando hasta el final, por sus regaños, peleas y sobre todo su amor que me ayuda a seguir en pie.

Agradezco a mi Institución a mis maestros y compañeros con los cuales he convivido muchas experiencias, en especial a mi asesora Moraima Mera quien me impartió sus conocimientos dirigido a un ambiente sano y sostenible, por enseñarme los miles de formas de enfrentar los problemas, con sus palabras de aliento “No tengas miedo así se aprende a trabajar, tú puedes”.

A Nicole que es una mujer excelente que ha venido apoyándome día tras día y dándome palabras de aliento para no desistir, estar culminando mi carrera y cumpliendo uno de tantos sueños.

Índice de contenido

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iv
AUTORÍA	v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	vi
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPITULO I.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO II.....	19
OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo General.....	19
2.2. Objetivos Específicos	19
2.3. Pregunta Directriz	19
2.4. Hipótesis	19
CAPÍTULO III.....	20
ESTADO DEL ARTE.....	20
3.1. Breve descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de los laboratorios de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.....	20
3.2. Lodo residual generado en PTAR.....	21
3.3. Clasificación de los lodos.....	22
3.4. Efecto del pH.	23
3.5. Tratamiento de los lodos residuales.	23
3.5.1. Espesamiento.	24
3.6. Estabilización.....	26
3.7. Acondicionamiento.....	27
3.8. Deshidratación.....	28
3.9. Normativa para el uso y aprovechamiento de lodos residuales.	29
CAPÍTULO IV	33
MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.1. Materiales Equipos y reactivos.....	33

4.2. Métodos.....	33
4.3. Cuantificación de lodos para el diseño del lecho de secado.	34
CAPÍTULO V	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1. Cuantificación de lodos.	42
5.2. Cálculo del volumen del lodo (tanque).	42
5.3. Caracterización de lodos obtenidos de la PTAR que trata el agua residual de los laboratorios de la ECAA.	46
5.4. Análisis estadísticos.....	51
5.5. Propuesta para el tratamiento de lodos residuales de la PTAR.....	54
5.6. Socialización de tema de investigación.	55
CAPÍTULO VI.....	56
CONCLUSIONES	56
CAPÍTULO VII.....	58
RECOMENDACIONES.....	58
ANEXOS	65

Índice de Tablas

Tabla 1. Procesos, métodos y su función en el tratamiento de lodos residuales	24
Tabla 2. Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos residuales	30
Tabla 3. Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos residuales	31
Tabla 4. Métodos de análisis para determinaciones fisicoquímicas	34
Tabla 5. Descripción y características del muestreo.....	36
Tabla 6. Frecuencia del muestreo	37
Tabla 7. Parámetros analíticos del espectrofotómetro de absorción atómica GBC ...	39
Tabla 8. Cálculo del porcentaje de humedad	43
Tabla 9. Cantidad de lodo húmedo y seco.....	45
Tabla 10. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados para la caracterización en los lodos.....	47
Tabla 11. Datos para el test de Shapiro -Wilks (Porcentaje de Humedad).....	51
Tabla 12. Valores obtenidos para el cálculo de Shapiro –Wilks	52
Tabla 13. Datos para el test de Shapiro -Wilks (pH)	52
Tabla 14. Valores obtenidos para el cálculo de Shapiro –Wilks	53
Tabla 15. Prueba de t student para normalidad	53
Tabla 16. Cuantificación del volumen y masa de lodos secos y húmedos.	65
Tabla 17. Análisis estadísticos para el porcentaje de humedad y pH.....	66
Tabla 18. Análisis estadísticos para los metales analizados.	66
Tabla 19. Inversión económica para implementar el lecho de secado.	83

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Diagrama de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.....	21
<i>Figura 2.</i> Partes que constituyen un lecho de secado	29
<i>Figura 3.</i> Elementos de un espectrofotómetro de AA.	32
<i>Figura 4.</i> Curva de calibración para el plomo en los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.	40
<i>Figura 5.</i> Curva de calibración para el cromo y el hierro en los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.	41
<i>Figura 6.</i> Curva de calibración para el cobre y el cadmio en los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.	41
<i>Figura 7.</i> Masa de lodo húmedo y seco en el tercer tanque en la PTAR de la ECAA.....	48
<i>Figura 8.</i> pH inicial y final en el tercer tanque en la PTAR de la ECAA.	49
<i>Figura 9.</i> Porcentaje humedad inicial y final en el tercer tanque en la PTAR de la ECAA.....	49
<i>Figura 10.</i> Concentración de metales inicial y final en el tercer tanque en la PTAR de la ECAA.....	50

Índice de Anexos

Anexo 1. Base de datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación.....	67
Anexo 2. Equipos usados en el laboratorio de la ECAA para análisis físicos y químicos.....	68
Anexo 3. Norma NOM-004-SEMARNAT-2002.....	70
Anexo 4. Socialización de la investigación	71
Anexo 5. Tabulación de las encuestas realizadas en la socialización del tema de investigación	72
Anexo 6. Registro fotográfico de los procesos de la PTAR.....	65
Anexo 7. Propuesta de tratamiento de lodos generados en la planta depuradora de aguas residuales de los laboratorios de la ECAA.....	75
Anexo 8. Planos del lecho de secado	84

RESUMEN

Las aguas residuales provenientes de los laboratorios de la ECAA, son tratadas en una planta de tratamiento mediante floculación, ablandamiento y osmosis inversa, los lodos producidos en este proceso se acumulan en un tercer tanque de almacenamiento para su posterior entrega a un gestor y su disposición final; en esta investigación se analizó en el laboratorio algunos parámetros físicos y químicos de los lodos, como pH, porcentaje de humedad y metales en ppm (plomo, cromo, cobre, cadmio y hierro) para su posterior caracterización. La técnica de análisis para determinar la concentración de metales fue espectrofotometría de absorción atómica, método de llama, los valores obtenidos fueron para el Cr (inicial 2,265 ppm y final 2,530 ppm), Cd (inicial 1,013 ppm y final 1,085 ppm), Cu (inicial 19,169 ppm y final 19,820 ppm) y Pb (inicial 40,927 ppm y final 32,577 ppm), estos resultados se compararon con lo requerido en la norma NOM-004- SEMARNAT-2002 y se estableció que la concentración de los metales analizados en los lodos no sobrepasa los límites máximos permisibles según la norma mencionada, además se obtuvo los siguientes datos., para el Fe (inicial 32,678 ppm y final 32,756 ppm), tendencia ácida del pH y el porcentaje de humedad supera el 72%. Para determinar la cantidad de lodos producido en los siete meses, se cuantificó su volumen en base húmeda y seca, cuya cantidad acumulada fue de 5,6 kg y 3,1 kg respectivamente. Según estos resultados y luego de un análisis técnico y económico se propone para su manejo el espesamiento, mediante la deshidratación por gravedad, diseñando una infraestructura para un lecho de secado cuyo volumen corresponde a las características y cantidad de lodos producidos durante el desarrollo de esta investigación.

Palabras claves: lodos, metales pesados, lecho de secado, reúso

ABSTRACT

The wastewater from the ECAA laboratories is treated in a treatment plant through flocculation, softening and reverse osmosis, the sludge produced in this process is accumulated in a storage tank for subsequent delivery to a manager and final disposal. ; In this research, some physical and chemical parameters of the sludge were analyzed in the laboratory, such as pH, percentage of humidity and metals in ppm (lead, chromium, copper, cadmium and iron) for their subsequent characterization. The analysis technique to determine the concentration of metals was atomic absorption spectrophotometry, flame method, the values obtained were for Cr (initial 2,265 ppm and final 2,530 ppm), Cd (initial 1,013 ppm and final 1,085 ppm), Cu (initial 19,169 ppm and final 19,820 ppm) and Pb (initial 40,927 ppm and final 32,577 ppm), these results were compared with what is required in the NOM-004-SEMARNAT-2002 standard and it was established that the concentration of the metals analyzed in The sludge does not exceed the maximum permissible limits according to the mentioned standard, in addition the following data was obtained, for Fe (initial 32,678 ppm and final 32,756 ppm), acidic tendency of the pH and the percentage of humidity exceeds 72%. To determine the amount of sludge produced in the seven months, its volume was quantified on a wet and dry basis, whose accumulated amount was 5.6 kg and 3.1 kg respectively. According to these results and after a technical and economic analysis, thickening is proposed for its management, through gravity dehydration, designing an infrastructure for a drying bed whose volume corresponds to the characteristics and quantity of sludge produced during the development of this research.

Keywords: sludge, heavy metals, drying bed, reuse

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Para tratar las aguas residuales producidas y descargadas por las industrias y otras actividades de la población, se han desarrollado plantas de tratamiento para disminuir su contaminación y proteger al ambiente, estos tratamientos como resultado de su proceso generan lodos, siendo necesario tener una gestión adecuada para su manejo y posterior uso. Las caracterizaciones y el tratamiento de los lodos no están regulados en nuestro país y al no existir una normativa vigente se empleará como referencia de esta investigación la norma mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, que permite clasificar y caracterizar los lodos. En función de los resultados obtenidos, se presenta una propuesta que nos permite diseñar una alternativa para su disposición de forma que no causen afectación al ambiente o al entorno.

Metcalf y Eddy (1995), plantean que, el lodo, dentro de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es el subproducto con mayor volumen, por lo que su manejo, transporte, procesos, aprovechamiento y disposición final son más complejos, y que, en el proyecto de las plantas, los fangos obtenidos del agua residual tienen un papel de igual o mayor importancia.

De acuerdo con Cortez (2003) y Kuchenrither (1992), dicha problemática se genera a nivel mundial por la generación de lodos a través de las PTAR y para ser transformados en biosólidos los países crearon su reglamento para el adecuado manejo de este producto. Debido a su composición puede ser utilizado en diferentes actividades, una de ellas, como acondicionador físico del suelo mejorando características como la porosidad, la infiltración y el aumento de la resistencia a la erosión. Sin embargo, Eger (1978), Pattero (1979), Coker y Matthews (1983), establecen que, el uso de lodos residuales como mejoradores de

suelos con o sin tratamiento previo, dependiendo de las condiciones particulares de cada caso, aportan al suelo los nutrimentos que el lodo contiene y que son elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, la materia orgánica mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como estructura, permeabilidad y poder de amortiguamiento.

Para Geertsema et al. (1994), los lodos se pueden usar también en la producción de ladrillos cerámicos, pero Nuvalori (2002) y Hernández (2006), establecen que, los estudios de aprovechamiento de los lodos aluminosos en la fabricación de ladrillos cerámicos muestran la necesidad de evaluar contenido de humedad, tamaño de partícula, plasticidad y composición mineralógica, que determinan el comportamiento de variables críticas como la resistencia a la compresión y la absorción.

Por tanto, las características del lodo obtenido están condicionadas por el origen de las aguas residuales, en este caso la calidad de agua que ingresa a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) proviene de los laboratorios de la ECAA y depende en mayor medida del tipo y cantidad de prácticas e investigaciones que se desarrollen. Los lodos generados, actualmente se almacenan en un tercer tanque para posteriormente entregarse a un gestor autorizado, esto conlleva a buscar tratamientos adecuados para su manejo previa caracterización y proponer una opción para su reúso.

En consecuencia, el presente trabajo tiene como propósito elaborar una propuesta viable técnica y económicamente para el tratamiento de lodos generados en la planta de aguas residuales de los laboratorios de la ECAA previa caracterización y cuantificación.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General.

Elaborar una propuesta de tratamiento de lodos generados en la planta depuradora de aguas residuales de los laboratorios de la ECAA.

2.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar los lodos de la PTAR en función de tiempo con la finalidad de calcular el volumen a tratar.
- Establecer la composición físico - química de los lodos mediante técnicas analíticas para determinar el grado de contaminación.
- Elaborar una propuesta técnica para el manejo adecuado de lodos generados en la PTAR de la ECAA.

2.3. Pregunta Directriz

¿Se pueden aprovechar los lodos residuales producidos en la PTAR de la ECAA, previa su deshidratación en lechos de secado?

2.4. Hipótesis

Ho: Los lodos provenientes de la PTAR de los laboratorios de la ECAA son aptos para reúso puesto que contienen concentraciones de metales pesados por debajo de los límites máximos permisibles.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Breve descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de los laboratorios de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

La PTAR que trata las aguas residuales que provienen de los laboratorios de la ECAA, en forma general dispone de las siguientes unidades:

1. Sistema Pretratamiento: Consta del sistema de captación primario, un proceso de floculación, un sistema de captación secundario, un sistema de recirculación y un mecanismo de ozonización.
2. Operación Sistema Pre-Filtración: En esta etapa el agua residual acondicionada es micro filtrada por dos medios filtrantes a base de carbón activado y zeolita y un proceso de adsorción por intercambio iónico y finaliza en un filtro pulidor de microporo para asegurar que ninguna partícula en suspensión llegue al ingreso del sistema de ósmosis inversa.
3. Operación del Sistema de Ósmosis Inversa: Su funcionamiento es semiautomático y se lo activa cuando la cisterna de captación secundaria contiene el efluente pretratado lo suficientemente aireado y reposado para asegurar la eliminación del ozono residual.

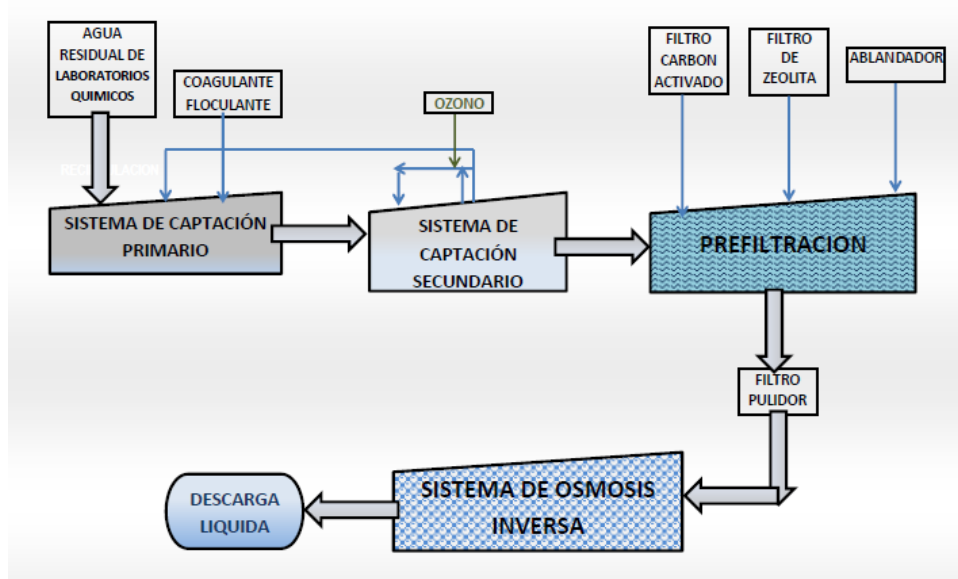


Figura 1. Diagrama de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

Fuente: PUCESI (2014)

3.2. Lodo residual generado en PTAR.

De acuerdo con Moeller et al. (2000), el lodo residual, es el 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.

Según Oropeza (2006), el tratamiento del agua residual industrial o doméstica se realiza mediante procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de eliminar sustancias y/o elementos contaminantes y perjudiciales para el agua, la cual, posterior al tratamiento es vertida a cuerpos de agua o utilizada en procesos agrícolas; los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen residuos sólidos como arena, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0,25 y el 12% en peso.

Mientras que Colín (2010), establece que, los lodos residuales son un residuo sólido, semisólido o líquido proveniente del tratamiento de agua y están constituidos de microorganismos que remueven la materia orgánica del agua residual que emplean como alimento. Sin embargo, la composición varía en función de las características fisicoquímicas y microbiológicas.

Sobre el reúso de los lodos Mejía et al. (1998), Nuvalori (2002), Guimarães et al. (2003), Andreoli (2005) y Hernández (2006), consideran su uso como reemplazo parcial de uno de los materiales, lo que puede traer beneficios como la disposición ambiental segura para residuos potencialmente peligrosos, reducción de la contaminación hídrica causada por su vertimiento, menores gastos de energía, transporte y fabricación y menor utilización de recursos naturales, la reducción de la vegetación comprometida en la extracción de arcilla (principal componente del ladrillo), aumentando la vida útil de las canteras y puede llegar a reducir los costos de recomposición de áreas con vegetación nativa.

3.3. Clasificación de los lodos.

García (2009), considera que, en principio, los lodos pueden ser clasificados en tres categorías: aprovechables, no aprovechables y peligrosos.

- **Lodos Aprovechables:** Son los lodos provenientes de un proceso de tratamiento que pueden ser reutilizado directa o indirectamente en reciclaje, compostaje y generación de energía. La mayoría de los lodos provenientes de los procesos de tratamiento aerobios y anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales, una vez estabilizados, pueden ser utilizados como abonos, acondicionadores y restauradores de suelos.
- **Lodos No Aprovechables:** Son lodos que no tienen características aceptables para algún aprovechamiento, por ejemplo, tienen muy poca o nula carga orgánica o poder calorífico muy bajo, estos pueden ser desechados junto con los residuos

sólidos de origen doméstico en rellenos municipales o mono rellenos. En esta categoría se encuentran los retenidos por rejillas gruesas y finas de las plantas de tratamiento.

- **Lodos Peligrosos** Son aquellos que contienen sustancias que pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente que deben ser dispuestos en sitios especiales con las medidas adecuadas de seguridad. Comúnmente se suele confundir el término lodo y biosólido. La principal diferencia radica en que el biosólido es un lodo ya estabilizado, es decir, que ha tenido un proceso de tratamiento destinado a reducir la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patogenicidad, logrando reducir el nivel de peligrosidad y el grado de restricción para su reutilización.

3.4. Efecto del pH.

Jaramillo (2002), comenta, la determinación del pH está basada en la medida de la actividad de iones hidronio (H^+) en la suspensión lodo: agua, establecida con base en una relación peso: volumen. El pH es definido como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion hidronio. Para medir el pH se usan métodos potenciométricos, los cuales se basan en la comparación entre el potencial eléctrico producido por los iones H^+ en solución y el potencial constante que produce un electrodo de referencia. El pH varía con respecto a la temperatura por lo que es necesario corregir la lectura a la temperatura a la cual esté calibrado el electrodo.

3.5. Tratamiento de los lodos residuales.

Gualoto (2016), establece, que los procesos de estabilización de los lodos residuales son aplicados para controlar olores y reducir patógenos, así como también, disminuir el contenido de humedad y materia orgánica para su posible aprovechamiento y disposición final.

Tabla 1.

Procesos, métodos y su función en el tratamiento de lodos residuales

Proceso Unitario	Método de tratamiento	Función
Espesamiento	Por gravedad	Disminución del volumen
	Por flotación	
	Por centrifugación	
	Filtro de bandas	
	Con cal	
Estabilización	Tratamiento térmico	Disminución de patógenos
	Digestión anaerobia y aerobia	Control de olores
		Digestión de materia orgánica
		Disminución de patógenos
		Digestión de materia orgánica
		Disminución de masa
	Compostaje	Disminución de patógenos
		Control de olores
		Digestión de materia orgánica
		Recuperación de productos
		Disminución de patógenos
Acondicionamiento	Vermiestabilización	Control de olores
		Digestión de materia orgánica
		Recuperación de productos
		Generación de productos
Deshidratación	Químico	Preparación del lodo
	Térmico	
	Filtro de vacío, de banda, de prensa	Disminución de volumen
	Centrifuga	
	Lechos de secado	Disminución de volumen
Tratamiento térmico	Lagunaje	
	Instantáneo	Almacenamiento
	Pulverización	
	Horno rotativo	
	Evaporadores de efecto múltiple	

Fuente: Adaptación de Metcalf y Eddy (1995)

A continuación, se detallan los diferentes procesos y operaciones aplicables a lodos residuales, según Gualoto (2016).

3.5.1. Espesamiento.

Conocido también como concentración, este procedimiento consiste en aumentar los sólidos del lodo para eliminar el agua intersticial del mismo y lograr la

disminución del volumen entre un 5 a 10% del volumen inicial. En ese espesado, se pueden utilizar procedimientos físicos como:

3.5.1.1. Espesamiento por gravedad.

El espesado se realiza en tanques circulares similares a un tanque de sedimentación convencional. En este proceso, los mecanismos rotatorios de baja velocidad del tanque hacen que las partículas del lodo incrementen la sedimentación y compactación. Como resultado, se tiene el lodo espesado que se ubica en el fondo del tanque y un sobrenadante que retorna al tratamiento.

3.5.1.2. Espesamiento por flotación por aire disuelto.

Este tratamiento, se utiliza comúnmente para el espesamiento de lodos secundarios. La tecnología, consiste en sobresaturar con aire la corriente de agua que se encuentra a una presión determinada, luego se despresuriza la corriente a tratar, generando burbujas de aire que al ascender atrapan las partículas de lodo y arrastran hasta la superficie del reactor para ser extraídas.

3.5.1.3. Espesamiento por centrifugación.

Esta tecnología se utiliza para espesar o deshidratar lodos y consiste en introducir el lodo en un tanque, donde por acción de la fuerza centrífuga la materia sólida es empujada hacia las paredes del tanque.

3.5.1.4. Espesamiento por filtro de banda.

Este método consiste en una banda que se desplaza sobre rodillos, mediante una cámara el lodo es distribuido uniformemente sobre todo el ancho de la banda para que el agua escurra. Durante el recorrido por la banda, unas cuchillas forman surcos en el lodo, lo cual permite que el agua liberada pase a través de la banda.

3.6. Estabilización

Para Metcalf y Eddy (1995), los lodos residuales son considerados altamente nocivos, pero después de un proceso de estabilización pueden ser reutilizados y dispuestos en el ambiente sin causar daños al mismo.

La estabilización tiene el propósito de disminuir patógenos, eliminar olores ofensivos, inhibir o eliminar su potencia de putrefacción, así como también disminuir el volumen y masa de los lodos residuales.

Según Escalante et al. (2005) y Peñaherrera (2015), los parámetros que se controlan en un lodo estable son:

- Producción de olor
- Disminución de patógenos
- Relación de sólidos volátiles y totales

Sobre esto Encarnación y Enríquez (2014), Metcalf y Eddy (1995) y Torres et al. (2005), establecen que, la relación entre sólidos volátiles (SV) y sólidos totales (ST), representa la fracción de materia orgánica que se busca disminuir (SV/ST entre 0,3 – 0,4). Entre las tecnologías de estabilización de lodos, se encuentran:

3.6.1. Digestión aerobia.

Escalante et al. (2005), dicen que esta digestión, se aplica principalmente para estabilizar lodos biológicos, su objetivo es oxidar los sólidos biológicos y otros componentes biodegradables, disminuir la masa y volumen y disminuir la cantidad de patógenos. Este proceso consiste en la oxidación directa de la materia biodegradable y del material celular microbiano por los organismos.

3.6.2. Digestión anaerobia.

Moeller et al. (2005), establecen que, la digestión anaerobia, se considera adecuada para la estabilización cuando el contenido de sólidos volátiles en el lodo es del 50 % o más y cuando no hay sustancias inhibidoras para el proceso. Se emplea para lodos primarios y lodos mixtos.

Según Noyola (2000), consiste en degradar los sólidos orgánicos en ausencia de oxígeno por microorganismos anaerobios y tiene lugar en dos fases principales:

- Digestión ácida, cuando el pH baja a 5,5 y los microorganismos atacan sustancias presentes en el lodo y se forman ácidos orgánicos, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico.
- Digestión alcalina, cuando el pH sube hasta 7,4 y los productos de la primera fase se transforman en metano y dióxido de carbono.

3.7. Acondicionamiento

Fall (2005), considera que, debido a las características del agua que se encuentra combinada con las partículas sólidas del lodo residual, es necesario acondicionar para mejorar la eficiencia de los tratamientos siguientes como: el espesamiento y deshidratación.

Este proceso, consiste en modificar la estructura de relación entre el sólido y el agua, para liberar las moléculas acuosas del líquido e incrementar la velocidad de escape del agua desde la matriz del lodo.

De esta manera, según Metcalf y Eddy (1995), los métodos más comunes consisten en la adición de reactivos químicos (coagulantes inorgánicos o

polímeros) y el tratamiento térmico. Otros métodos menos utilizados son; (congelación, elutriación (lavado) y añadido del material abultante.

3.8. Deshidratación

Según Valencia (2008), es un proceso que consiste en disminuir el volumen, mediante la disminución del agua capilar de adhesión contenida en el lodo, con el fin de abaratar costos de transporte y facilitar la manipulación. Para ello, se emplean métodos estáticos mediante lechos de secado y lagunas, pero representan mayor tiempo de deshidratado y métodos mecánicos que incluyen filtros al vacío, de banda y prensa o centrifugas que acortan el tiempo de deshidratado; sin embargo, se limitan a cantidades pequeñas de lodo y son más costosas.

Martínez (2012), dice que, al momento de elegir entre una de estas, se debe considerar la cantidad y estructura del lodo, disponibilidad de espacio y personal para operación y mantenimiento.

3.8.1. Lechos de secado.

Los lechos de secado son utilizados para disminuir el volumen, de acuerdo con el tipo y cantidad de lodos generados por una PTAR.

La disminución del volumen consiste en colocar una capa de grava y una tubería de desagüe, en un área extendida con una pendiente, de esta forma el lodo se deshidrata mediante gravedad y se evapora. En la figura se observa en forma general las partes que constituyen un lecho de secado.

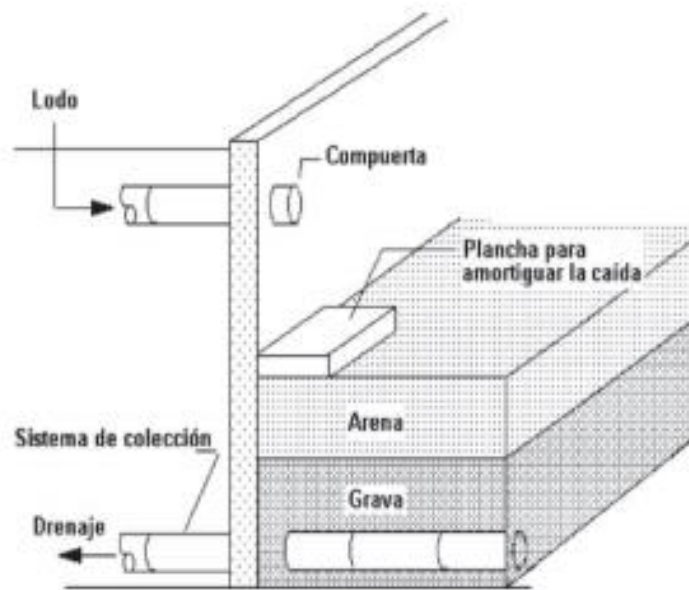


Figura 2. Partes que constituyen un lecho de secado.

Fuente: Adaptación de Martínez (2012)

3.9. Normativa para el uso y aprovechamiento de lodos residuales.

Actualmente en Ecuador no se cuenta con una normativa para lodos residuales que controle los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. En ese sentido, se adoptó normativas internacionales, como la CFR 40 PARTE 503 “Norma para el Uso o Eliminación de Lodos Residuales” de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US- EPA) y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, las cuales están siendo aplicadas en el país.

3.9.1. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SERMANAT-2002, establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. (Ver Anexo 3)

Con esta norma se comparan los datos obtenidos para los análisis fisicoquímicos de pH, porcentaje de humedad y metales en ppm (Pb, Cr, Fe, Cd y Cu)

Tabla 2.

Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos residuales

Contaminante (Determinados en forma total)	Excelentes (mg/kg) En base seca	Buenos (mg/kg) En base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Selenio	100	100
Zinc	2800	7500

Fuente: Metcalf y Eddy (1995)

3.9.2. US-EPA 40 Parte 503. Norma para el uso o eliminación de lodos residuales.

La US-EPA CFR 40 PARTE 503 establece que las normas que contemplan requisitos generales, los límites de contaminantes, prácticas de gestión y las normas de funcionamiento para el uso o eliminación de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de una PTAR, US-EPA (1995).

En la Tabla 3, se indica las concentraciones máximas para metales pesados en lodos residuales y las concentraciones para metales pesados para ser aplicados en tierras agrícolas, bosques, contacto directo en el público, recuperación *in situ*, jardines de casa entre otros.

Tabla 3.

Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos residuales

Contaminante	Concentración de Contaminantes para aplicación (mg/kg) en base seca	Concentración máxima (mg/kg) en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Selenio	100	100
Zinc	2800	7500

Fuente: Metcalf y Eddy (1995).

El MAE (2013), establece que, en Ecuador, los lodos residuales producidos por plantas de tratamiento de industrias se disponen en rellenos sanitarios, siendo la opción menos favorable ya que, además de contribuir a disminuir la vida útil de relleno sanitario, puede existir una proliferación de microorganismos patógenos, poniendo en riesgo la salud pública.

Según Arboleda (2000), considera que la disposición final de los lodos, sin ningún tratamiento, causa impactos sobre cuerpos de agua, suelos y riesgos a la salud pública debido a sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

3.9.3. Espectrofotometría de absorción atómica.

Gallegos, Vega y Noriega (2012), establecen que, en la espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con llama (aspiración directa) la muestra se aspira y atomiza en una llama. Un rayo de luz proveniente de una lámpara de cátodo

hueco, o de una lámpara de descarga, se dirige a través de la llama a un monocromador y a un detector que mide la cantidad de luz absorbida. La absorción depende de la presencia de los átomos libres en la llama. Debido a que la longitud de onda del rayo de luz es característica del elemento que se está determinando, la luz absorbida por la llama es una medida de la concentración del metal en la muestra. Esta técnica, está generalmente limitada a elementos en solución. Por lo tanto, para el análisis de metales en lodos se requiere una digestión previa de la muestra.

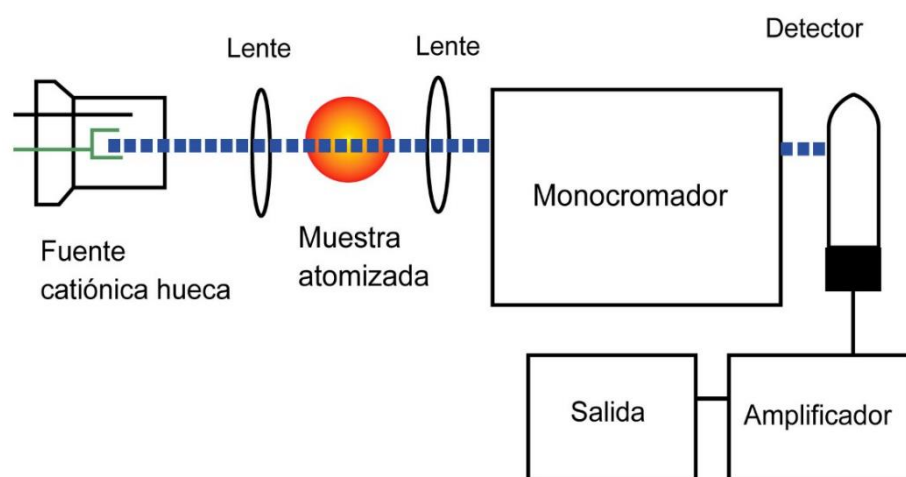


Figura 3. Elementos de un espectrofotómetro de AA.

Fuente: Adaptación (TISSUE 1996).

En términos generales, el funcionamiento es el siguiente: el haz emitido por la fuente atraviesa el sistema de atomización que contiene la muestra en estado de gas atómico, ésta llega al monocromador que elimina la radiación que no interesa para el estudio, pasando así al revelador o detector de la radiación absorbida, que luego es procesada y amplificada, dando como resultado una lectura de salida.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales Equipos y reactivos.

Los equipos, materiales y reactivos descritos a continuación se emplearon para el muestreo y caracterización fisicoquímica de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de los laboratorios de la ECAA.

- Potenciómetro marca HORIBA modelo LAQUA
- Equipo de espectrofotometría de absorción atómica marca GBC módulo de llama
- Estufa marca VWR modelo 1305U
- Horno mufla marca Thermo Scientific modelo F6010
- Balanza analítica marca ADAM modelo PGL 4001
- Kits de protección personal
- Recipientes plásticos
- Material de vidrio
- Crisoles de porcelana
- Desecador
- Estándares de metales en ppm (Cr, Cu, Fe Cd, y Pb)
- Ácido nítrico grado analítico
- Ácido clorhídrico grado analítico
- Agua destilada tipo I

4.2. Métodos.

Los métodos para caracterizar a los lodos generados en la PTAR de la ECAA se detallan a continuación:

Tabla 4.

Métodos de análisis para determinaciones fisicoquímicas

Parámetros	Método
pH	NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004
Humedad	Método Gravimétrico <i>NMX-AA-016-1984</i>
Cromo	Método APHA 3111. 23 rd Edition
Plomo	Método APHA 3111. 23 rd Edition
Cadmio	Método APHA 3111. 23 rd Edition
Cobre	Método APHA 3111. 23 rd Edition
Hierro	Método APHA 3111. 23 rd Edition

Fuente: GBC (2015)

4.3. Cuantificación de lodos para el diseño del lecho de secado.

4.3.1. Procedimiento.

Al inicio de la investigación se midió la altura inicial del lodo existente y depositado en el tercer tanque de almacenamiento y al finalizar los siete meses se determinó la altura total de los lodos producidos por la PTAR.

Para determinar la altura inicial, se introdujo en el tanque un testeador de madera y se determinó que los lodos depositados tenían una altura inicial de 10 cm y al finalizar la investigación esta altura se incrementó en 5 cm.

4.3.2. Análisis Fisicoquímico.

Los parámetros de análisis que se analizaron en el laboratorio para caracterizar los lodos fueron los siguientes: pH, porcentaje de humedad y metales pesados.

- Muestreo

Las muestras fueron recolectadas en el tanque de almacenamiento de los lodos de la PTAR que trata las aguas residuales provenientes de los laboratorios de la ECAA, la planta se encuentra en la parte posterior del Edificio N. 4 del Campus Académico de la PUCEI.

El método de muestreo fue en diagonal y el volumen de cada muestra compuesta fue de 100 a 125 ml, debido a que sus características no correspondían al estado sólido y no fue posible tomar exactamente el mismo volumen durante los muestreos, se usó un muestreador de plástico y luego se trasvasó a recipientes nuevos de polietileno con tapa, para su posterior análisis en el laboratorio.

Según el Acuerdo Ministerial No. 028. Libro VI de la Calidad Ambiental del MAE (2015), en el capítulo correspondiente a Normas de aplicación general para diferentes usos del suelo previo a su análisis, en el numeral 3.33, define a la muestra compuesta, como el conjunto de varias submuestras representativas de un área de suelo, por lo que se tomaron 7 muestras compuestas durante siete meses para determinar los parámetros físicos de pH y porcentaje de humedad, pero para determinar la concentración de metales acumulados en este período, se obtuvo una muestra al inicio de la investigación y otra al finalizar la misma, el número de muestras se debe a que en la PTAR el tratamiento de aguas residuales es un proceso batch, por tanto los análisis físicos de pH y humedad se realizó en forma mensual para determinar la variación de la humedad en función de las condiciones climáticas y para los metales al inicio y al final de la investigación para determinar la concentración acumulada en los lodos existentes en el tanque de almacenamiento.

Debido a la procedencia de los lodos, tanto para el muestreo y posterior análisis en el laboratorio de la ECAA, se usó equipo de bioseguridad, (guantes de

látex, mandil, mascarilla) para reducir riesgos a la salud por la manipulación de los lodos.

Tabla 5.

Descripción y características del muestreo

Meses de muestreo	No. Muestras	Análisis realizados	Tipo de muestras	Intervalo de tiempo (muestra compuesta)
M1	1	metales, pH y porcentaje de humedad	Compuestas	Intervalos de 2 horas entre cada submuestra
M2	1	pH y porcentaje de humedad		
M3	1	pH y porcentaje de humedad		
M4	1	pH y porcentaje de humedad		
M5	1	pH y porcentaje de humedad		
M6	1	pH y porcentaje de humedad		
M7	1	metales, pH y porcentaje de humedad		

Fuente: El autor

Según el Acuerdo Ministerial No. 028. Libro VI de la Calidad Ambiental del MAE (2015), en el numeral 3.33 define a la Submuestra como una alícuota de suelo con características homogéneas que conformarán una muestra compuesta.

Para establecer el intervalo de 2 horas entre cada alícuota, se consideró el proceso de 4 a 8 horas de operación de la PTAR que trata las aguas residuales provenientes de los laboratorios de la ECAA y la CONAGUA (2014), establece la frecuencia de muestreo según se indica en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Frecuencia del muestreo

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Intervalo entre toma de muestras (horas)	
	Mínimo	Máximo
Menor que 4	-	-
De 4 a 8	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	3	4

Fuente: El autor

- Preparación de la muestra

Método: GBC Gemin AA Atomic Absorption Spectrometer Flame / Graphite

Furnace Methods Manual

Gómez y Merchán (2016), establecen que la preparación de la muestra tiene como objetivo la homogenización del lodo para su posterior análisis físico químico y luego del secado realizar un tamizado. Los lodos deben secarse y triturarse para reducir la variabilidad en los análisis, debido a su contenido de humedad. El secado se realiza a una temperatura no superior a $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y luego la muestra se tritura hasta que pase por un tamiz de 2 mm de apertura. Los materiales usados en este proceso deben estar libres de elementos que pudieran interferir en el resultado de los análisis.

- Preservación de las muestras

Gómez y Merchán (2016), consideran que previo al secado, cada muestra se preserva en refrigeración a 4°C en un recipiente de plástico, para así no alterar sus características organolépticas y fisicoquímicas.

4.3.3. Determinaciones fisicoquímicas.

En los laboratorios de Química Analítica Instrumental y Física de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Ibarra, se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos de pH, humedad y metales en ppm (Cr, Pb, Cd, Cu y Fe) parámetros que servirán para caracterizar el tipo de lodo que se obtiene en la PTAR.

4.3.3.1. pH. NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Determinación potenciométrica

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002), establece que la determinación del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H^+ mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H^+ .

Se prepara una suspensión de lodo, con agua en una proporción muestra: agua de 1:2 y en el sobrenadante se determina el valor del pH- H_2O , con un medidor de pH.

La medición de pH en los lodos de la PTAR de la ECAA se realizó el día del muestreo.

4.3.3.2. Porcentaje de Humedad. Método gravimétrico. Norma Mexicana NMX-AA-016-1984.

Para esta determinación Gaviria (1997), dice que la determinación de humedad o sustancias volátiles de la muestra se basa en la pérdida de peso que sufre la misma después de someterse a un proceso de calentamiento a 105 °C.

Gómez y Merchán (2016), consideran que para determinar la humedad en las muestras, en el momento de secar el lodo húmedo hasta un peso constante a una temperatura controlada se especifica el peso de agua eliminada, se colocan en una capsula de porcelana y se lleva a una estufa a 105 °C durante 2 horas, después

las cápsulas se colocan en un desecador a temperatura ambiente para que no adquieran humedad mientras se enfrían, en este momento se pesan obteniendo peso constante.

4.3.3.3. Análisis de metales.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2004), considera que la determinación de las concentraciones de los metales ppm (Pb, Cu, Cr, Fe y Cd) se realice mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Tabla 7.

Parámetros analíticos del espectrofotómetro de absorción atómica GBC

Metal	Longitud de onda (nm)	Abertura (nm)	Corriente de la lámpara (mA)	Método
Cd	228,8	0,2	3	GBC Gemin AA
Cr	357,9	0,2	3	Atomic Absorption
Cu	324,7	0,2	2	Spectrometer
Fe	248,33	0,2	3	Flame / Graphite
Pb	283,3	0,2	3	Furnace Methods
				Manual

Fuente: GBC (2015)

Tratamiento de la muestra. Método SM 3030E

En la publicación del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2018), el método utilizado para el tratamiento de las muestras para los metales en ppm (Cr, Cd, Pb, Cd y Fe) es la digestión con ácido nítrico por espectrofotometría de absorción atómica con llama directa con óxido nitroso y acetileno, como se detalla a continuación:

- Se pesa 0,25 gramos de lodo seco para cada muestra y se coloca en crisoles de 20 ml, a estas muestras con ayuda de una pipeta aforada se adicionó a

cada porción del ensayo 5 ml de ácido clorhídrico concentrado y 15 ml ácido nítrico concentrado.

- Se remueve cada muestra con el agitador y se coloca en la estufa durante 3 horas a 105 °C.
- Se deja enfriar las muestras digeridas y se trasvasa a los balones aforados de 100 ml con ayuda de un embudo.
- Se afora con solución de HNO_3 0,2 N
- Previamente se etiqueta las muestras.

Determinación de las concentraciones de los metales

Se determinó la concentración de los metales en ppm (Pb, Cr, Cu, Fe y Cd) en el espectrofotómetro de absorción atómica, Razmilic (2013), establece que la absorción atómica es el proceso que ocurre cuando átomos en estado fundamental absorben energía radiante a una longitud de onda específica usando el método de llama, según Remache (2013), sin ser necesaria ninguna transformación para el caso de la matriz agua y se elige la longitud de onda adecuada para la identificación de cada metal.

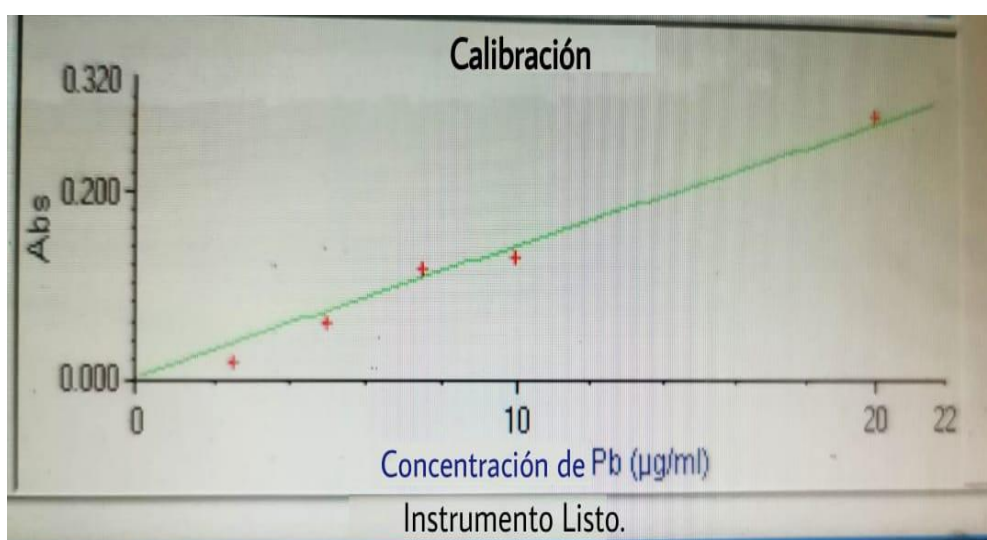


Figura 4. Curva de calibración para el plomo en los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

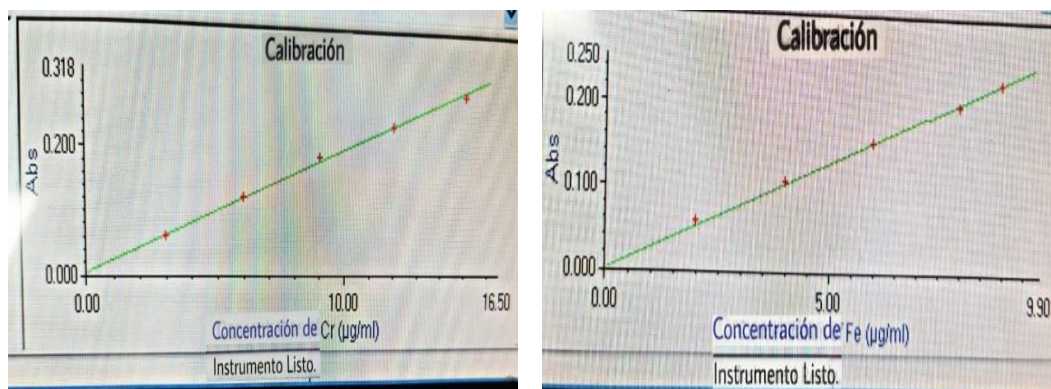


Figura 5. Curva de calibración para el cromo (a) y el hierro (b) en los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

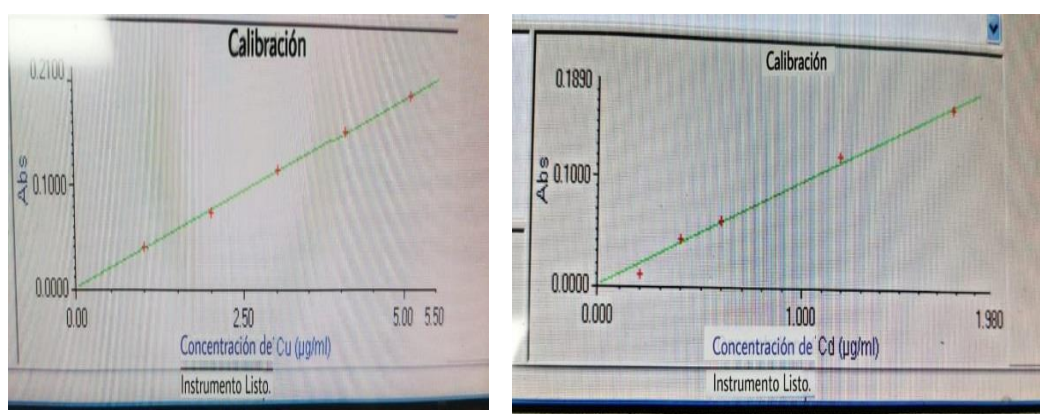


Figura 6. Curva de calibración para el cobre (c) y el cadmio (d) en los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

Fotos: 4, 5 y 6. Fuente: El autor

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Cuantificación de lodos.

La planta de tratamiento funciona con procesos batch, inicia con el pretratamiento en el tanque de captación de 1 m³ de capacidad, donde se recolecta las aguas residuales de los laboratorios de la ECAA, una vez que se complete este volumen se inicia el proceso de tratamiento, en la siguiente etapa el agua es sometida a ozonolisis y continua con el tratamiento de floculación con poliamidas, en este proceso se forman los lodos que son ubicados en el tanque de almacenamiento.

El proceso siguiente es un ablandamiento mediante zeolitas catiónicas para reducir la dureza del agua y como último proceso, el agua pasa a través de una membrana de osmosis inversa para su disposición final.

5.2. Cálculo del volumen del lodo (tanque).

Para los cálculos que se realizan en esta investigación, se usa la densidad de 1,25 kg/l, según Gualoto (2016).

- Cálculo para la determinación del volumen

$$\begin{aligned} \text{Ecuación (1)} \quad \text{Volumen} &= \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} \\ \text{Volumen} &= \frac{0,1575 \text{ kg}}{1,25 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 0,126 \text{ l} \end{aligned}$$

- Cálculo para la determinación de porcentaje de humedad

Ecuación (2)
$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{masa de la muestra}} * 100$$

Donde:

Pérdida de peso= Cantidad de muestra seca luego de evaporar la humedad

(gramos)

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{157,60 - 42,65}{157,60} * 100$$

$$\text{Porcentaje de Humedad} = 72,94$$

Tabla 8.

Cálculo del porcentaje de humedad

N. muestras	Muestra en tanque Volumen (ml)	Muestra húmeda (g)	Muestra seca (g)	Porcentaje de Humedad
1	126,00	157,60	42,65	72,94
2	97,44	121,81	19,37	83,93
3	98,16	122,75	22,79	81,43
4	109,68	137,12	21,17	84,56
5	117,04	146,37	28,54	80,50
6	95,68	119,68	16,67	86,07
7	125,84	157,30	42,57	72,94

Fuente: El autor

Dimensiones de tanque de almacenamiento de lodos

Datos

Altura (h)= 1,15 m

Largo (l)= 1,00 m

Ancho (a)= 0,90 m

- Cálculo del volumen del tanque

Ecuación (3) $V = l * a * h$

$$V = (1,00m * 0,90 m * 1,15 m) = 1,035 m^3$$

$$V = 1.035 l$$

- Cálculo de la cantidad de lodos producidos por la PTAR durante los siete meses.

Datos

Altura de lodo inicial ($h_{1,5 \text{ cm inicial}}$) = 1,5 cm

Altura de lodo final ($h_{2,5 \text{ cm final}}$) = 2,5 cm

Área del tanque (lodos) $a = 0,90 m^2$

$$V_{1,5} = a * h_{1,5}$$

$$V_{1,5} = 0,90 * (0,015) = 13,5 l$$

$$V_{2,5} = a * h_{2,5}$$

$$V_{2,5} = 0,90 * (0,025) = 22,5 l$$

- Cálculo de la cantidad de lodos húmedos producidos en el tercer tanque (inicial y final)

$$m_{LODOS INICIAL} = 1,25 \frac{kg}{l} * 13,5 \text{ litros}$$

$$m_{LODOS HÚMEDO INICIAL} = 16,9 Kg$$

$$V_{LODOS} = V_{2,5} - V_{1,5}$$

$$V_{LODOS} = 22,5 - 13,5 = 9 \text{ litros}$$

$$V_{LODOS} = 9 \text{ litros}$$

$$m_{LODOS FINAL} = 1,25 \frac{kg}{l} * 9 \text{ litros}$$

$$m_{\text{LODOS HÚMEDO FINAL}} = 11,3 \text{ Kg}$$

- Cálculo de la cantidad de lodo seco inicial (existente en el tercer tanque)

$$V_{\text{LODOS SECOS}} = V_{\text{cisterna inicial}} * (1 - \text{humedad})$$

$$V_{\text{LODOS SECOS (1,5 cm)}} = 0,0135 \text{ m}^3 * (1 - 0,7294) = 0,0036 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{LODO SECO INICIAL}} = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 3,6 \text{ litros}$$

$$m_{\text{LODO SECO INICIAL (1,5cm)}} = 4,5 \text{ Kg}$$

- Cálculo de la cantidad de lodo seco final (acumulado en el tercer tanque)

$$V_{\text{LODOS SECOS}} = V_{\text{cisterna final acumulado}} * (1 - \text{humedad})$$

$$V_{\text{LODOS SECOS (2,5 cm)}} = 0,0225 \text{ m}^3 * (1 - 0,7294) = 0,006 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{LODO SECO FINAL}} = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 6,1 \text{ litros}$$

$$m_{\text{LODO SECO FINAL (2,5 cm)}} = 7,6 \text{ Kg}$$

Tabla 9.

Cantidad de lodo húmedo y seco

Masa de lodo húmedo final (en 2,5 cm)	Masa de lodo húmedo inicial (en 1,5 cm)	Masa de lodo seco inicial (en 1,5 cm)	Masa de lodo seco final (final en 2,5 cm)	Incremento de lodos (siete meses)	
				seco	húmedo
16,9 kg	11,3 kg	4,5 kg	7,6 kg	3,1 kg	5,6 kg

Fuente: El autor

La cantidad de lodo húmedo acumulado en el tercer tanque de almacenamiento al finalizar los siete meses fue de 5,6 kg y el del lodo seco fue de 3,1 kg, estos valores equivalen al 1,0 cm que se incrementó en su altura, la cual, se determinó previa distribución homogénea del lodo en el tercer tanque.

Durante el muestreo en los lodos no tenían olores desagradables, su color era negro y en la superficie se observó moho de color blanco y verde, también se evidenció que en el tercer tanque de almacenamiento existía una acumulación atípica, no referida al volumen sino a la forma de disposición, el tercer tanque tiene una altura de 1, 5 metros lo que no permite la deshidratación adecuada del lodo favoreciendo la proliferación de hongos, de acuerdo a Vilaseca (2010), existen varios factores que favorecen el desarrollo de hongos, algas u otras especies, como la composición del agua residual, las características de la planta de tratamiento, el clima, la estacionalidad de los vertidos y el volumen.

5.3. Caracterización de lodos obtenidos de la PTAR que trata el agua residual de los laboratorios de la ECAA.

En las muestras digeridas, se procedió a determinar la concentración de los metales presentes en los lodos generados por la PTAR, para establecer el límite máximo permisible según la norma aplicada para su comparación, en este caso la NOM-004-SEMARNAT-2002, proponer un método tratamiento y su posible aprovechamiento. La determinación de la concentración de los metales en ppm (Pb, Cr, Cu, Cd y Fe) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica.

Tabla 10.

Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados para la caracterización en los lodos.

Parámetros químicos	M1	M7	NOM-004-SERMANAT-2002	
	(concentración inicial)	(concentración final)	Excelentes (mg/kg en base seca)	Buenos (mg/kg en base seca)
pH	6,1	5,2		
Humedad (porcentaje)	72,94	86,07		
Plomo (µg/ml)	2,265	2,530	300	840
Cadmio (µg/ml)	1,013	1,085	39	85
Cobre (µg/ml)	19,169	19,820	1500	4300
Hierro (µg/ml)	32,678	32,756		
Cromo (µg/ml)	40,927	43,577	1200	3000

Fuente: El autor

Los resultados obtenidos para el pH es 6,1 y 5,2 en la muestra inicial y final respectivamente, al respecto Gómez y Merchán (2016), establecen que para un pH inicial de 5,1 el lodo es fuertemente ácido y para el valor final de 6,1 consideran que es ligeramente ácido.

Para el porcentaje de humedad del lodo que se encuentra en el tanque de almacenamiento, los valores obtenidos en la muestra inicial y final son 72,94 y 86,07 respectivamente, según Gualoto (2016), establece que este valor debe permanecer entre el 60 y 70% y con contenidos mayores de humedad es necesario deshidratarlos.

Para las determinaciones químicas en base seca la concentración de Pb, Cr, Cu y Cd en ppm, no sobrepasan los límites máximos permisibles según lo establecido en la norma NOM-004 SEMARNAT-2002, para el hierro esta norma no establece el límite máximo, por tanto, el resultado obtenido se relaciona con el valor recomendado en la parte agrícola considerándolo como microelemento, según Espinoza (1996), sobre los 200 ppm no son tóxicos para una planta en la mayoría de los casos.

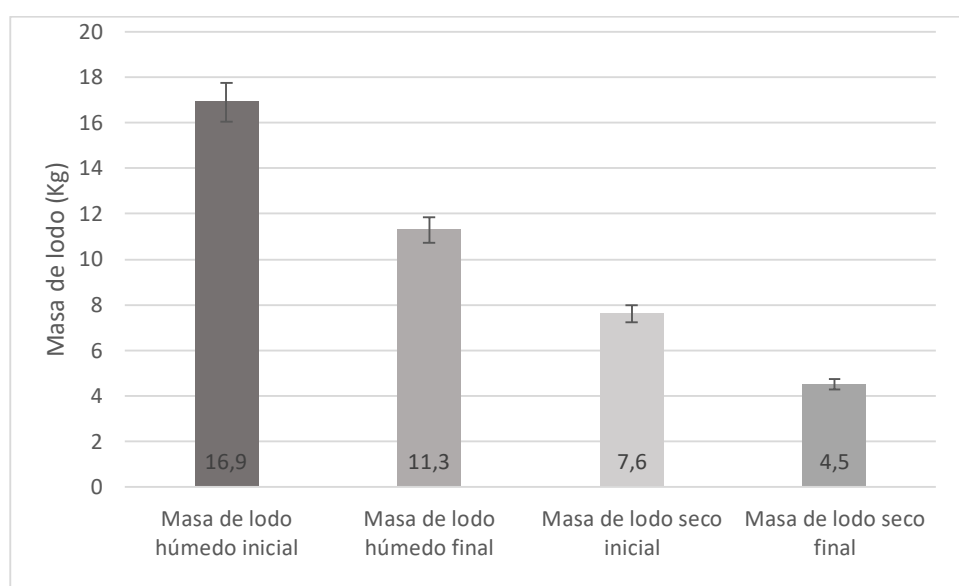


Figura 7. Masa de lodo húmedo y seco en el tanque en la PTAR de la ECAA.

Fuente: El autor

Los resultados obtenidos en el tanque de almacenamiento para la masa húmeda inicial y final son de 16,9 y 11,3 kg respectivamente y para la masa seca inicial es de 7,6 kg y final de 4,5 kg., valores calculados en función del porcentaje de humedad obtenida.

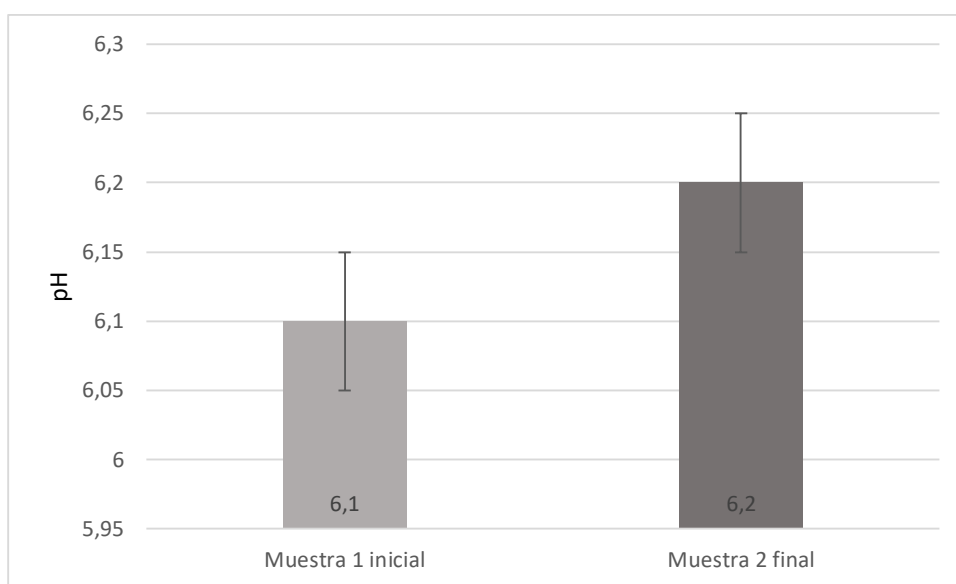


Figura 8. pH inicial y final en el tanque en la PTAR de la ECAA.

Fuente: El autor

Analizando los valores obtenidos de pH, se obtuvo un valor inicial y final de 6,1 y 5,2 respectivamente.

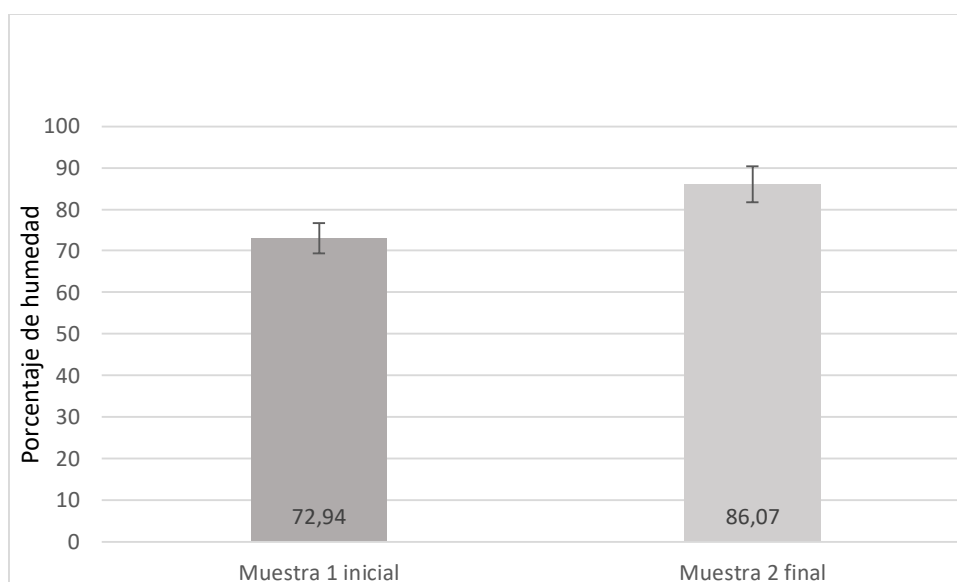


Figura 9. Porcentaje humedad inicial y final en el tanque en la PTAR de la ECAA.

Fuente: El autor

Para el porcentaje de humedad se obtuvo un valor inicial de 72,79 y final de 86,07., el lodo mantiene el porcentaje de humedad superior al 72 % durante los siete meses de investigación.

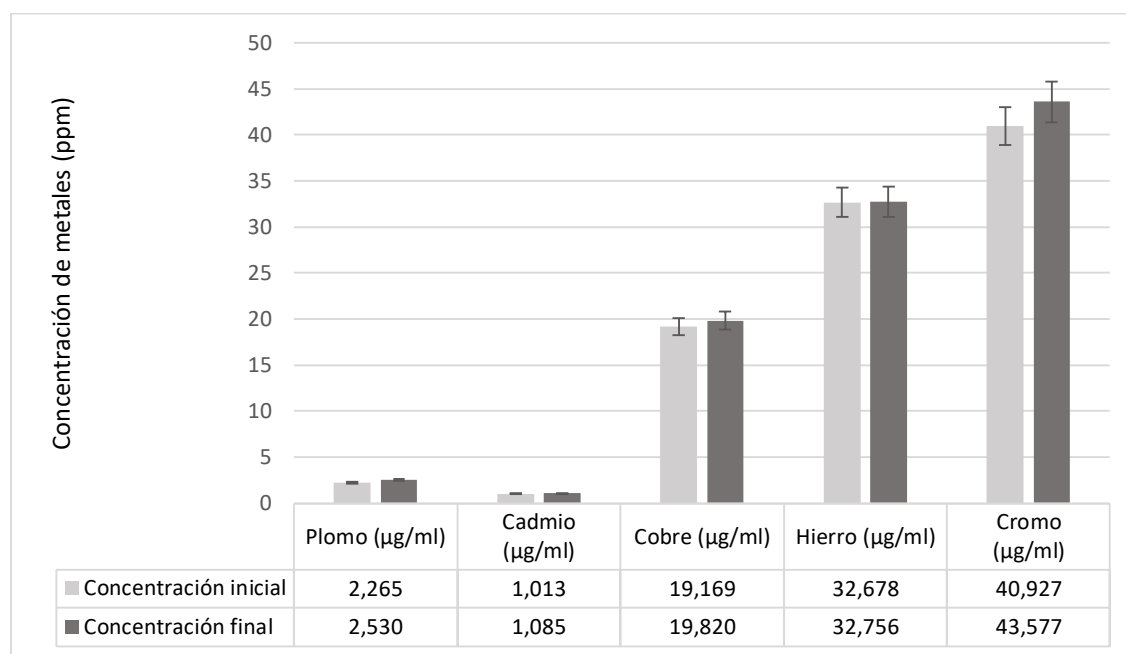


Figura 10. Concentración de metales inicial y final en el tanque en la PTAR de la ECAA.

Fuente: El autor

Para la concentración de plomo, cadmio, cobre y cromo los valores obtenidos en las muestras iniciales y finales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles comparados con la norma NOM-004 SEMARNAT-2002.

Para la determinación de la concentración de hierro el valor obtenido en la muestra inicial corresponde a 32,678 µg/l y de 32,756 µg/l en la muestra final, sin embargo, en la norma NOM-004 SEMARNAT-2002, con la cual se comparó para establecer los límites máximos permisibles, el valor máximo para este elemento no está establecido, por tanto el resultado obtenido se relaciona con el valor recomendado en la parte agrícola considerándolo como microelemento y según Espinoza (1996), los análisis de suelos con niveles de hierro arriba de 200 ppm no son tóxicos para una planta en la mayoría de los casos y Muñoz (2016), en su

investigación dedujo que, de acuerdo a la caracterización de los lodos provenientes del proceso de la planta, el alto contenido de metales pesados principalmente el hierro con un 46%, fue el aspecto determinante para el diseño de las mezclas para fabricar los ladrillos. El hecho de que la matriz fuera tan estable le mejoró las características físicas al producto haciéndolo más resistente a la compresión mecánica, teniendo como resultado que el ladrillo común obtuvo un promedio 51,9 MPa de resistencia y el fabricado 54,4 MPa.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la concentración para los metales en ppm (Pb, Cr, Cd y Cu) mediante espectrofotometría de absorción atómica existe una acumulación en las muestras analizadas iniciales y finales, esto puede deberse a que la PTAR recibe aguas residuales de los laboratorios de química, cromatografía, entre otros, en los cuales se realizan prácticas estudiantiles y se desarrollan investigaciones, actividades académicas en las cuales se usan estos metales.

5.4. Análisis estadísticos.

5.4.1. Cálculos para estadísticos para el porcentaje de humedad.

Tabla 11.

Datos para el test de Shapiro -Wilks (Porcentaje de Humedad)

Muestras	X_i	$(X_i - \text{med})^2$	a_i (datos de tabla)	X_i (orden inversa)	Diferencia ($X_i - X_i \text{ inv}$)
1	72,94	54,74	0,62	86,07	-13,13
2	72,94	54,74	0,30	84,56	-11,62
3	80,50	0,03	0,14	83,93	-3,43
4	81,43	1,19	0,00	81,43	0,00
5	83,93	12,90		80,50	
6	84,56	17,82		72,94	
7	86,07	32,85		72,94	

Donde

x_i = Datos obtenidos (humedad)

a_i = Coeficientes para el contraste de Shapiro -Wilks

Para encontrar el valor de significancia se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación de Shapiro -Wilks

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Tabla 12.

Valores obtenidos para el cálculo de Shapiro –Wilks

Descripción	Resultados
X media	80,34
$(X_i - \text{Med})^2$	174,26
$a_i * \text{Dif}$	-12,17
Shapiro Wilks (calculado)	0,85
Shapiro Wilks (dato obtenido de tabla para un nivel de confianza de 0,05)	0,80
Peso-valor aproximado	>0,2
Shapiro-Wilk dato obtenido en test de normalidad (W)	0,85

5.4.2. Cálculos estadísticos para el pH.

Tabla 13.

Datos para el test de Shapiro -Wilks (pH)

Muestras	X_i	$(X_i - \text{med})^2$	a_i (datos de tabla)	X_i (orden inversa)	Diferencia ($X_i - X_i \text{ inv}$)
1	5,10	0,45	0,62	6,40	-1,30
2	5,20	0,33	0,30	6,20	-1,00
3	5,60	0,03	0,14	6,10	-0,50
4	5,80	0,01	0,00	5,80	0,00
5	6,10	0,11		5,60	
6	6,20	0,19		5,20	
7	6,40	0,40		5,10	

Tabla 14.

Valores obtenidos para el cálculo de Shapiro –Wilks

Descripción	Resultados
X media	5,77
$(X_i - \text{MED})^2$	1,49
$a_i * \text{Dif}$	-1,18
Shapiro Wilks (calculado)	0,94
Shapiro Wilks (tabla para un nivel de confianza de 0,05)	0,81
Peso-valor aproximado	>0,6
Shapiro-Wilk dato obtenido en test de normalidad (W)	0,94

Para los resultados obtenidos de los parámetros físicos del porcentaje de humedad y pH se utilizó el test de Shapiro Wilks debido al número de muestras obtenidas, se disponen de siete datos.

El resultado del test de Shapiro Wilks de la normalidad (W) aplicado a los datos obtenidos para el porcentaje de humedad es de 0,85 mayor a 0,2 (dato teórico obtenido de Shapiro Wilks para un nivel de confianza de 0,05) y para el pH es de 0,94 mayor a 0,6 (dato teórico obtenido de Shapiro Wilks para un nivel de confianza de 0,05), esto demuestra que los datos obtenidos son representativos, es decir el comportamiento de las muestras durante el período de investigación (siete meses) es normal y se aceptan los métodos de análisis, siendo para el pH el potenciómetro y para el porcentaje de humedad gravimétrico.

5.4.3. Cálculos estadísticos para metales analizados.

Tabla 15. Prueba de t student para normalidad

Descripción	Cr	Fe	Cu	Cd	Pb
t student	31,89	838,90	59,89	29,14	18,09
Peso-valor aproximado	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Media de x	42,25	32,71	19,49	1,05	2,40
Peso-valor aproximado (teórico)	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
Datos obtenidos en test de normalidad (W para un nivel de confianza de 0,05)	0,61	838,90	59,89	29,14	18,10

Para los resultados obtenidos para las determinaciones de las concentraciones de los metales (Cr, Cd, Pb, Cu y Fe) se utilizó el test de student, ya que se disponen de dos datos debido a que se determinaron las concentraciones acumuladas en la muestra inicial y final.

Los resultados de la t de student y del peso-valor aproximado aplicado a los datos obtenidos para la concentración inicial y final para el Cr es de 31.89 y 0,00., para el Fe de 838,90 y 0,00., para el Cu de 59,89 y 0,01., para el Cd de 29,14 y 0,03 y finalmente para el Pb es de 18,09 y 0,03 respectivamente., siendo el resultado del peso-valor aproximado mayor que el dato teórico, esto demuestra que los resultados obtenidos de la concentración inicial y acumulada durante los siete meses de investigación tienen un comportamiento normal, es decir los valores obtenidos son representativos y permiten caracterizar el lodo existente en el tercer tanque en función de la concentración.

Por lo expuesto anteriormente, se acepta el método de análisis para la obtención de la concentración del (Cr, Cd, Pb, Cu y Fe) en ppm mediante el equipo de espectrofotometría de absorción atómica por flama.

Estos diferentes métodos de análisis estadísticos se utilizaron debido al número de muestras obtenidas.

5.5. Propuesta para el tratamiento de lodos residuales de la PTAR.

Como propuesta de tratamiento de los lodos generados en la PTAR, se cuantificó los lodos producidos durante siete meses en el proceso de tratamiento, luego se caracterizó física y químicamente en función de los siguientes parámetros: pH, porcentaje de humedad y metales en ppm (Pb, Cr, Cd, Cu y Fe) por Absorción Atómica y estos resultados se comparó con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 y se estableció que su concentración no supera el límite máximo permisible para cada metal, como tratamiento se planteó la disminución del volumen del lodo mediante deshidratación por gravedad en un lecho de secado. Anexo 7.

5.6. Socialización de tema de investigación.

La socialización del trabajo de investigación se realizó mediante la plataforma en línea Google meet, el jueves 04 de marzo del 2021 a las 16h00, en la cual se contó con la participación de docentes y estudiantes.

El proyecto de la investigación tuvo una gran acogida y existió interés por parte de los presentes, esto se evidenció en la tabulación de las encuestas realizadas, siendo los siguientes resultados los más relevantes. El 80% de los encuestados consideran que el tema investigado posee perspectivas para estudios complementarios, un 100 % consideran, que la investigación genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada y en función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, un 80% de los asistentes consideran que se han cumplido.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización físico químico de los lodos provenientes de la PTAR de los laboratorios de la ECAA, la concentración de Pb, Cr, Cu y Cd no sobrepasan los límites máximos permisibles en comparación con lo establecido en la norma NOM-004 SEMARNAT-2002, por lo tanto, se acepta la hipótesis, los lodos provenientes de la PTAR de los laboratorios de la ECAA son aptos para reúso
- Debido a que la concentración de metales en los lodos no supera los límites máximos permisibles según la normativa comparada, no requiere tratamientos como sistemas de incineración, confinamiento, disposición en relleno sanitario o contratación de un gestor autorizado.
- El pH y el contenido de humedad son determinantes en el comportamiento físico del lodo y su posible aplicación.
- Debido a la concentración del hierro presente en los lodos, se podría proponer su uso como micronutriente, sin embargo, la presencia de plomo y cadmio, metales potencialmente tóxicos aún en concentraciones bajas, se restringe este uso hasta verificar que se traten de especies insolubles.
- De acuerdo con las características del lodo, es necesario incrementar una unidad de tratamiento adicional para su disposición final, la propuesta es añadir un lecho de secado con la finalidad de disminuir su volumen mediante la deshidratación física, además permitirá acumular

aproximadamente 6 kg de lodo, cantidad que se produjo durante siete meses.

- Los lodos deshidratados podrían aprovecharse principalmente para la elaboración de ladrillos, incrementando parámetros de análisis fisicoquímicos, así como el periodo para su caracterización para disponer de históricos, determinar su comportamiento y evaluar su estabilidad.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Instalar la unidad de secado para los lodos generados por la PTAR, para disminuir su volumen y que sea más fácil su manejo y su uso en investigaciones adicionales para determinar otros parámetros físico y químicos y establecer las condiciones adecuadas para su reúso.
- Con la disminución del volumen en los lodos se optimizará recursos para su manejo y su caracterización fisicoquímica permitirá aprovechar este residuo, disminuyendo el impacto sobre el ambiente debido a su reúso en futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial No. 028. *Libro VI de la Calidad Ambiental*. Ministerio del Ambiente. (2015). No. 270. Edición Especial. Quito. Ecuador. p.(83).
- Arboleda, V. J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera Edición. España: McGraw-Hill. p.(200).
- Colín, C. (2001). *Nuevas aplicaciones de lodos residuales*. Universidad Autónoma de México. México. p. (20).
- Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. (2016). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, tratamiento y disposición de lodos*. Gobierno de la Republica de México. p.(7).
- Comisión Nacional del Agua. CONAGUA. (2016). Coordinación General de Recaudación y Fiscalización. *Procedimiento de muestreo, análisis y reporte de calidad de las aguas residuales*. Gobierno de la República de México. p.(248).
- Cortez, E. (2003). *Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana*. Tesis de pregrado. Universidad de Chile: Ingeniería Civil. Chile. p.(48).
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies, A., y Dörner, J. (2006). *Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos*. *Revista Científica Suelo Nutrición Vegetal*. 6(2).
- Eger, J. (1978). *Effects of land disposal of sewage wastes*. Recuperado en: https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf
- Encarnación, G., y Enríquez, E. (2014). *Evaluación técnica ambiental de un reactor anaerobio de alta concentración de sólidos volátiles*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional (EPN). Quito. Ecuador. p.(23).
- EPA (1988). *Samples procedures and protocols for the national sewage sludge survey*. *Office of Water Regulations and Standards*. WH-522, Washington D.C. Estados Unidos. p.(42).

- Escalante, V., Ramirez, E., Pozo, F., y Tomasini, A. (2005). Curso – Taller. *Operacion y mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados*. Michoacan. Mexico. p.(2).
- Espinosa, F. (1996). *Relaciones químicas de suelo-planta y fertilidad*. Manizales: Centro Editorial Universidad de Caldas. Colombia. p.(6).
- Espinoza, J. (1996). *Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo*. Memoria II. Congreso de Suelos. p.(34).
- Fall, C. (2005). *Acondicionamiento en: Tratamiento, disposición y aprovechamiento de lodos residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Mexico. p.(78).
- Franco, O., y Salvador, R. (2004). *Caracterización Acondicionamiento y Aprovechamiento de Lodos Generados en Plantas de Potabilización de Agua*. Tesis de Pregrado. Tecnología Química. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. p.(8).
- Gallegos, M., Vega, M., y Noriega, P. (2012). *Espectroscopia de Absorción Atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos*. Universidad Politécnica Salesiana. Edit. Abya Yala. Revista La Granja. Quito. Ecuador. p.(22).
- García, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca. Ecuador. p.(15).
- García, N. (2009). *Lodos residuales: estabilización y manejo*. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana. México. p.(138).
- Gaviria, L. (1997). *Tratamiento de Aguas Residuales: Una necesidad inaplazable*. Ministerio del Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá. Colombia. p.(81).
- Geertsema, S., Knocke, R., Novak, T., y Dove, D. (1994). *Long-term effects of sludge application to land*, *Journal of the American Water Works Association*. 86 (11).

- Gómez, L., y Merchán, A. (2016). *Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del Departamento de Caldas*. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Manizales. Colombia. p.(33).
- Grabarek, J., y Krug, C. (1987). *Silvicultural application of alum sludge*, *Journal of the American Water Works Association*. 79 (6)
- Gualoto, J. (2016). *Propuesta de Gestion de Lodos Residuales Municipales, Caso de Estudio: Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Parroquia Rural de Nono*. Escuela Politecnica Nacional (EPN). (Tesis de pregrado). Quito. Ecuador. p.(2-10, 56-70).
- Hernández, D. (2006). *Aprovechamiento de Lodos Aluminosos (de la Etapa de Sedimentación) de Sistemas de Potabilización como Agregado en la Fabricación de Ladrillos Cerámicos*. Tesis Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Colombia. p.(67).
- Hilleboe, E. (1995). *Manual de tratamiento de aguas*. Departamento de sanidad de estado de Nueva York. Edit. Limusa. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM (2004). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- República de Colombia. Subdirección de Hidrología. Grupo Programa de Fisicoquímica Ambiental. *Determinación de metales pesados totales con digestión acida y solubles lecturas directa por espectrofotometría de absorción atómica*. Colombia. p.(43).
- Jaramillo, F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín. Colombia. p.(8).
- Kuchenrither, D. (1992). *The objectives of sludge treatment, sludge 2000*. Conference. Paper 6. Cambridge.
- Lavado, R., y Taboada, M. (2002). *Factibilidad de valorización agrícola de biosólidos de plantas depuradoras. Manual de procedimientos para la*

- aplicación en el campo*. Tesis de Pregrado. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. p.(45).
- MAE. (2013). Ministerio del Ambiente Ecuador. *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador*. Recuperado en: <http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/>
- Marambio, C., y Ortega, R. (2003). *Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile*. Revista Agronomía y Forestal UC. Vol. 5(20).
- Martínez, M. (2012). *Estudio para el Tratamiento, Manejo y Disposición Final de lodos generados en plantas de tratamiento de Agua Potable*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional (EPN). Quito. Ecuador. p.(123).
- Metcalf y Eddy, Inc. (2003). *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. 2da Ed. Editorial McGraw Hill: Interamericana de España, S.A. Aravaca. p.(325).
- Moeller, G., Ferat, C., y López, R. (2000). *Aplicación del procesamiento térmico y alcalino para la desinfección de lodos residuales primarios. Un estudio comparativo*. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre. Brasil. p.(56).
- Moeller, G., Ramírez, A., Garrido, S., y Días, C. (2005). *Tratamiento, disposición y aprovechamiento de lodos residuales*. (1 era edición). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México. p.(82).
- Morales, P. (2005). *Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas. Ingeniería Química con área en Ingeniería Ambiental. Puebla. México. p.(67).
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. (2003). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Protección ambiental. Lodos y Biosólidos. *Especificaciones y límites máximos permisibles de*

- contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. México Gobierno de la República.
- Noyola, A. (2000). *Alternativas de tratamiento de agua residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Desarrollo Profesional e Institucional. Tercera Ed. México. p.(67).
- Oropeza, N. (2006). *Caos Conciencia*. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana, México 79 (51-58).
- Peñaherrera, M. (2015). *Estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante digestión anaerobia*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas (UDLA). Quito. Ecuador. p.(3-10).
- Razmilic, B. *Espectroscopia de Absorción Atómica*. (1994). Chile. Merck Química Chilena Soc.Ltda. Recuperado en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/ab482s04.htm>
- Remache, A. (2013). *Validación de métodos para el análisis de metales en diferentes matrices por espectrofotometría de absorción atómica*. Tesis de Preparado. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. Carrera de Ingeniería Química. Quito. Ecuador. p.(8,65).
- Scambillis, N. (1997). *Effect of Chemical Sludge on Soils*. Tesis de doctorado. Universidad de Missouri, Estados Unidos. p.(28).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Segunda Sección. Norma Oficial Mexicana NOM-0210RECNAT-2000. *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis*. México Gobierno de la República.
- SEGOB. (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. *Protección Ambiental-. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. México Gobierno de la República.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2017). *Preparatory Procedure*. (2017). *Method Nitric Acid Digestion of Metal*

Samples. 23rd Edition. Recuperado en:

<https://www.awwa.org/Store/Product-Details/productId/65266295>

- Torres, P., Escobar, J., Pérez, A., Imery, R., Nates, P., Sánchez, G. y Bermudea, A. (2005). *The influence of amendment material on biosolid composting of sludge from a waste-water treatment plant*. Ingenieria e Investigaciòn 25(2) p.(53-61).
- U.S. Environmental Protection Agency. (1993). *Standard for the Use and Disposal of Sewage Sludge* (40 CFR Parts 257, 403 and 503) (Revision to 40 CFR Parts 122, 123 and 501). Vol. 58 9248- 9415. Water Environment Federation. p.(1-157).
- Valencia, N. (2008). *Secado Solar de Lodos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México DF. p.(82-90).
- Vilaseca, M., y Gutiérrez, C. (2010). *Boletín INTEXTER 119*. Universidad Politècnica de Catalunya. Recuperado en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/1489>
- Zhao, Q., y Bache, H. (2001). *Conditioning of alum sludge with polymer and gypsum. Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 194 (1).

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos durante el desarrollo de la investigación

Tabla 16.

Cuantificación del volumen y masa de lodos secos y húmedos.

Densidad (kg/l) (Gualoto 2016)	Muestra de lodos en el tercer tanque Volumen (ml)	Muestra de lodos húmeda (g)	Muestra de lodos seca (g)	Porcentaje de humedad	Desviación estándar	Datos del tanque para obtener el volumen (litros)	Masa de lodo seco y húmedo kg (inicial y final)
1,25	126,00	157,60	42,65	72,94	0,45	Altura (h)= 1,5 m	Masa inicial (1,5 cm de lodos húmedos en el tanque) = 11,3 kg
	97,44	121,81	19,37	83,93	6,57	Largo (l)= 1,0 m	Masa final acumulada (2,5 cm de lodos húmedos en el tanque) = 16,9 kg
	98,16	122,75	22,79	81,43	0,13	Ancho (a)= 0,9 m	Masa inicial lodo seco (1,5 cm en el tanque) = 4,5 kg
	109,68	137,12	21,17	84,56	0,04	Vol. total (tanque) = 1035 litros	Masa final lodo seco acumulado (2,5 cm de lodos secos en el tanque) = 7,6 kg
	117,04	146,37	28,54	80,50	0,331	Volumen inicial (1,5 cm de lodos en el tanque) = 13,5 litros	Incremento de lodo seco (siete meses) = 3,1 kg
	95,68	119,68	16,67	86,07	0,039	Volumen final acumulado (2,5 cm de lodos en el tanque) = 22,5 litros	Incremento de lodo húmedo (siete meses) = 5.6 kg
	125,84	157,30	42,57	72,94	1,33		

Fuente: El autor

Tabla 17.

Análisis estadísticos para el porcentaje de humedad y pH.

Muestras	Porcentaje de humedad	(Xi-med) ²	X media	pH	(Xi-med) ²	X media
1	72,94	54,74	80,34	5,10	0,45	5,77
2	72,94	54,74	Shapiro Wilks (calculado) = 0,85	5,20	0,33	Shapiro Wilks (calculado) = 0,94
3	80,50	0,03	Shapiro Wilks (tabla para un nivel de confianza de 0,05) = 0,80	5,60	0,03	Shapiro Wilks (tabla para un nivel de confianza de 0.05) = 0,80
4	81,43	1,19		5,80	0,01	
5	83,93	12,90		6,10	0,11	
6	84,56	17,82		6,20	0,19	
7	86,07	32,85		6,40	0,40	

Fuente: El autor

Tabla 18.

Análisis estadísticos para los metales analizados

Muestras (ppm)	Cr	Cu	Fe	Cd	Pb
1 (inicial)	40,927	19,169	32,678	1,013	2,265
2 (final)	43,577	19,820	32,756	1,085	2,530
t student	31,89	59,89	838,90	29,14	18,09
Peso valor aproximado	0,02	0,01	0,00	0,02	0,03
Media de x	42,25	19,49	32,71	1,05	2,40

Fuente: El autor

Anexo 2. Registro fotográfico de los procesos de la PTAR.



Figura 11. Unidades de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

Fuente: El autor



Figura 12. Tanque de almacenamiento de los lodos de los laboratorios de la ECAA.

Fuente: El autor

Anexo 3. Equipos usados en el laboratorio de la ECAA para análisis físicos y químicos



Figura 13. Secado y determinación del peso de la muestra de lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

Fuente: El autor

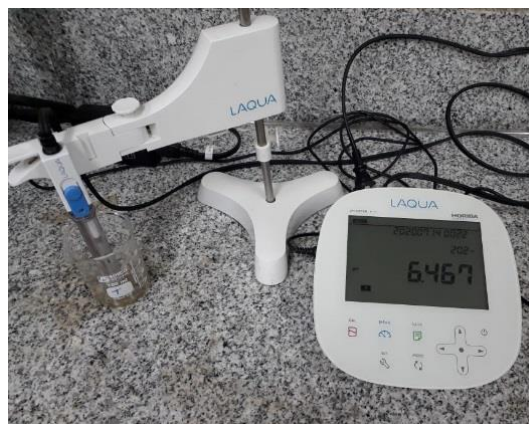


Figura 14. Medición del pH de los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

Fuente: El autor



Figura 15. Medición de la concentración de metales en los lodos de la PTAR en el espectrofotómetro de absorción atómica

Fuente: El autor

Anexo 4. Norma NOM-004-SEMARNAT-2002

Revisar el enlace: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20210308082234>

NOM-004-SEMARNAT-2002

NORMA OFICIAL MEXICANA, PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CASSIO LUISSELLI FERNANDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV, V y 39 fracciones I, VIII y XXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 8 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 5o. fracciones V y VI, 38, 37, 37 Bis, 119, 139 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 5o. fracción VI y 6o. del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental; 38 fracción II, 40 fracciones I y X; 41, 43, 44 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, 31 fracción II, 33 y 34 de su Reglamento, expide la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, y

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo establecido en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con fecha 15 de febrero de 2002 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, con carácter de proyecto la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, con el fin de que dentro de los 60 días naturales siguientes a su publicación, los interesados presentaran sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sólo en bulevar Adolfo Ruiz Cortines número 4209, piso 5o., colonia Jardines en la Montaña, código postal 14210, Delegación Tlalpán, Distrito Federal o se enviaran al correo electrónico o al fax que para el efecto se señalaron. Durante el citado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente estuvo a disposición del público en general para su consulta en el citado domicilio, de conformidad con el artículo 47 fracción I del citado ordenamiento.

Que en el plazo de los 60 días antes señalado, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto en cuestión, los cuales fueron analizados por el citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes al mismo. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales publicó las respuestas a los comentarios recibidos en el **Diario Oficial de la Federación** el día 18 de junio de 2003.

Que habiéndose cumplido con el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión ordinaria de fecha 24 de septiembre de 2002, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Lodos y biosólidos-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Por lo expuesto y fundado se expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL-LODOS Y BIOSOLIDOS.-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo y métodos de prueba
6. Evaluación de la conformidad
7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

Anexo 5. Socialización de la investigación



Figura 16. Presentación del Tema de tesis

Fuente: Google Meet.



Figura 17. Planteamiento del problema de la investigación

Fuente: Google Meet.

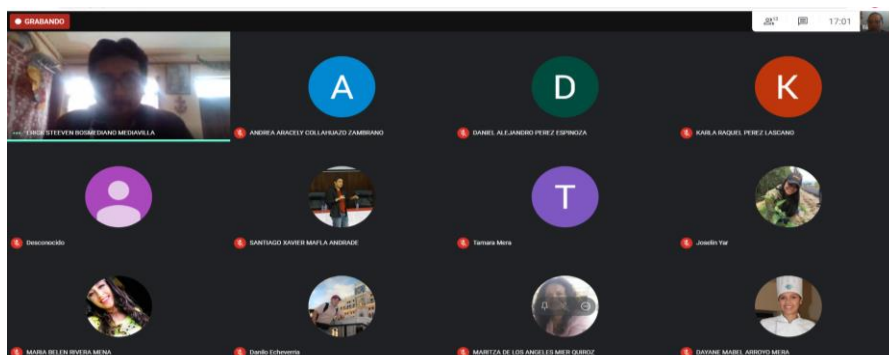


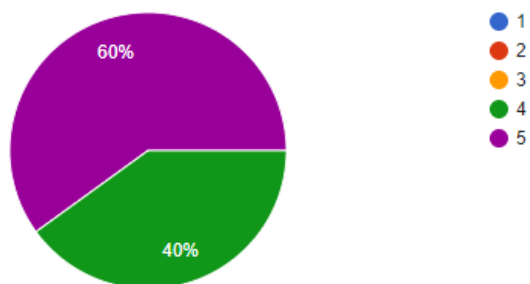
Figura 18. Foro sobre la investigación desarrollada

Fuente: Google Meet.

Anexo 6. Tabulación de las encuestas realizadas en la socialización del tema de investigación

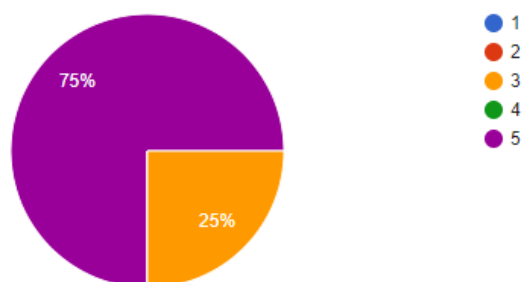
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?

5 respuestas



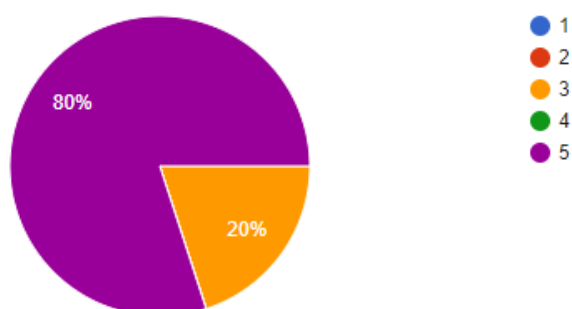
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?

4 respuestas



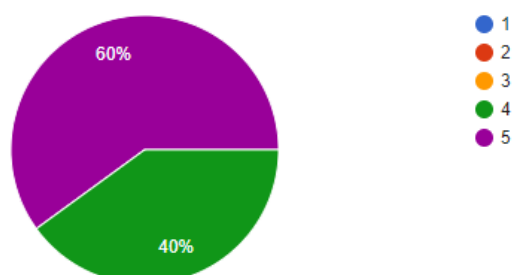
5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?

5 respuestas



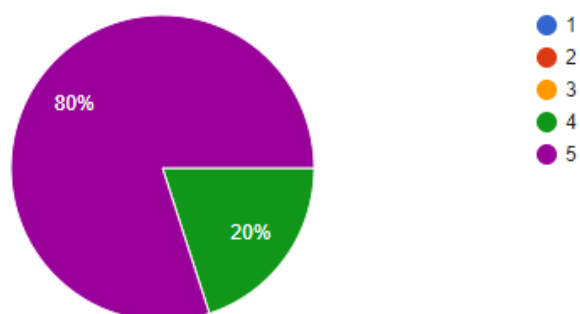
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?

5 respuestas



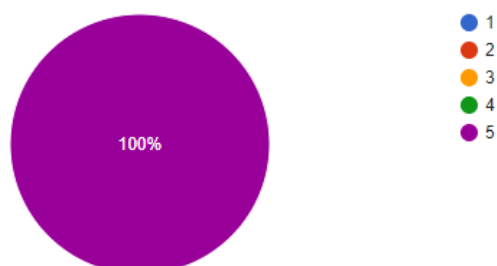
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?

5 respuestas



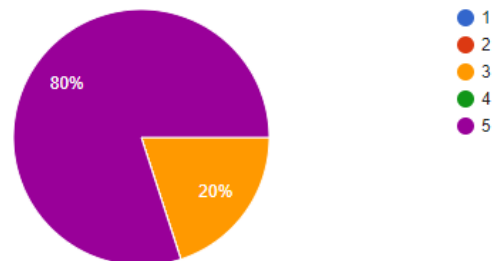
8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?

5 respuestas



9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?

5 respuestas



REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO

3 respuestas

felicidades

Buen trabajo

Ninguno

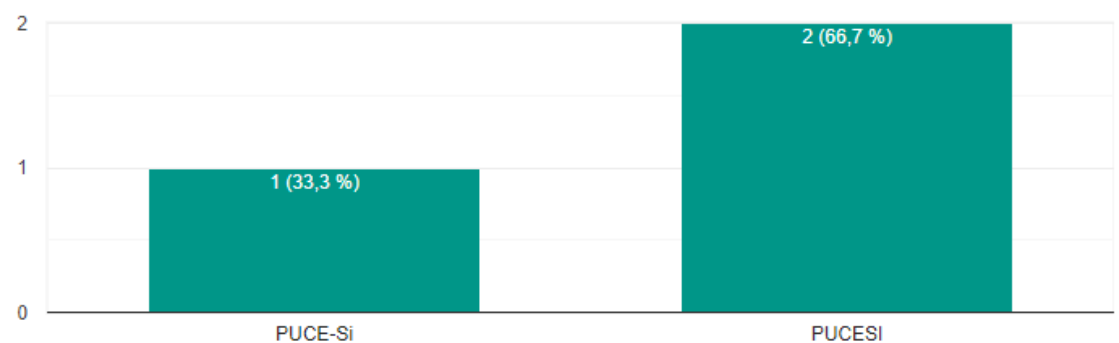
MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD

1 respuesta

es necesario comprobar la estabilización de los lodos antes de la propuesta de reúso

INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO

3 respuestas



Anexo 1. Propuesta de tratamiento de lodos generados en la planta depuradora de aguas residuales de los laboratorios de la ECAA.

Antecedentes

La PTAR que trata las aguas residuales que provienen de los laboratorios de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), en forma general dispone de las siguientes unidades:

Sistema de Pretratamiento: Constituye una etapa importante del proceso de purificación del efluente: Consta del sistema de captación primario, un proceso de floculación, un sistema de captación secundario, un sistema de recirculación y un mecanismo de ozonización. Este sistema se lo realiza en forma de batch y se requiere implementar procesos adicionales para realizar un proceso continuo de tratamiento.

Operación del Sistema de Pre-Filtración: En esta etapa el agua residual acondicionada y pretratada, se somete a un sistema de microfiltración por dos medios filtrantes a base de carbón activado y zeolita en un sistema continuo con presión positiva; así como también un proceso de adsorción; a través del ablandamiento por intercambio iónico al pasar por un medio de resina catiónica y finalizando esta etapa un filtro pulidor de microporo para asegurar que ninguna partícula en suspensión llegue al ingreso del sistema de ósmosis inversa.

Operación del Sistema de Ósmosis Inversa: El equipo de osmosis inversa es el principal componente del sistema, es de funcionamiento semiautomático y se lo activará cuando la cisterna de captación secundaria contenga el efluente pretratado, lo suficientemente aireado y reposado para asegurar la eliminación del ozono residual.

Disposición final de los lodos

La disposición de los lodos generados en el proceso de floculación de la PTAR se realiza en un tanque de almacenamiento.

Para un manejo y disposición final de los lodos que se generan en la PTAR, se propone una alternativa de tratamiento que implica el espesamiento del lodo por disminución del volumen mediante la deshidratación física usando un lecho de secado, esto implica una inversión económica.

La técnica de secado mediante la deshidratación reduce la cantidad de humedad que los lodos contienen, este método no requiere el uso de sustancias químicas, además al estar ubicada la planta en un lugar protegido de la lluvia, no trabajaría con caudales adicionales, manteniéndose las características estudiadas de los lodos.

Caracterización de los lodos

Los lodos producidos en una planta de tratamiento cumplen con la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002., la cual establece criterios de Protección ambiental, Lodos y Biosólidos, Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, también se especifican los requisitos que deberán cumplir los lodos para ser aprovechados:

Los resultados de los análisis indican que los lodos generados por la PTAR de la ECAA tienen un porcentaje de humedad superior al 72 %, el intervalo de pH fue de 5.1 a 6.8, que corresponden a un lodo ácido y contienen los siguientes metales en ppm: cobre, plomo, cromo, cadmio que no sobrepasan los límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, según la norma aplicada NOM-004- SEMARNAT-2002., y el hierro se encuentra dentro de los límites como micronutriente para uso agrícola.

Cuantificación de los lodos

Como resultado de la remoción de contaminantes, en los procesos de tratamiento se producen lodos. El volumen y masa de éstos depende del proceso de tratamiento de la PTAR y características de las aguas residuales principalmente. El tanque de almacenamiento de los lodos tiene las siguientes dimensiones:

Datos:

Altura de lodo inicial ($h_{1,5 \text{ inicial}}$) = 1,5 cm

Altura de lodo final ($h_{2,5 \text{ final}}$) = 2,5 cm

Área del tanque (almacenamiento de lodos) $a = 0,90 \text{ m}^2$

- Cálculo del volumen del tanque

Ecuación (3)
$$V = l * a * h$$

$$V = (1,00m * 0,90 m * 1,15 m) = 1,035 m^3$$

$$V = 1.035 l$$

- Cálculo de la cantidad de lodos producidos por la PTAR durante los siete meses.

Datos

Altura de lodo inicial ($h_{1,5 \text{ cm inicial}}$) = 1,5 cm

Altura de lodo final ($h_{2,5 \text{ cm final}}$) = 2,5 cm

Área del tanque (lodos) $a = 0,90 \text{ m}^2$

$$V_{1,5} = a * h_{1,5}$$

$$V_{1,5} = 0,90 * (0,015) = 13,5 \text{ litros}$$

$$V_{2,5} = a * h_{2,5}$$

$$V_{2,5} = 0,90 * (0,025) = 22,5 \text{ litros}$$

- Cálculo de la cantidad de lodos húmedos producidos durante los siete meses

$$\bullet \ m_{LODOS\ INICIAL} = 1,25 \frac{kg}{l} * 13,5 \text{ litros}$$

$$m_{LODOS\ HÚMEDO\ INICIAL} = 16,9 \text{ Kg}$$

$$V_{LODOS} = V_{2,5} - V_{1,5}$$

$$V_{LODOS} = 22,5 - 13,5 = 9 \text{ litros}$$

$$V_{LODOS} = 9 \text{ litros}$$

$$m_{LODOS\ FINAL} = 1,25 \frac{kg}{l} * 9 \text{ litros}$$

$$m_{LODOS\ HÚMEDO\ FINAL} = 11,3 \text{ Kg}$$

La etapa más importante del tratamiento de lodos es la deshidratación, durante la cual se reduce su volumen.

Selección de tratamiento

Para la selección del proceso para el manejo adecuado de los lodos, se consideró varios factores, como: la cantidad de lodos generados durante siete meses, la calidad de lodos obtenido de acuerdo con su caracterización, basado en análisis fisicoquímicos como (pH, porcentaje de humedad y metales en ppm como: Pb, Cr, Cu, Cd y Fe) y establecidas su límite máximo permisible, las condiciones de infraestructura donde se encuentra ubicada la PTAR y la situación financiera.

El lodo previo a su uso debe reducir su volumen, el método aplicado es el espesamiento mediante deshidratación usando la gravedad en un lecho de secado, de esta forma el lodo generado en la PTAR disminuirá su volumen, que dependerá de la cantidad de humedad y de las condiciones ambientales.

Diseño del tratamiento

El lecho de secado se colocará en la parte externa de PTAR y se protegerá de la lluvia y su ubicación está cerca del tanque de almacenamiento donde se encuentran los lodos, esta unidad tendrá las siguientes características:

Cantidad de lodos producidos en siete meses = 5,6 kg, considerando 15 % adicional, se realizará los cálculos para 7 kg.

Pendiente del lecho = 10%

Cantidad de lodos producidos en siete meses = 5,6 kg se realizará los cálculos con 7 kg.

Pendiente del lecho = 10%

Cálculos:

- Determinar el volumen del lecho de secado

Datos

Masa del lodo (m_{lodo}) = 7 kg

- Cálculo del volumen del lodo

$$\begin{aligned} \text{Ecuación (4)} \quad V_{\text{lodo}} &= \frac{\text{masa}_{\text{lodo}}}{\text{densidad}} \\ V_{\text{lodo}} &= \frac{7 \text{ kg}}{1,25 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 5,6 \text{ l} \end{aligned}$$

$$V_{\text{lodo}} = 0,0056 \text{ m}^3$$

Cálculos:

- Determinar el área necesaria para el volumen del lodo obtenido

Datos:

Altura del lodo en el lecho de secado = 5 cm

Altura de la grava = 10 cm

Cálculo del área:

Ecuación (5)

$$A_{min} = \frac{V_{lodo}}{h_{(5cm\ lodo)}}$$

$$A_{min} = \frac{0,0056m^3}{0,05\ m} = 1,11m^2$$

$$A_{min} = 1,1m^2$$

Espacio disponible donde se encuentra funcionando la PTAR de la ECAA

Datos

Ancho (a) = 2,80 m

Largo (l) = 4,83 m

$$A_{min} = 1,28m^2$$

$$A_{min} = a * l$$

Dimensiones del lecho de secado:

Ancho= 1,0 m

Largo= 1, 0 m

Altura = 20 cm

$$A_{min} = 1,0 * 1,0 = 1,0\ m^2$$

El volumen de lodo húmedo acumulado es de 5,6 kg, este valor corresponde a la masa acumulada durante los siete meses.



Figura 24. Espacio donde se colocará el lecho de secado de los lodos de la PTAR de los laboratorios de la ECAA.

Fuente: El autor

Operación del lecho de secado.

Los lodos desde el tanque de almacenamiento deben ser colocados en forma manual en una carretilla y trasladados hasta el lecho de secado.

Colocar en la plancha de amortiguamiento y luego sobre la malla de retención en forma horizontal y homogénea, la altura lodo sobre la malla deberá ser de aproximadamente 5 cm.

Una vez que se observe que el lodo colocado en el lecho disminuya su volumen y comience a agrietarse deber ser retirado en forma manual levantando la malla de retención y el lodo seco acumulado sobre la malla puede ser almacenado.

La grava y la malla de retención no es necesario cambiarlas, solamente lavar, para esto colocar nuevamente la malla sobre la grava y con una manguera a presión lavar, la forma circular del lecho filtrante facilita su reacomodo y no es necesario hacerlo manualmente.

Si existe acumulación del agua de filtrado de los lodos producto de la deshidratación, o del lavado del lecho filtrante, mediante la bomba de agua colocar en el tanque de captación de la PTAR.

Análisis económico de la propuesta

De acuerdo con el diseño propuesto para implantar un lecho de secado en la PTAR que trata las aguas residuales de los laboratorios de la ECAA y que se encuentra en la parte posterior del Edificio N. 4 del Campus Universitario de la PUCESI., la inversión es la siguiente:

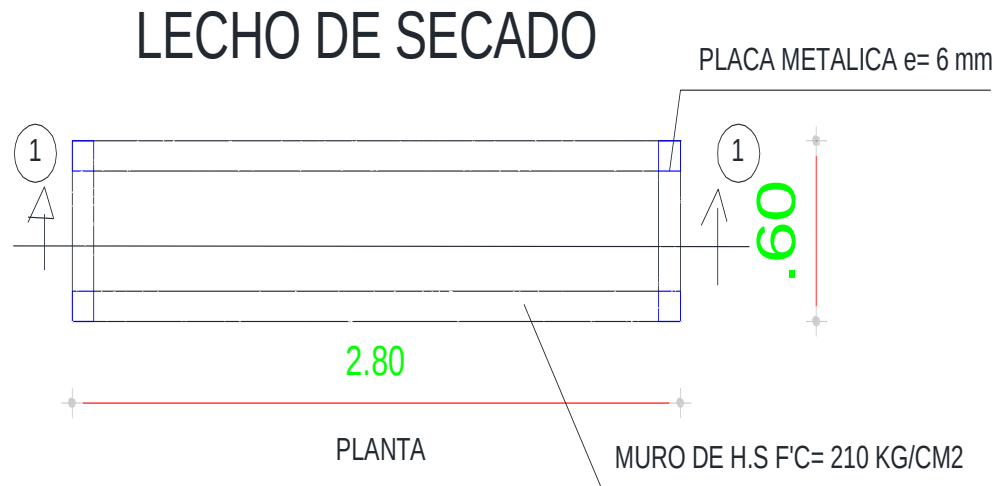
Tabla 19.

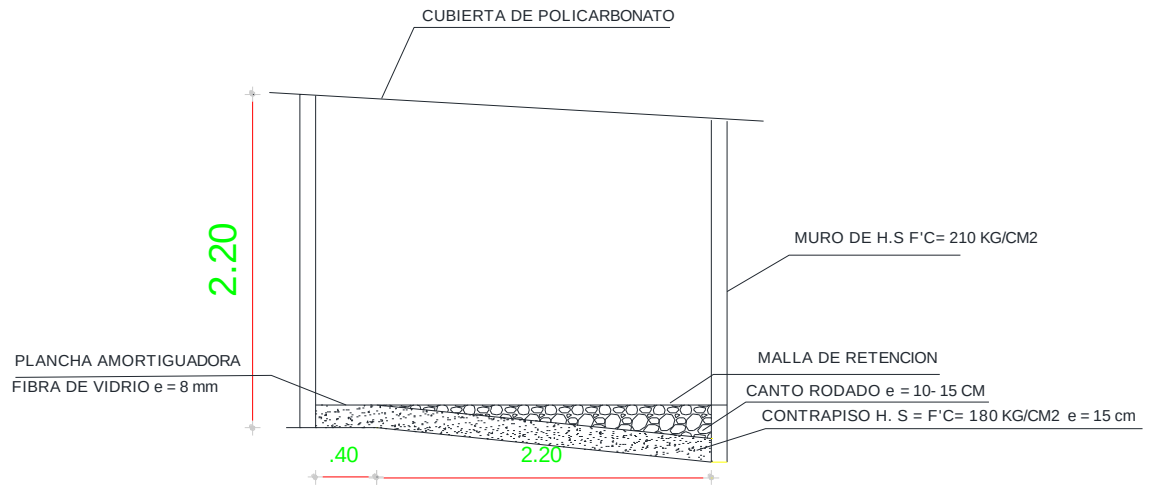
Inversión económica para implementar el lecho de secado.

Item	Descripción	Características	Cant.	Unidad	Precio total (dólares)
1	Estructura del lecho de secado (incluye plancha amortiguadora de lodos)	Material fibra de vidrio. Dimensiones lecho: Largo: 1,0 m (incluye 0,40 m de la plancha) Ancho: 1,0 m	1	u	150
2	Malla plástica para filtración	2 mm de abertura (cubrirá 2,20 m del lecho x 0,6m)	1	metros	50
3	Grava para armado del lecho	Diámetro 15-20 cm (altura de armado 10 cm)	200	kg	10
4	Tubería de salida de los lodos	PVC presión 0,75 Mpa (6 metros) diámetro 1/2"	1	metros	15
5	Bomba para recircular el agua de los lodos hacia el tanque de captación de la PTAR	0,5 Hp	1	u	80
6	Herramientas	Palas, rastrillo, carretilla	global 1	global	60
7	Colocación de la infraestructura, incluye instalaciones eléctricas para la bomba		global 1	global	100
8	Techo sobre el lecho de secado	Policarbonato transparente. Dimensiones techo: Largo: 2,0 m Ancho: 2,0 m	1	1	300
				TOTAL	765

Fuente: El autor

Anexo 2. Planos del lecho de secado





CORTE 1-1