

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROYECTO INTEGRADOR

**OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS
RESIDUALES PROCEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS DE RECIRCULACIÓN DE LA EMPRESA PRODUCTORES
QUÍMICOS ECUATORIANOS S.A.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGOS EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

DIEGO JAVIER CUICHAN CARUA

diego.cuichan@epn.edu.ec

RONALD STEVEN MAYANQUER MÉNDEZ

ronald.mayanquer@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO, M.Sc.

santiago.guerra@epn.edu.ec

CODIRECTORA: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL, M.Sc.

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, abril 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Cuichan Carua Diego Javier y Mayanquer Méndez Ronald Steven como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogos en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión.

A handwritten signature in blue ink, reading "Santiago Stalin Guerra Salcedo". The signature is fluid and cursive. Below the signature, there is a faint watermark that says "Created by Pen.io".

Santiago Stalin Guerra Salcedo

DIRECTOR DEL PROYECTO

María Belén Aldás Sandoval

CODIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros Cuichan Carua Diego Javier con CI: 1725853574 y Mayanquer Méndez Ronald Steven con CI: 1723943443 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.

Diego Javier Cuichan Carua

Ronald Steven Mayanquer Méndez

DEDICATORIA

Después de culminar otra etapa crucial en la formación de mi vida, quiero dedicar el presente trabajo como una muestra de haber alcanzado una de mis metas propuestas. A mi madre que constituye un pilar fundamental en mis logros pues siempre la llevo presente en mi mente y mi corazón. A mi abuelita Carmen Amelia y mis hermanos que han sido mi principal fortaleza y mi gran inspiración.

Diego Cuichan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre María Esperanza que está en el cielo, por haberme apoyado en cada instancia con sus consejos y enseñanzas que han sido pilares fundamentales en mi formación profesional y personal.

A mi abuelita Carmen Amelia por sus sabios consejos y mis hermanos que me han apoyado incondicionalmente guiándome por el sendero de la fortaleza y la humildad.

A Carol Guayasamín por los momentos compartidos y su apoyo incondicional.

A mi gran amigo Steven Mayanquer por compartir su amistad sincera y sus excelentes conocimientos académicos para realizar este proyecto.

Al conocimiento compartido y ayuda brindada por nuestro director Ingeniero Santiago Guerra y codirectora Ingeniera María Belén Aldás.

Al Ingeniero Jesús Osorio, jefe de planta de la empresa P.Q.A S.A. por permitirnos realizar nuestro proyecto en su prestigiosa y distinguida empresa.

Diego Cuichan

DEDICATORIA

Dedicada a mis padres y hermanas que son mi principal motivación para salir adelante en la vida, y quienes han sido ese pilar fundamental en mis decisiones, quienes me dan su amor y apoyo incondicional y que siempre han estado en los momentos difíciles y obstáculos que se presenten en el camino hacia el éxito.

Steven Mayanquer

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Jesús Mayanquer e Inés Méndez por acompañarme en todas las etapas de mi vida, a su inmenso amor, dedicación y comprensión.

Agradezco a mis hermanas Grace y Saskia quienes siempre han estado a mi lado y han sabido escucharme, apoyarme y aconsejarme ante cualquier suceso de mi vida.

A mis amigos por apoyarme de una u otra manera y han demostrado tenerme mucho aprecio.

A mi amigo y compañero Diego Cuichan, por su amistad y apoyo para realizar este proyecto.

A la Empresa Productores Químicos Ecuatorianos S.A. por permitirnos realizar nuestro proyecto en sus instalaciones.

Especial agradecimiento al Ingeniero Santiago Guerra y codirectora Ingeniera María Belén Aldás, por su tiempo y enseñanzas.

Steven Mayanquer

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. Marco Teórico.....	3
1.2.1. Aguas Residuales	4
1.2.2. Lodos.....	4
1.2.3. Origen de los Lodos Residuales.....	4
1.2.3.1. Tipo de Lodos	6
1.2.3.2. Clasificación de los Lodos	8
1.2.4. Normativa para el Cumplimiento de Lodos Residuales y Biosólidos.....	10
1.2.4.1. NOM-004-SEMARNAT-2002.....	12
1.2.4.2. NOM-052-SEMARNAT-2005.....	14
1.2.4.3. Normativa para la disposición final.....	15
1.2.5. Características de los Lodos.....	16
1.2.5.1. Características Físicas	17
1.2.5.2. Características Químicas.....	17
1.2.5.3. Características Biológicas	17
1.2.5.4. Características de Peligro CRETIB	20
1.2.6. Estabilización	22
1.2.6.1. Estabilización química	22
1.2.6.2. Pretratamiento con cal.....	22
1.2.7. Aprovechamiento de Lodos Residuales	23
1.2.7.1. Fuente de Energía	23
1.2.7.2. Aprovechamiento para el Suelo	24
1.2.7.3. Compostaje de lodos	25
2. Metodología.....	27

2.1.	Ubicación	27
2.2.	Origen de Lodos en la PTAR de PQA S.A.	28
2.2.1.	Descripción General de los Procesos de la PTAR de PQA S.A.	28
2.2.2.	Línea de Lodos de la PTAR PQA S.A.	28
2.2.2.1.	Espeamiento de Lodos de la PTAR PQA S.A.	31
2.2.2.2.	Deshidratación de Lodos de la PTAR PQA S.A.	32
2.3.	Metodología de campo	33
2.3.1.	Toma de muestras de lodos en la PTAR PQA S.A.	33
2.3.2.	Análisis de características CRETIB de lodos	34
2.4.	Estabilización de lodos	36
2.5.	Toma de muestras para analizar <i>Salmonella</i> sp.	39
2.3.1.	Metodología de laboratorio <i>Salmonella</i> sp.	40
2.4.	Gestión y disposición final	41
3.	Resultados y Discusión	42
3.1.	Análisis CRETIB de los lodos residuales.	42
3.2.	Análisis de <i>Salmonella</i> sp.	46
3.3.	COMPOSTAJE	48
3.4.	Gestión y disposición final	48
4.	Conclusiones y Recomendaciones	49
4.1.	Conclusiones	49
4.2.	Recomendaciones	51
5.	Referencias Bibliográficas	53
	ANEXOS	i
	ANEXO: Resultados de análisis CRETIB	i
	ANEXO: Resultados de análisis de <i>Salmonella</i> sp.	i

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación PQA S.A. (Google Earth,2021).....	28
Figura 2: Línea de agua y de lodos de la PTAR PQA S.A. (PQA S.A., 2019).....	30
Figura 3. Espesadores A y B PQA S.A.	31
Figura 4. Filtro Prensa PQA S.A.	32
Figura 5. Toma de muestra de lodo residual.	34
Figura 6. Estabilización con cal viva.	38
Figura 7. Control de pH	38
Figura 8. Comparación de pH con escala de colores.....	39
Figura 9. Toma de muestra	39
Figura 10. Muestras.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procedencia de sólidos y fango de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional.	5
Tabla 2. Tipos de lodos.....	6
Tabla 3. Concentración de metales y tasas de carga según la regularización 503 de la EPA (Environmental Protection Agency).	8
Tabla 4. Límite de calidad microbiológica de lodos	9
Tabla 5. Desechos peligrosos por fuente específica para la fabricación de productos de caucho y plástico de acuerdo al Ministerio del Ambiente del Ecuador.	11
Tabla 6. Clasificación de límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos de acuerdo a la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.....	13
Tabla 7. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos de acuerdo a la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.	13
Tabla 8. Aprovechamiento de biosólidos de acuerdo a la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.	14
Tabla 9. Límites Máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (procedimiento de extracción de constituyentes tóxicos), de acuerdo a la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.....	15
Tabla 10. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	17
Tabla 11. Tipos de Salmonella presentes en los lodos residuales.....	19
Tabla 12. Límites máximos permisibles de <i>Salmonella</i> sp, en lodos de acuerdo a la norma mexicana NOM-004-Semarnat-2002.....	20
Tabla 13. Propiedades de peligro CRETIB	20
Tabla 14: Componentes y características del biogás.	24
Tabla 15: Ventajas y desventajas de compostaje	26
Tabla 16: Presiones de trabajo del filtro prensa PQA S.A.	33
Tabla 17: Parámetros medidos en ANAVANLAB con la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.	34
Tabla 18. Comparación de parámetro “corrosividad” del lodo residual con la NOM-004-SEMARNAT-2002.	42
Tabla 19. Comparación de parámetro “corrosividad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.	42
Tabla 20. Comparación de parámetro “reactividad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.	43

Tabla 21. Comparación de parámetro “explosividad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.	43
Tabla 22. Comparación de parámetro “toxicidad” del lodo residual con la NOM-004-SEMARNAT-2002.	44
Tabla 23. Comparación de parámetro “toxicidad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.	44
Tabla 24. Comparación de parámetro “inflamabilidad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.	45
Tabla 25. Comparación de parámetro “biológico-infeccioso” del lodo residual con la NOM-004-SEMARNAT-2002.	45
Tabla 26. Comparación de parámetro de <i>Salmonella</i> sp. del lodo residual deshidratado sin tratamiento con la NOM-004-SEMARNAT-2002.	46
Tabla 27. Comparación de parámetro de <i>Salmonella</i> sp. del lodo residual deshidratado con tratamiento con cal viva al 20% con la NOM-004-SEMARNAT-2002.....	47

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue determinar las características físico-químicas y microbiológicas de los lodos residuales generados en la Empresa Productores Químicos Ecuatorianos S.A., para posteriormente implementar mecanismos que ayuden a la optimización de los procesos involucrados en el tratamiento de los lodos residuales, así como también su análisis en la elaboración de compost.

La metodología aplicada para cumplir los objetivos propuestos, se relacionan con las etapas de muestreo, análisis CRETIB, estabilización y comparación con la normativa vigente nacional e internacional.

Con la etapa del análisis CRETIB, se determinó la cantidad de metales pesados y patógenos que tiene el lodo mediante la norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-004-SEMARNAT-2002; en la siguiente fase se planteaba realizar compostaje con el lodo, sin embargo, este presentó características peligrosas. Posteriormente en la siguiente fase se estabilizó químicamente el lodo con cal viva diluida al 20%, controlando su pH durante el tiempo de contacto con la finalidad de reducir la carga biológica que se presentaba. En la etapa final se planteó la disposición final del lodo por medio de un gestor calificado.

Debido a que PQA S.A. no estaba en posición de gestionar el lodo residual por motivos económicos, INCINEROX compartió información sobre como gestionan los lodos residuales. De esta forma quedó como constancia y fuente de información para que en un futuro PQA S.A. pueda disponer los lodos residuales de una manera adecuada cumpliendo con lo estipulado en las normativas ambientales nacionales vigentes.

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to determine the physical-chemical and microbiological characteristics of the sludge generated at Productores Químicos Ecuatorianos S.A. in order to subsequently implement mechanisms to optimize the processes involved in the treatment of waste sludge, as well as its analysis in the elaboration of compost.

The methodology applied to meet the proposed objectives is related to the stages of sampling, CRETIB analysis, stabilization and comparison with current national and international regulations.

With the CRETIB analysis stage, the amount of heavy metals and pathogens in the sludge was determined according to Mexican standards NOM-052-SEMARNAT-2005 and NOM-004-SEMARNAT-2002; in the next phase, the sludge was to be composted; however, it presented dangerous characteristics. Subsequently, in the next phase, the sludge was chemically stabilized with quicklime diluted to 20%, controlling its pH during the contact time. In the final stage, the sludge was disposed of through a qualified manager such as INCINEROX.

Since PQA S.A. was not in a position to manage the sewage sludge for economic reasons, INCINEROX shared information on how they manage the sewage sludge. In this way, it remained as a record and source of information so that in the future PQA S.A. can dispose of the sewage sludge in an adequate manner, complying with the stipulations of the enforced national environmental regulations.

1. INTRODUCCIÓN

Toda actividad del ser humano, sea esta doméstica o industrial, genera aguas residuales, lo que conduce a implementar tratamientos, en lo posible modernos y eficientes, con el fin de evitar daños al ambiente (Gualoto, 2016a).

El tratamiento de las aguas residuales, incluye como subproductos el agua tratada y lodos. El lodo, dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es el subproducto con mayor volumen, por lo que su manejo, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final son más complejos. El lodo obtenido se caracteriza por la presencia de patógenos, materia orgánica y humedad. Por lo tanto, es necesario evaluar alternativas sostenibles de disposición y/o aprovechamiento (Pedraza, 2013).

Tradicionalmente en el Ecuador, los lodos residuales sin tratamiento se disponen principalmente en rellenos sanitarios, basureros y terrenos abiertos, afectando al suelo, aguas superficiales, acuíferos, la flora y fauna del lugar y la salud del hombre. Debido a que los lodos no han recibido ningún tipo de tratamiento para su estabilización, de tal manera que se atenta a lo establecido en el artículo 276, número 4, de la Constitución de la República del Ecuador, la cual menciona que uno de los objetivos del régimen de desarrollo será recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En el Ecuador, la gestión de lodos provenientes de las PTAR es escasa. En la actualidad, el destino final de los lodos provenientes de las parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) son las escombreras, las cuales son operadas por la Empresa Pública de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP). En este sentido, la gestión de estos lodos contribuye una oportunidad de mejora ambiental y ahorro económico (Gualoto, 2016).

Los lodos que son dispuestos en rellenos sanitarios o escombreras, están compuestos de subproductos recogidos en las diferentes etapas de descomposición de las aguas residuales. Como resultado de los procesos de separación de agua y de los sólidos sedimentables se genera un producto llamado lodo residual, el cual es necesario eliminar o darle la salida más adecuada. Estos materiales pueden constituir una fuente

de materia orgánica alternativa a otros insumos orgánicos utilizados tradicionalmente como abonos (Metzger & Yaron, 1987).

Cualquiera que sea el destino final de los lodos, estos deberán someterse a un proceso de estabilización para minimizar los riesgos sanitarios. Esto tiene relación con disminuir la humedad, reducir el potencial de atracción de vectores y eliminar o minimizar el contenido de microorganismos patógenos. La cantidad de lodo generado debe ser manejada responsablemente en las distintas plantas de tratamiento, para ello es importante conocer su composición química, física y bacteriológica, con el fin de realizar una gestión adecuada (Cedeño, 2016). Los lodos resultantes de los procesos de depuración de aguas residuales, representan dificultad para su disposición al contar con grandes volúmenes y características peligrosas, para lo cual la gestión de estos lodos constituye una oportunidad de mejora ambiental (Gualoto, 2016).

Una de las empresas que busca la mejora ambiental al gestionar correctamente sus lodos es la Empresa Productores Químicos Ecuatorianas S.A. (P.Q.A S.A.), que se ubica en el parque industrial de Quito, en el sector de Itulcachi, Pifo, Pichincha. Por responsabilidad social y ambiental, P.Q.A. S.A. posee una planta de reciclaje de plástico agrícola de invernadero, la cual está compuesta de dos líneas para dicha finalidad, cada línea de reciclaje tiene una capacidad de 5000 kg/día de plástico al ingreso, logrando una producción final de 4200 kg/día de p100 (producto elaborado en la empresa), el plástico a la entrada y durante todo el proceso de producción debe ser lavado para eliminar suciedades que pueden afectar el producto final, por lo que es necesario contar con agua de flujo continuo y de buena calidad.

P.Q.A S.A. al incluir en sus procesos productivos el uso de agua, produce aguas residuales, por consiguiente, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (modelo: aQuaVIM-FU-2X6), planta que cuenta con mecanismos de recirculación. La planta de tratamiento cuenta con dos módulos diseñados para tratar un caudal máximo de 518.4 m³/d y un tiempo de retención total de 1 hora y 45 minutos para cada módulo.

Los procesos básicos de tratamiento que incluye la planta son: adición y mezcla de productos químicos, floculación, maduración, sedimentación y filtración. Los químicos elegidos en coagulación son Policloruro de Aluminio (PAC) y como agente floculante se usa polímero Poliácridamida. Al tratar las aguas residuales se generan lodos residuales producto de la sedimentación de las partículas, por lo que adicional la planta cuenta con

una línea para tratar estos lodos, conformada por; 2 tanques espesadores por gravedad, 1 tanque de almacenamiento de lodos, 1 bomba neumática y 1 filtro-prensa.

Al presente la empresa genera un total de 220 kg/día de lodo deshidratado que es recogido en costales comunes y mezclado con la basura que se deposita en el relleno sanitario del Inga. El interés de la Empresa Productores Químicos S.A. es dar un manejo integral a los lodos residuales, por lo que surge la necesidad de generar una propuesta de gestión de lodos viable.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1.OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de tratamiento de lodos residuales industriales provenientes de la planta de tratamiento de aguas de recirculación de la empresa Productores Químicos Ecuatorianos S.A.

1.1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar los lodos residuales industriales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas de recirculación de La Empresa PQA SA.
- b) Determinar la peligrosidad del lodo residual industrial conforme a la legislación ambiental vigente nacional e internacional.
- c) Analizar el uso de cal y cascarilla de arroz como una alternativa para la estabilización del lodo activado industrial.
- d) Categorizar los biosólidos para el proceso de compostaje según la Norma Chilena NCH2880.C2003 de Calidad de Compostaje.
- e) Lograr una correcta gestión y disposición final del lodo tratado acorde a las normativas ambientales vigentes nacionales e internacionales.

1.2. MARCO TEÓRICO

Los procesos de depuración del agua residual doméstica como agua residual industrial, tienen el objetivo de remover contaminantes presentes, con la única finalidad de convertir el agua en apta para su uso o a la vez apta para ser descargada a cuerpos receptores. Sin embargo, el tratamiento del agua conlleva la formación de subproductos conocidos como lodos residuales. Estos lodos se originan como la concentración de los

sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios), o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de los sólidos disueltos de las aguas residuales domésticas e industriales (Flores & Morales, 2018).

Los lodos pueden contar con un gran potencial de alternativas de aprovechamiento; entre las que se encuentran: el uso de los lodos como cobertura en rellenos sanitarios, fabricación de ladrillos, compostaje, estabilizadores de taludes en vías, etc. (Guadamud & Barboto, 2019).

1.2.1. AGUAS RESIDUALES

Aguas de composición variada que han sufrido cambios en su calidad original, son provenientes de sectores urbanos y rurales, industriales, comerciales, servicios agrícolas, pecuarios y en general cualquier otro uso que degraden la calidad del recurso hídrico (TULSMA, Libro VI; Anexo 1, 2015).

1.2.2. LODOS

Constituyentes del agua residual, eliminados en las plantas de tratamiento incluyendo basura, arena, espuma y lodos; suele ser un líquido o líquido semisólido (Miranda et al., 2018). La Norma Oficial Mexicana 004 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003), define a los lodos como “sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización”.

Generalmente son residuos sólidos, líquidos o semilíquidos, con un contenido de sólidos variable de 0,25% a 12% en peso. Además, dependiendo de la naturaleza del proceso son normalmente biológicos que tienden a ser putrefactos, generando malos olores y atracción de vectores de enfermedades (Metcalf & Eddy, 1995).

1.2.3. ORIGEN DE LOS LODOS RESIDUALES

Los sólidos que se producen en las plantas de tratamiento variarán según en función del tipo de planta, al igual que dependerá de cómo se opere la planta de tratamiento

(Metcalf & Eddy, 1995). Las principales fuentes de sólidos y fangos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1. Procedencia de sólidos y fango de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional.

Operación o proceso unitario	Tipo de sólidos o fango	Observaciones
Desbaste	Sólidos gruesos	Los sólidos gruesos se eliminan por medio de rejillas mecánicas o manuales.
Desarenado	Arenas y espumas	A menudo no se eliminan las espumas en los desarenadores.
Preaireación	Arenas y espumas	A menudo no se incluyen instalaciones de eliminación de espumas en la preaireación.
Decantación primaria	Fango primario y espumas	Las cantidades tanto de fango como de espumas dependen del tipo de red de alcantarillado y de la existencia de vertidos industriales.
Tanques de aireación	sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos se producen por conversión de la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno). Puede ser necesario incorporar alguna forma de espesamiento para concentrar el caudal de

		fango para el tratamiento biológico.
Sedimentación secundaria	fango secundario y espumas	Por disposición de la EPA (Environmental Protection Agency), los tanques de sedimentación secundaria deben contar con sistema de eliminación de espumas.
Instalaciones de tratamiento de fangos	fangos, compostaje y cenizas	Las características del producto final dependen del fango tratado y de las operaciones y procesos utilizados. Las normas que regulan la evacuación de corrientes residuales son cada vez más exigentes.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

1.2.3.1. TIPO DE LODOS

Los lodos producidos dependen del nivel de tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 2. Tipos de lodos

Tipo de lodo	Aspecto
--------------	---------

Lodo primario	Son el resultado de la decantación inicial. Presentan cantidades considerables de papel, materia orgánica, frutas, vegetales, entre otros durante el inicio de su descomposición. Su densidad se caracteriza por ser espesa con un porcentaje de agua que fluctúa entre el 92% al 96%.
Lodo de precipitación química	Son de color negro y olor fuerte desagradable, cuentan con una velocidad de descomposición menor que los lodos primarios.
Lodos de tratamiento secundario	Son de color marrón, relativamente ligeros, no producen olores desagradables con rapidez como los lodos primarios; al escasear el oxígeno toma un color oscuro y producen un olor fuerte, se los conoce también como lodos activos.
Lodos provenientes de lechos bacterianos	Son de color marrón y no producen olores molestos al estar frescos, su degradación se produce a una velocidad menor que los lodos activados
Lodos digeridos	Son de color marrón oscuro y negro, cuentan con un olor característico a tierra, cuentan con gran cantidad de gas, si el proceso de digestión fue exitoso no producen olores molestos.

Fuente: (Orellana, 2015).

1.2.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS

Debido a que Estados Unidos, durante los últimos años ha triplicado el número de plantas de tratamiento de aguas residuales en relación a los países latinoamericanos (Ospina, Rodríguez, & González, 2017), consideramos que cuentan con mayor experiencia en el campo, para lo cual se toma como referencia la EPA (Environmental Protection Agency) para poder clasificar los lodos provenientes de las PTAR.

Los lodos se clasifican principalmente de acuerdo al contenido de metales pesados y a su calidad microbiológica:

- **Lodo peligroso:** Tienen presencia de contaminantes tóxicos de acuerdo a lo establecido por la EPA (Environmental Protection Agency) en sus apartados 260 y 261.
- **Lodo no peligroso:** Las concentraciones de sus componentes son inferiores a los establecidos por la EPA (Environmental Protection Agency) en sus apartados 260 y 261.

Los lodos no peligrosos pueden ser de buena calidad o de mala calidad según el contenido de metales pesados en forma más rigurosa según la normativa por la EPA (Environmental Protection Agency) "Concentración del componente para una calidad excepcional".

Tabla 3. Concentración de metales y tasas de carga según la regularización 503 de la EPA (Environmental Protection Agency).

Elementos	Valores Límite (mg/kg mat. seca)	Tasa de carga acumulativa del elemento (kg/Ha)	Concentración del componente para una calidad excepcional (mg/kg)	Tasa de carga anual del elemento (kg/ha/año)
Arsénico	75	41	41	2.0

Cadmio	85	39	39	1.9
Cromo	-	-	-	-
Cobre	4.300	1.500	1.500	75
Plomo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0.85
Níquel	420	420	420	21
Molibdeno	75	-	-	-
Selenio	100	100	100	-
Zinc	7.500	2.800	2.800	21

Fuente: (Pedraza, 2013).

De acuerdo con los límites de calidad microbiológica de la EPA (Environmental Protection Agency) presentados en la Tabla, un lodo de buena calidad, se clasifica como lodo Clase A o lodo Clase B:

Lodo Clase A: No contiene niveles detectables de agentes patógenos, satisfacen los requerimientos estrictos de reducción de atracción de vectores y niveles bajos de contenido de metales y sólo tienen que solicitar permisos para garantizar que estas normas tan estrictas han sido cumplidas (Betancur et al., 2005).

Lodo Clase B: Reciben tratamiento, pero aún contienen niveles detectables de agentes patógenos; estos tienen restricciones al acceso público. La planeación del manejo de nutrientes garantiza que se apliquen biosólidos a la tierra agrícola en las cantidades y las calidades apropiadas (Betancur et al., 2005).

Tabla 4. Límite de calidad microbiológica de lodos

Parámetros	Lodo Clase A	Lodo Clase B
Coliformes Fecales o Salmonella	<1.000 NMP/g o UFC/g <3 NMP/4g	< 2.000.000 NMP/g o UFC/g

Huevos de helmintos	1 huevo viable/4g	-
---------------------	-------------------	---

Fuente: (Pedraza, 2013).

La EPA (Environmental Protection Agency) publicó el reglamento para los sólidos biológicos, su uso y disposición bajo el *Code of Federal Regulations* (CFR), 40 CFR part 503 de 1993. Para la aplicación en el suelo, la reglamentación ofrece límites numéricos a 10 metales, guía en la práctica de manejo, requerimientos para el monitoreo, almacenamiento de registros y su publicación (Serpa, 2017).

Aspectos que la EPA (Environmental Protection Agency) incluye en el reglamento:

- Límite de metales.
- Prácticas de manejo.
- Alternativas para reducción de organismos patógenos.
- Reducción de vectores.
- Restricciones para la disposición en suelos.

1.2.4. NORMATIVA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LODOS RESIDUALES Y BIOSÓLIDOS

En América Latina, países como Argentina, Chile, Brasil, México, Colombia cuentan con regulaciones para el manejo de lodos y biosólidos. El resto de países a la fecha no han implantado una regulación respectiva (Torres et al., 2009).

Actualmente, Ecuador dispone de normas establecidas para la calidad del agua, pero no se dispone de una norma que establezca los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales; por lo tanto, se toma como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (Castañeda & Oña, 2017). Existen otras normativas de EEUU, o de países de la Unión Europea, pero son países más industrializados y desarrollados que Ecuador, por lo que, es conveniente haber elegido la normativa de México por la semejanza de las costumbres, aspectos culturales, estilo de vida y características geográficas del Ecuador.

De acuerdo con la reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria realizada en el 2015, en el numeral 4.2.1.21 se establece que; los sedimentos, lodos de tratamiento de aguas residuales, residuos del área de construcción, cenizas, chatarra, bagazo o cualquier tipo de desechos doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y de cauces de aguas estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales.

En el artículo 79, del Acuerdo Ministerial 061 (Ministerio del Ambiente,2012), se determinan “ desechos peligrosos” a los: sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivas (C), reactivas (R), tóxicas (T), inflamables (I), biológicas-infecciosas y/o radioactivas que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales que aplican y aquellos que se encuentren determinados en los listados nacionales de desechos peligrosos.

Según el listado No. 1 de desechos peligrosos por fuente específica del anexo B del Acuerdo Ministerial No. 142 del Ministerio del Ambiente, en el CIU 22 desechos peligrosos provenientes de la fabricación de plástico y caucho, se menciona que son considerados como desechos peligrosos a los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales de estas industrias.

El código de Basilea clasifica como Y18 a los lodos de tratamiento de efluentes que contienen sustancias peligrosas, el cual se encuentra en la categoría de residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales a controlar.

Tabla 5. Desechos peligrosos por fuente específica para la fabricación de productos de caucho y plástico de acuerdo al Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Tipo de desecho	CRETIB	Código	Código Basilea
-----------------	--------	--------	----------------

Desechos de materias primas e insumos con características de peligrosidad, butadieno-estireno, polibutadieno, isobuteno-isopropeno/halogenado, resinas sintéticas, agentes antioxidantes, antiozonantes, antienviejecimiento o retardantes de llama.	T, I, R (2)	C.22.01	Y13
Lodos del tratamiento de aguas residuales que contienen materiales peligrosos	T	C.22.02	Y18
Desechos de solventes contaminados	I	C.22.03	Y6
Desechos de destilación de solventes	I	C.22.04	Y6
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones, subproductos de reacción que contienen sustancias peligrosas	T, I, R (2)	C.22.05	A4140

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012)

1.2.4.1. NOM-004-SEMARNAT-2002

La norma oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.

El campo de aplicación de esta norma es de obligatorio cumplimiento, para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas de potabilización y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En la NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su

aprovechamiento y disposición final, se especifican los siguientes criterios con los que deberán cumplir los biosólidos para su aprovechamiento:

Los biosólidos deben ser tratados para controlar la atracción de vectores. Se recomiendan varios procesos para lograr esto, cómo reducir la masa de sólidos al menos en un 30% durante su tratamiento. Los biosólidos se clasifican en excelentes o buenos de acuerdo al contenido de metales pesados y en clase A, B o C de acuerdo a su contenido de patógenos y parásitos.

Clasificación de parámetros de acuerdo a los metales pesados como excelentes y buenos se indican en la siguiente tabla:

Tabla 6. Clasificación de límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos de acuerdo a la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Contaminante (en forma total)	Excelente mg/kg base seca	Buenos, mg/kg base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1.200	3.000
Cobre	1.500	4.300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2.800	7.500

Fuente: (Macías, 2017)

Tabla 7. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos de acuerdo a la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Clase	Bacterias (Coliformes fecales, NMP/g)	Patógenos (Salmonella spp,	Parásitos (Huevos de
--------------	--	---------------------------------------	---------------------------------

	base seca)	NMP/g base seca)	helminto, huevos/g base seca)
A	< 1.000	< 3	< 1
B	< 1.000	< 3	< 10
C	< 2.000.000	< 300	< 35

Fuente: (Macías, 2017)

Tabla 8. Aprovechamiento de biosólidos de acuerdo a la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para la clase B y C.
Excelente o bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase C.
Excelente o bueno	C	Usos forestales. Mejoramiento de suelos. Usos agrícolas.

Fuente: (Macías, 2017)

1.2.4.2. NOM-052-SEMARNAT-2005

La norma establece las características, el procedimiento de la identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Comprende las pruebas de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, biológico infeccioso (CRETIB) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

Tabla 9. Límites Máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT (procedimiento de extracción de constituyentes tóxicos), de acuerdo a la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.

Compuesto	Límite (mg/L)
Arsénico	5
Bario	100
Cadmio	1
Cromo	5
Mercurio	0,2
Plata	5
Plomo	5
Selenio	1

Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

1.2.4.3. NORMATIVA PARA LA DISPOSICIÓN FINAL

El distrito Metropolitano de Quito en su libro segundo de Código Municipal, en su ordenanza 213 que en su capítulo I, sección II referente a los servicios especiales, hace referencia que los lodos pertenecen al servicio especial industrial. Específicamente en el artículo 350, de los sitios de disposición final, menciona que los únicos sitios para recibir desechos hospitalarios e industriales peligrosos, son los autorizados por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. En estos casos se deberá informar por escrito a las dependencias de control de movilización sobre los sitios a los que puede ser transportado determinado tipo de material (Ordenanza 213 DMQ, 2007).

Si el lodo es considerado peligroso deben gestionarse con los gestores ambientales calificados y certificados por el Ministerio del Ambiente MAE, que son aquellas personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que cuenten con la calificación y autorización de la Secretaría del Ambiente y que realizan actividades de: Separación, recolección, barrido, transporte, tratamiento, aprovechamiento o disposición final de los residuos, el gestor ambiental debe de encontrarse dentro de los listados del Ministerio del Ambiente del presente año. Mediante un plan de sectorización, la Secretaría del Ambiente, en conjunto con las demás dependencias municipales competentes, elaborará un plan de sectorización de los gestores ambientales calificados, a fin de garantizar una adecuada

distribución territorial de éstos, misma que debe abarcar todo el Distrito Metropolitano de Quito DMQ (EMGIRS- EP, 2010).

Para residuos No peligrosos se menciona en la Ordenanza No 332, sección VI Disposición Final, en el artículo No 57, que la disposición final de residuos sólidos no peligrosos se realizará únicamente en los rellenos sanitarios autorizados por la Municipalidad. No se permitirá ningún tipo de botadero a cielo abierto (EMGIRS- EP, 2010).

Es necesario que se cumplan con los debidos procesos antes mencionado evitando perjudicar a salud o el ambiente, así como lo menciona el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente TULSMA en su libro VI en el Anexo I numeral 4.2.1.21, indica que los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de construcción, cenizas, cachaza, bagazo o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de aguas estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos (Ministerio del Ambiente, 2017)

1.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

Para lograr una gestión adecuada de lodos residuales producidos en las plantas de depuración, las características del lodo a procesar son muy importantes de conocer debido a que de estas dependerá la capacidad de neutralizar contaminantes o el éxito del tratamiento que se le dé a los lodos residuales antes de su disposición final (Gualoto, 2016).

Las principales características que influyen para que un lodo tenga un uso benéfico como el compostaje son: a) contenidos de materia orgánica, b) nutrientes, c) patógenos, d) metales y compuestos orgánicos tóxicos. Para determinar el valor benéfico del lodo para compostaje y fertilizante, el lodo debe ser evaluado mediante la determinación de nitrógeno, fósforo y potasio (Metcalf & Eddy, 1995).

1.2.5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características varían según el origen de los sólidos y del fango, de la edad del fango y del tipo de procesos a los que se sometieron (Metcalf & Eddy, 1995).

El contenido de humedad es el factor más importante debido a que de este dependerá el volumen de los lodos, la dificultad de manejo y almacenamiento. En un lodo primario la humedad está entre el 91% al 95%, siendo el 94% un valor típico; en un lodo secundario está entre el 98,5% al 99,5% con un valor típico de 99,2%, siendo estos valores significativos de humedad para que sea más complejo el tratamiento y la disposición (Gualoto, 2016).

1.2.5.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas de los lodos dependen netamente de la calidad del agua residual, el tratamiento que se aplique al agua residual y del posterior tratamiento de los lodos resultantes del proceso. Las principales características químicas de un lodo son: nutrientes, Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, Demanda Química de Oxígeno DQO, Carbono Orgánico Total COT, metales pesados, conductividad, pH, parámetros inorgánicos (arcillas y arenas), parámetros orgánicos (aceites y grasas) (Gualoto, 2016).

1.2.5.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Las características biológicas describen la presencia de organismos específicos, cuando el sólido se empieza a descomponer es un claro indicador de que ocurren reacciones biológicas (Comisión Nacional del Agua, 2002). La caracterización biológica de los lodos se realiza mediante la identificación de microorganismos indicadores, como: *Salmonella* sp., Coliformes Fecales, Huevos de Helmintos y virus (hepatitis A y calcivirus) (Gualoto, 2016).

Tabla 10. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Clase	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
-------	---	-----------	-----------

	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella</i> sp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1.000	Menor de 3	Menor de 1 (viable)
B	Menor de 1.000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2.000.000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003).

1.2.5.3.1. ***SALMONELLA SP.***

Salmonella sp. pertenece a la familia Enterobacteriaceae, su hábitat principal es el tracto intestinal del hombre y los animales. Los miembros de género se destacan por su gran capacidad de adaptación, lo que le permite a un amplio rango de hospedadores (Echeverría, 2014).

Están conformadas por bacilo gramnegativos, anaerobios facultativos y por flagelos peritricos que rodean al microorganismo y no desarrollan cláusula ni espora. Producen sulfato de hidrógeno, ya que son bacterias móviles (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y M, 2009). Las bacterias de este género pueden sobrevivir durante largos períodos de tiempo en el ambiente asociadas a substratos orgánicos, multiplicándose entre los 7 y los 45 °C y sobreviviendo a la refrigeración y congelación (Paucar, 2013).

Hasta la presente fecha se han clasificado aproximadamente más de 2500 serotipos de *Salmonella*; la patogenicidad de cada una de ellas varía en sus formas de manifestación clínica dependiendo de la especie hospedera implicada; por lo que, su identificación es clave desde el punto de vista epidemiológico y de Salud Pública (Mora, 2013). La salmonelosis es un problema de salud pública principalmente en los países en desarrollo

de Latinoamérica, Asia y África. Hasta el año 2033, se reportaron de 200 a 500 casos por cada 100,000 habitantes (Mena & Cota, 2007).

Algunos tipos de Salmonella también se encuentran presentes en los lodos residuales, se mencionan a continuación.

Tabla 11. Tipos de Salmonella presentes en los lodos residuales.

Grupo	Agentes	Efectos en la salud
Bacterias	<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea
	<i>Salmonella paratyphi</i>	Disentería bacilar
	<i>Salmonella sp.</i>	Diarreicas

Fuente: (Cárdenas & Isabel, 2016)

La *Salmonella sp.* ha demostrado ser un excelente indicador epidemiológico para la determinación de diversas infecciones, además varios autores afirman que esta bacteria sirve como indicador ya que pueden sobrevivir aún más tiempo que los Coliformes en el agua. Debido a que la Salmonella se utiliza como un indicador de contaminación fecal, y es sabido que mientras mayor sea su presencia en el agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente (Tibaduiza & Tibaduiza, 2014).

Conocer los microorganismos presentes en el agua y determinar su concentración para diagnosticar la calidad del agua y tomar acciones sobre los vertidos, tratamiento de agua y la conservación de ecosistemas. Sin embargo, existe una dificultad asociada a la gran variedad de microorganismos existentes y a la complejidad de algunos análisis en cuanto a coste y tiempo. Por ello, se establecen los denominados microorganismos indicadores entre ellos la *Salmonella sp.*, que permiten una evaluación rápida y fiable que evidencie la presencia de otras especies en las muestras (López, 2018).

Para efectos de la Norma Oficial Mexicana, los límites máximos permisibles de *Salmonella sp.* son los siguientes.

Tabla 12. Límites máximos permisibles de *Salmonella* sp, en lodos de acuerdo a la norma mexicana NOM-004-Semarnat-2002.

Clase	Patógenos (<i>Salmonella</i> sp. NMP/g base seca)
A	Menor de 3
B	Menor de 3
C	Menor de 300

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales,2003)

1.2.5.4. CARACTERÍSTICAS DE PELIGRO CRETIB

Análisis de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso (CRETIB) del lodo, sirven para determinar si se considera como residuo peligroso o no peligroso y con base en esto, plantear las alternativas para el manejo y disposición del mismo. Dentro de los procedimientos correspondientes para el análisis de las muestras de lodo, deben tenerse en cuenta aspectos como el equipo utilizado para el análisis, las normas y métodos estandarizados aplicados para la determinación de las características CRETIB del lodo (Molina & Bermúdez, 2016).

Al ser propiedades intrínsecas de una sustancia, las cuales tienen la capacidad de causar daño; pueden clasificarse como:

Tabla 13. Propiedades de peligro CRETIB

Propiedad	Características
Corrosivas	Sustancias que por su acción química producen graves daños al entrar en contacto con los tejidos vivos o toda superficie. Causa quemaduras graves y se aplica tanto a líquidos o sólidos.
Reactivas	Sustancias que, al entrar en contacto con el agua, alguna sustancia o la humedad tienden a descomponerse o reaccionar de forma violenta, liberando gases

	<p>peligrosos y energía.</p>
<p>Explosivas</p>	<p>Sustancias que producen una expansión repentina, originada por la ignición de cierto volumen de vapor inflamable, acompañada por ruido, junto con fuerzas físicas violentas capaces de dañar seriamente las estructuras por la expansión rápida de los gases.</p>
<p>Tóxicas</p>	<p>Sustancias que pueden producir efecto negativo sobre un ser vivo, alterando sus equilibrios vitales. Existen sustancias tóxicas agudas, las cuales debido a su concentración son capaces de producir la muerte de los seres expuestos vía inhalación, vía dérmica, vía oral.</p>
<p>Inflamables</p>	<p>Sustancias que, al mezclarse con el aire, en concentraciones tales que forman una flama espontáneamente o por la acción de una chispa. Las sustancias son consideradas inflamables si poseen un punto de inflamación menor a 60°C, una presión de vapor absoluta que no exceda de 2,81 kg/cm² y una temperatura de ebullición de 37,8°C.</p>
<p>Biológicas infecciosas</p>	<p>Sustancias que contienen microorganismos patógenos (bacterias, virus, parásitos, hongos) y otros agentes que pueden causar enfermedades a los seres humanos y animales.</p>

Fuente: (Bonilla, 2007)

1.2.6. ESTABILIZACIÓN

Procesos físicos, químicos o biológicos por medio de los cuales los lodos son acondicionados para aprovecharlos y disponerlos de manera correcta para evitar o reducir su potencial contaminante en el medio ambiente. La estabilización se lleva a cabo para reducir patógenos, eliminar olores no deseados e inhibir, reducir y eliminar el potencial de putrefacción (Metcalf & Eddy, 1995).

1.2.6.1. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

Los lodos de aguas residuales pueden ser estabilizados por medio de productos químicos como el cloro y la cal, siendo este último un producto de bajo costo y de disponibilidad. La cal ha sido usada en los diferentes procesos del tratamiento de aguas residuales para reducir olores, incrementar pH en los digestores y la eliminación de fósforo de las aguas residuales. Actualmente la cal se usa en el acondicionamiento del lodo antes de su deshidratación o secado (Guadamud & Barboto, 2019).

En el proceso de estabilización de lodos con cal, se puede usar variantes de la cal ya sea cal hidratada, Ca(OH)_2 así como la cal viva CaO . Ésta se añade en suficiente cantidad para elevar el pH por encima de 12. El pH de 12 crea entornos en los cuales los microorganismos no pueden sobrevivir; manteniendo condiciones en las cuales el fango no se descompone, no produce olores y eliminando los riesgos a la salud y el medio ambiente. Para la estabilización con cal se pueden aplicar dos métodos:

- Adicional la cal al lodo antes del proceso de deshidratación (pretratamiento con cal).
- Adicionar la cal al lodo después de la deshidratación (postratamiento con cal)

1.2.6.2. PRETRATAMIENTO CON CAL

El pretratamiento del lodo líquido con cal requiere mayor cantidad de cal por peso unitario de lodo tratado, que la requerida para la deshidratación. La mayor cantidad de lodo es necesaria para conseguir el elevado valor de pH (12). Además, para conseguir que los microorganismos presenten mayor mortandad, es necesario que el tiempo de contacto entre la cal y el lodo sea el suficiente. Para asegurar que la mortandad de

patógenos sea la correcta, el pH se debe mantener por encima de 12 durante 2 horas (Metcalf & Eddy, 1995). La dosis de cal necesaria varía en función del tipo de lodo y la concentración de sólidos.

1.2.7. APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

La mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas municipales e industriales instaladas en Latinoamérica no incluyen el manejo y disposición de los lodos residuales generados, por lo que estos tienen como disposición final los rellenos sanitarios, provocando contaminación ambiental debido al alto contenido de patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos (Zúñiga, 2016). Por otro lado, con los lodos producidos en una planta de tratamiento, puede traer también ciertos beneficios dependiendo del tratamiento o destino que se les dé. Las principales formas de aprovechamiento son como fuente de energía o mejoramiento del suelo en la agricultura tal como lo indica Norma Oropeza en su artículo “Lodos residuales: estabilización y manejo” publicado en el 2006 establece que estos lodos pueden ser utilizados sin riesgo a la salud y al medio ambiente en campos agrícolas después de ser sometidos a diversos procesos de estabilización, ya que incrementan del 10 al 85% el rendimiento de los cultivos en relación con los fertilizantes comunes (García, 2006). A continuación, se presentan las formas de aprovechamiento de los lodos residuales.

1.2.7.1. FUENTE DE ENERGÍA

Una forma de aprovechar los lodos producidos en una planta de tratamiento es por medio del biogás que se obtiene como subproducto en la digestión anaerobia de los lodos. La digestión anaerobia es un proceso de estabilización, en el cual se lleva a cabo la destrucción de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno. Las tendencias actuales han ocasionado que este tipo de procesos sean cada vez más rentables, ya que el biogás generado puede producir entre 50% y 100% de la energía requerida en un tratamiento biológico convencional (Macías, 2013).

El desarrollo de la tecnología ofrece alternativas más eficientes y económicas que hacen visible el poder implementar dichos sistemas, con lo cual se permite lograr optimizar los recursos y reducir los costos de operación, de tal manera que se ocasione menos impacto en el ambiente (Macías, 2013).

La Federación Ambiental del Agua (*Water Environment Federation*), 1998, señala que la producción de biogás es función de la destrucción de sólidos suspendidos volátiles en el digestor. Ésta es entre 0.8m³ a 1.1m³ de biogás por cada kilogramo de sólidos suspendidos volátiles destruidos (Chiruchi, 1996).

El biogás producto de la destrucción anaerobia de la materia orgánica tiene una gravedad específica de aproximadamente 0.86 en relación al aire (Metcalf & Eddy, 1995) y contiene entre 45% y 75% en volumen de metano y 25% a 45% de dióxido de carbón (Macías, 2013). Otros componentes y características del biogás se indican a continuación.

Tabla 14: Componentes y características del biogás.

Compuestos	Porcentaje o concentración
Nitrógeno	0,2% a 2,5%
Amoniaco	100 ppb a 2.000 ppb
Sulfato de hidrógeno	200 ppm a 3.500 ppm
Siloxanos	100 ppb a 4.000 ppb
Vapor de agua	5,9% a 15,3%

Fuente: (Macías, 2013)

La principal dificultad que se presenta al aprovechar el biogás es el requerimiento de un extenso pretratamiento previo a su aprovechamiento para evitar daños al equipo. El nivel de tratamiento requerido es variable, depende de las necesidades de la tecnología de cogeneración (procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil). Se deben eliminar siloxanos, sulfuro de hidrógeno, contenido de humedad y elementos traza (Macías, 2013).

1.2.7.2. APROVECHAMIENTO PARA EL SUELO

La incorporación al terreno para abastecerse de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno es uno de los usos que se le dan a los biosólidos. Se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que

necesitan recuperación. El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementa la tolerancia de la vegetación a la sequía. También provee nutrientes y fósforo, así como de algunos micronutrientes como el zinc, níquel y el cobre (US EPA, 2000).

Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos, debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas son menos solubles que el agua y, por lo tanto, tienen una menor posibilidad de lixiviar al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales. Existen diversos métodos para la aplicación de biosólidos al terreno. La selección del método depende del tipo de terreno y de la consistencia de los biosólidos (US EPA, 2000).

Esteller en su estudio realizado en el años 2002 para determinar la vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas y lodos residuales en la agricultura establece que se deben tener en cuenta las características de lodo residual, aspectos sanitarios y ambientales, y los criterios que se utilizan para determinar la calidad del lodo para la agricultura que se basan, fundamentalmente, en el contenido de humedad, sólidos suspendidos volátiles, carbono orgánico total, nitrógeno total, potasio, calcio, magnesio, fósforo, nitratos, metales pesados (Cd, Pb, Zn, etc.), bacterias, Coliformes totales y fecales y pH (Esteller, 2002).

El lodo residual, además de actuar sobre el suelo como fertilizante orgánico-mineral, se comporta como un material encalador; por la cantidad de calcio que contiene; lo que contribuye a aumentar el pH del suelo (Mendoza & Sánchez, 2012).

Finalmente, el compostaje es otro destino de los lodos, estos se pueden ser utilizados para compostaje sin una digestión previa.

1.2.7.3. COMPOSTAJE DE LODOS

El compostaje es la descomposición biológica de materia orgánica en condiciones aerobias y temperaturas entre 45-60 °C, ventilación forzada o volteos mecánicos, humedad entre 50-60% hasta alcanzar un producto estable, mediante la mezcla de lodo

con un desecho orgánico (basura de jardín, madera, entre otros) (Mendoza & Sánchez, 2012). Los objetivos de compostaje son reducir los agentes patógenos por debajo de los niveles permisibles, degradar los sólidos volátiles, y elaborar un producto útil; la reducción de patógenos es una función del tiempo y la temperatura. El compost de los lodos es una manera de cumplir el reglamento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que se basan en la reducción de patógenos (Smith, 2003).

Como material de soporte para el proceso de compostaje, se utiliza una mezcla de serrines o aserrines procedentes de las industrias de transformación de madera. Además, se han realizado ensayos satisfactorios con otros estructurantes como la cascarilla de arroz y restos de poda de jardines molturada (Mendoza & Sánchez, 2012).

Tabla 15: Ventajas y desventajas de compostaje

Ventajas	Desventajas
Es un sistema de reciclaje, con una útil revalorización del residuo	Para realizarlo a nivel comercial se requiere de alta inversión inicial
Optimiza los recursos existentes en cada zona al aprovechar los residuos que se producen en ella.	Disponibilidad de terreno
Reducción de volumen de los residuos	Contaminación al ambiente (metales pesados, olores y otros), según material de origen compostaje.
Ahorro económico en abonos químicos.	Aplica a lodos con contenido de sólidos entre el 40 - 60%
Producto comercializable.	Menor reducción de patógenos
Aumenta la vida en el suelo, ya que estimula su actividad biológica.	
Fácil de preparar y ocupa poco espacio, si se realiza a pequeña escala.	
Bajo costo, solo requiere mano de obra para su confección, si se realiza a pequeña escala.	

Disminuye las necesidades de materia orgánica de los suelos y contribuye a su recuperación.	
---	--

Fuente: (Herrera & Riffo, 2007)

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se realizaron varias actividades como la socialización con el personal de Productores Químicos S.A., cotización de proformas en laboratorios acreditados que se encuentren dentro de la provincia de Pichincha para realizar los análisis CRETIB. La investigación se fundamentó en optimizar los procesos encargados de tratar los lodos residuales. Con el análisis de los parámetros CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico) se determinó el tipo de lodo que se genera y se verificó las normativas nacionales e internacionales vigentes que pueden ser aplicadas con la finalidad de determinar la no peligrosidad o peligrosidad del lodo residual, de modo que se propusieron acciones para un manejo adecuado del lodo residual generado. Además, se determinó la vía adecuada para su correcta disposición.

2.1. UBICACIÓN

Productores Químicos S.A. se encuentra ubicada en el Parque Industrial Itulcachi Km 4,8 de la vía Pifo-Píntag, ubicada en la parte Suroriental del Distrito Metropolitano de Quito, siendo el Parque Industrial Itulcachi una zona industrial que abarca grandes empresas como Intaco, Novopan, Holcim S.A., Incinerox y otras más.

- Altitud: 2671msnm
- Latitud: 0°16'25,21" S
- Longitud: 78°20'03,82" O



Figura 1: Ubicación PQA S.A. (Google Earth,2021)

2.2. ORIGEN DE LODOS EN LA PTAR DE PQA S.A.

Los lodos residuales son el resultado de toda la línea de tratamiento (tanque homogeneizador, floculadores, sedimentadores, filtros de arena y grava), encargados de tratar las aguas residuales industriales, según lo indica el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua recirculada (modelo: aQuaVIM-FU-2X6).

2.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE LA PTAR DE PQA S.A.

El tratamiento adoptado por PQA S.A. (tratamiento físico-químico, recirculación), cuenta con las siguientes líneas fundamentales (PQA S.A., 2019):

- Línea de agua: Para el tratamiento de los contaminantes del agua, la misma que produce lodos con un contenido de humedad alto.
- Línea de lodos: para el tratamiento de los sedimentos producidos en la línea de agua, con la finalidad de que sean aptos para su disposición final.

2.2.2. LÍNEA DE LODOS DE LA PTAR PQA S.A.

La línea de lodos inicia con la extracción del material depositado en el fondo de los sedimentadores hacia el tanque de almacenamiento; el tanque de almacenamiento cuenta con una bomba sumergible para recircular el lodo hacia el tanque de precipitados

y homogeneización. El tanque de almacenamiento de lodos cuenta con un sistema de válvulas para dosificación de aire comprimido para evitar compactaciones del lodo dentro del tanque y con un sistema de succión con una bomba neumática que conducirá los lodos del tanque hacia los espesadores.

En los espesadores por gravedad se cuenta con un sistema de válvulas para eliminar el agua que se ha separado del lodo junto con un sistema de válvulas de dosificación de aire que ayuda a que el tratamiento químico (adición de cal) sea mezclado correctamente. A partir de los espesadores por gravedad, el lodo es conducido por medio del sistema de válvulas que activan la bomba neumática hacia el filtro prensa el cual cuenta con una bomba hidráulica que proporcionará la presión requerida para que el lodo sea deshidratado (PQA S.A., 2019)

Finalmente, los lodos deshidratados son retirados de cada placa del filtro prensa y colocados en costales para que posteriormente se realice su disposición final.

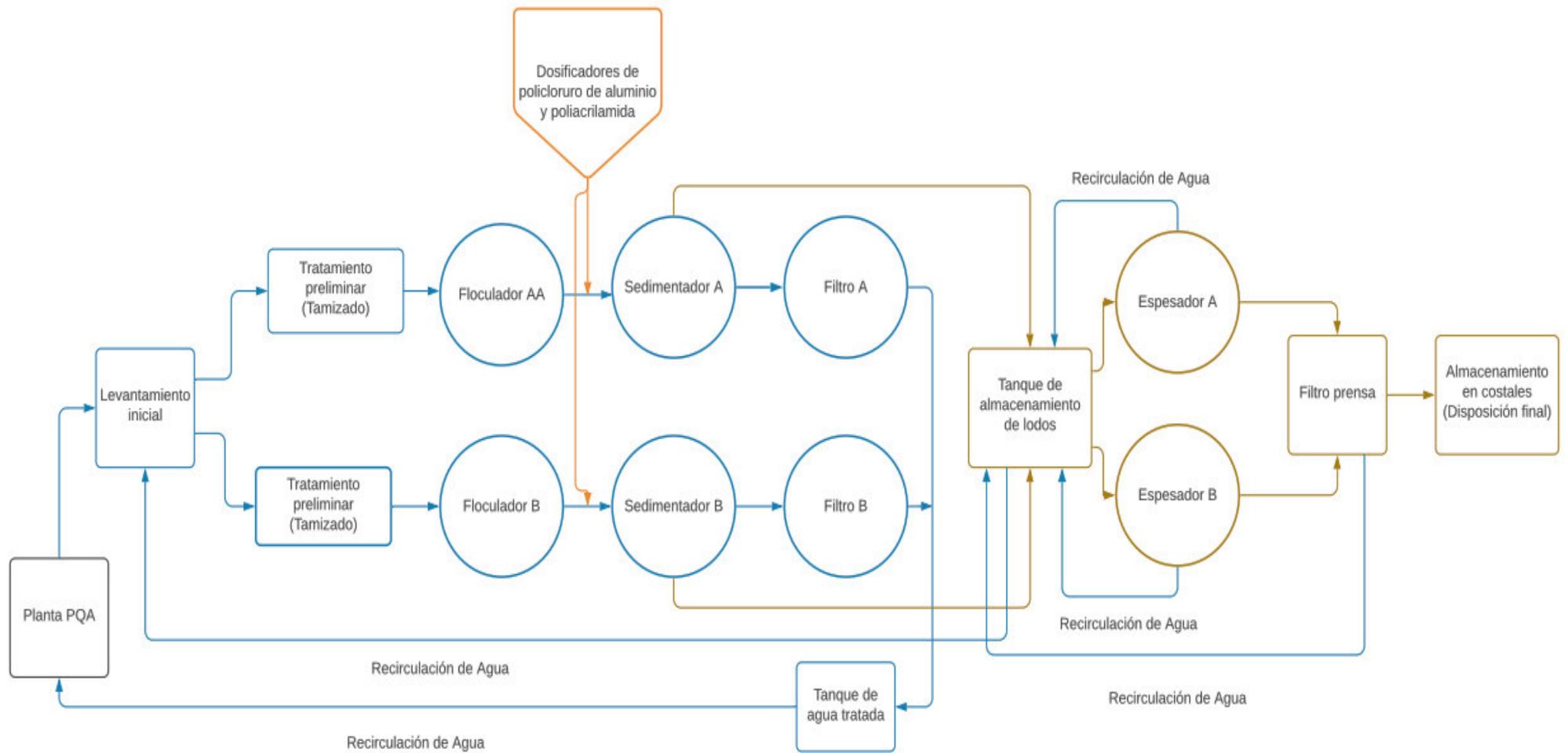


Figura 2: Línea de agua y de lodos de la PTAR PQA S.A. (PQA S.A., 2019)

2.2.2.1. ESPESAMIENTO DE LODOS DE LA PTAR PQA S.A.

Una vez terminado el proceso de sedimentación en cada tanque, es necesario extraer del sistema este lodo para evitar acumulaciones innecesarias dentro del sistema. La extracción de los lodos se realiza mediante el uso del sistema de válvulas que conducen los lodos hacia el tanque de almacenamiento de lodos; en donde los lodos son aireados con la finalidad de evitar su compactación (PQA S.A., 2019).

El lodo es succionado a los espesadores A Y B por medio de una bomba neumática equipada con un sistema de tuberías y válvulas. El lodo succionado a los espesadores contiene una elevada fracción de agua que es necesario minimizar, según el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, el tiempo que debe de estar el agua-lodo en los espesadores para que sedimente el lodo por medio de gravedad es de 4 horas. Transcurrido este tiempo el exceso de agua en los espesadores es eliminada por medio del sistema de válvulas que se encuentran ubicadas a niveles diferentes, de manera que se obtenga lodo espeso con una reducida concentración de agua. El exceso de agua eliminada de los espesadores es regresado al tanque de lodos. Los dos espesores A y B cuentan con un sistema de bomba dosificadora, que al momento se encuentra inactiva, con la cual se pretenderá agregar cal para estabilizar el lodo y mejorar la eficacia en el tratamiento del lodo (PQA S.A., 2019).



Figura 3. Espesadores A y B PQA S.A.

2.2.2.2. DESHIDRATACIÓN DE LODOS DE LA PTAR PQA S.A.

La operación de deshidratación complementa al proceso de tratamiento de lodos. El lodo de los espesadores es conducido por un sistema de tuberías y válvulas al filtro-prensa, la bomba neumática es la encargada de inyectar el lodo a las 12 mono-placas con medio filtrante del filtro-prensa por un periodo de 4 horas, tiempo que se menciona en el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas.

Transcurrido ese lapso de tiempo se suministra aire comprimido al sistema de las mono-placas del filtro-prensa con la finalidad de obtener un lodo mejor compactado, el tiempo que se suministra aire comprimido es de 1 hora según el manual de operación y mantenimiento (PQA S.A., 2019).

Con la presión se fuerza la salida del exceso de agua presente en el lodo. La deshidratación permite que los sólidos suspendidos totales se concentren y así el lodo adquiere un porcentaje de humedad del 20% con consistencia más sólida y manejable, listo para ser recogido en costales y almacenado para su posterior disposición final (PQA S.A., 2019).



Figura 4. Filtro Prensa PQA S.A.

Tabla 16: Presiones de trabajo del filtro prensa PQA S.A.

Filtro Prensa	Presión máxima de filtración	Presión de trabajo
	6 kg/cm ²	430 kg/cm ²

Fuente: (PQA S.A., 2019)

2.3. METODOLOGÍA DE CAMPO

El desarrollo de la fase de campo del proyecto se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas de Recirculación de la Empresa Productores Químicos S.A. (PQA S.A.), la fase experimental de análisis de lodo la desarrolló el Laboratorio ANAVANLAB ubicado en la ciudad de Quito en el sector de Cumbayá con acreditación N°OAELEC 13-006, bajo los parámetros de la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 junto con la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Posterior a los análisis CRETIB se realizó el acondicionamiento del lodo por medio de la adición de cal viva, reduciendo agentes microbiológicos presentes en el lodo de manera que cumplió con los límites que determina la normativa mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 y la normativa mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

2.3.1. TOMA DE MUESTRAS DE LODOS EN LA PTAR PQA S.A.

Localizados los costales de lodo residual debajo del silo en la planta de producción de PQA S.A.; ANAVANLAB realizó el muestreo tomando en cuenta las directrices de las normas Mexicanas NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-004-SEMARNAT-2002 y el Acuerdo Ministeriales 142. El personal recolectó con ayuda de una pala muestras representativas de lodo residual. En total se recolectaron diez muestras de las cuales seis se usaron para realizar los análisis y las cuatro restantes se tomaron en caso de requerir más muestra para los análisis. Las muestras se guardaron en fundas zipper; no se acondicionaron y una muestra fue guardada en papel aluminio debido a que la muestra se usó para analizar hidrocarburos.



Figura 5. Toma de muestra de lodo residual.

2.3.2. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS CRETIB DE LODOS

Para la etapa inicial del proyecto se tomaron 9 muestras del lodo residual y fueron analizados en el laboratorio ANAVANLAB siguiendo la norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 que establece los parámetros para determinar las características CRETIB en el lodo y determinar si es un residuo peligroso; además, se usó la NOM-004-SEMARNAT-2002 para categorizarlo como un biosólido. El lodo se caracterizó en parámetros físico-químicos y microbiológicos, mediante los métodos de análisis que se presenta en la Tabla 17, con el propósito de tener una línea base del proceso de estabilización.

Tabla 17: Parámetros medidos en ANAVANLAB con la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.

CORROSIVO		
Parámetro	Unidades	Método Analítico
pH	-	AAA-PE-S014/ EPA 9045 B
REACTIVO		
Parámetro	Unidades	Método Analítico
Reacción con ácido	N/A	Cualitativo
Reacción con agua	N/A	Cualitativo
Reacción con álcali	N/A	Cualitativo
EXPLOSIVO		
Parámetro	Unidades	Método Analítico

Explosividad	N/A	NOM-052-SEMARNAT/ 05
TOXICIDAD		
Parámetro	Unidades	Método analítico
Arsénico	mg/l	AAA-PE-A023/SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015
Bario	mg/l	AAA-PE-A022/SM 3111 D. EPA 3015
Cadmio	mg/l	AAA-PE-A022/SM 3111 B. EPA 3015
Cromo total	mg/l	AAA-PE-A022/SM 3111 B. EPA 3015
Mercurio	mg/l	AAA-PE-A023/SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015
Plata	mg/l	AAA-PE-A022/SM 3111 B. EPA 3015
Plomo	mg/l	AAA-PE-A022/SM 3111 B. EPA 3015
Selenio	mg/l	AAA-PE-A023/SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015
INFLAMABILIDAD		
Parámetro	Unidades	Método Analítico
Inflamabilidad	N/A	NOM-052-SEMARNAT/ 05
BIOLÓGICO		
Parámetro	Unidades	Método Analítico
Salmonella	NMP/g	-
Recuento de Huevos de Helminfos	Huevos/g	-
Coliformes fecales Media	NMP/g	-

Fuente: (AVANANLAB, 2006)

2.4. ESTABILIZACIÓN DE LODOS

Para la estabilización de lodos se realizó la cotización de diez costales de cal viva con un peso de 25 kg al centro de distribución Disensa; ubicado en el Valle de los Chillos, sector El Colibrí. Dicha cotización se realizó con la finalidad de que Productores Químicos Ecuatorianos S.A. cuente con una base de costo para poder adquirir la cal viva para la estabilización del lodo. Para el desarrollo de este trabajo se compró un costal de cal viva para poder realizar la estabilización.

En el desarrollo de la estabilización alcalina se consideraron criterios recomendados por diferentes bibliografías, en donde se expone que los tiempos necesarios de estabilización de lodos según algunos autores (Gualoto, 2016; Metcalf & Eddy, 2003b) se encuentra entre 2 horas a 12 horas. Para la investigación, se seleccionó un tiempo de contacto de 2 horas. En cuanto a la concentración de cal para la estabilización se tomaron proporciones peso a peso y se utilizó 20% de cal viva. Para determinar la cantidad de lodo y cal se utilizaron las siguientes fórmulas.

$$m = \rho * v$$

Ecuación 1. Cantidad de lodo (Gualoto, 2016).

m: (kg) masa

ρ : 1,25 (kg/l) densidad

v: 4 (l) volumen

Usando la **Ecuación 1** se obtiene:

$$m = 1,25 \frac{kg}{l} * 4 l = 5 kg$$

Para el cálculo de masa de cal viva al 20%

$$m_{cal} = \frac{20\%}{100\%} * m_{lodo}$$

Ecuación 2. Masa de cal (Gualoto, 2016)

mcal: (kg) masa de cal

$\frac{20\%}{100\%}$: Concentración de cal

mlodo: (kg) masa de lodo

Usando la **Ecuación 2** se obtiene:

$$mcal = 0,2 * 5 = 1 \text{ kg}$$

Por lo tanto, por cada 5 kg de lodo se utilizó 1 kg de cal viva.

Sin embargo, la cal se diluyó, para lo cual el volumen de agua necesaria para diluir 1 kg de cal para obtener una concentración de 20% se obtuvo mediante la siguiente ecuación.

$$\% \frac{m}{v} = \frac{m \text{ cal}}{v \text{ agua}} * 100\%$$

Ecuación 3. Volumen de agua para cal (Gualoto, 2016)

$\% \frac{m}{v}$: 20%

mcal: (kg) masa de cal

v agua: (l) volumen de agua

Usando la **Ecuación 3** se obtiene:

$$v \text{ agua} = \frac{1 \text{ kg} * 100\%}{20\%} = 5 \text{ l}$$

Se decidió usar 1 l de la solución de cal al 20% debido a que el espacio del balde era reducido y se requería mezclar adecuadamente el lodo con la solución de cal. Se utilizó 200 g de cal en 1 l, lo mismo que corresponde al 20% en concentración de cal. Para conocer la cantidad de cal en 1 l se realizó una regla de tres.

Sí en 5 l \rightarrow 1000 g

1 l \rightarrow x = 200g

En el experimento se utilizó un balde de volumen de 10 l en donde se colocó los 5 kg de lodo deshidratado junto con 200 g de cal viva diluida en un litro de agua lo que corresponde al 20% de concentración. El lodo junto con la solución de cal al 20% se mezclaron manualmente con la finalidad de formar una mezcla homogénea y la cal pueda tener efecto sobre la carga biológica en todo el lodo.



Figura 6. Estabilización con cal viva.

Iniciado el tratamiento, se monitoreó el proceso de estabilización del lodo residual, mediante muestras simples. Las mediciones de pH se realizaron cada media hora durante dos horas; verificando que el pH sea de 12 durante todo el tiempo, criterio necesario para reducir patógenos como la *Salmonella* sp.



Figura 7. Control de pH



Figura 8. Comparación de pH con escala de colores

2.5. TOMA DE MUESTRAS PARA ANALIZAR SALMONELLA SP.

Se tomaron dos muestras de lodo, una muestra de lodo deshidratado sin tratamiento con cal viva en un recipiente estéril de 10 mL sin aplicar ningún preservante. La siguiente muestra fue de lodo deshidratado con tratamiento con cal viva al 20% en un recipiente estéril de 10 mL sin aplicar ningún preservante; las muestras fueron etiquetadas y guardadas en un cooler pequeño con hielo y llevadas al laboratorio AVANANLAB para que se analizara la presencia de *Salmonella* sp.



Figura 9. Toma de muestra



Figura 10. Muestras

2.3.1. METODOLOGÍA DE LABORATORIO *SALMONELLA* SP.

El laboratorio ANAVANLAB usó el método 1682 de la EPA (United States Environmental Protection Agency) para determinar la presencia de *Salmonella* sp. en aguas residuales, lodos (Biosólidos) por modificado Rappaport-Vassiliadis semisólido (MSRV) Medio.

Este método es para la detección y enumeración de *Salmonella* sp. en biosólidos tratados mediante enriquecimiento, selección y caracterización. Tiene la intención de enumerar *Salmonella* sp. para ayudar a determinar la idoneidad de los biosólidos para la aplicación en la tierra de acuerdo con 40 Código de Regulaciones Federales (CFR) Parte 503. Aunque el Método 1682 es selectivo para la bacteria *Salmonella* sp., no diferencia entre especies de *Salmonella* sp. y este método no está diseñado para su uso en muestras de agua o como prueba de microorganismos que no sean *Salmonella* sp. (US EPA, 2019). A continuación, se presenta un resumen del método.

Para determinar la presencia de *Salmonella* sp., se usó el medio semisólido Rappaport-Vassiliadis, el cual es utilizado para el enriquecimiento selectivo de *Salmonella* (Becton & Dickinson, 2003). El método EPA 1682 proporciona una enumeración de *Salmonella* sp. en biosólidos que se basó en el número más probable (NMP) (US EPA, 2006).

La determinación de *Salmonella* implicó la inoculación del medio de enriquecimiento, tríptico caldo de soja (TSB), con una cantidad medida de muestra que se incubó durante 24 horas. Después de la incubación, TSB se colocó sobre el medio selectivo MSRV. El medio MSRV utilizó novobiocina y verde malaquita, ese medio tiene doble función. La primera, ayudó a la inhibición de especies que no son *Salmonella* sp. y la segunda es

que actuó como un medio de desarrollo que permite que la mayoría especies de *Salmonella* sp puedan crecer (Becton & Dickinson, 2003).

Las colonias de *Salmonella* sp. que se han de identificar se aíslan en xilosa-lisina agar desoxicolato (XLD) y con agar lisina-hierro (LIA), agar hierro triple azúcar (TSI) y caldo de urea, seguido de tipificación serológica positiva con antisueros. Para determinar sólidos totales (% de peso seco) se usó una muestra de biosólidos representativa y se calculó el NMP/g de peso seco (US EPA, 2006).

2.4. GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL

Una vez determinado que el lodo es un residuo peligroso, se contactó a un gestor calificado como lo determina el Acuerdo Ministerial 061-Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Art 86-Del generador de desechos peligrosos y/o especiales: “Corresponde a cualquier persona natural o jurídica, pública o privada que genere desechos peligrosos y/o especiales derivados de sus actividades productivas o aquella persona que esté en posesión o control de esos desechos. El fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad peligrosa que luego de su utilización o consumo se convierta en un desecho peligroso o especial, tendrá la misma responsabilidad de un generador, en el manejo del producto en desuso, sus embalajes y desechos de productos o sustancias peligrosas”.

Al igual el Acuerdo Ministerial 061-Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Art 85-Gestor o prestador de servicios para el manejo de desechos peligroso y/o especiales menciona: “Constituye toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera, que presta servicios de almacenamiento temporal, transporte, eliminación o disposición final de desechos peligrosos y/o especiales. El gestor para tal efecto, tiene la obligación de obtener un permiso ambiental, según lo establecido en este Libro”.

PQA S.A. al ser una empresa que tras su proceso de reciclaje de plástico de invernaderos genera lodos con características peligrosas, requirió contratar los servicios de un gestor calificado por el Ministerio del Ambiente y Agua conocido como INCINEROX con ubicación en el Km 14 ½ vía a Pifo Sangolquí, Quito-Pichincha. INCINEROX cuenta con diferentes procesos de tratamientos de residuos como: incineración, celdas de seguridad y estabilización, recuperación y revalorización,

trituration y compactación de residuos peligrosos, destrucción de lámparas y luminarias, destrucción de aerosoles.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS CRETIB DE LOS LODOS RESIDUALES.

La comparación de los parámetros caracterizados se llevó a cabo mediante la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 y la NOM-004-SEMARNAT-2002 como norma para categorizar el lodo como un biosólido.

Tabla 18. Comparación de parámetro “corrosividad” del lodo residual con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
pH	N/A	2 – 12,5	6,5	Sí

Tabla 19. Comparación de parámetro “corrosividad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
pH	N/A	2 – 12,5	6,5	Sí

Según la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, los lodos generados en la Planta de Recirculación de Agua PQA S.A. cumplen con el pH establecido en la norma, teniendo un valor de 6,5 que se encuentra dentro del rango, lo cual indica que el lodo generado tiene un pH neutro (pH 6,5 a 6,8). Por lo tanto, el lodo analizado no es corrosivo.

Tabla 20. Comparación de parámetro “reactividad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
Reacción con ácido	N/A	N/A	No reacciona	Sí
Reacción con agua	N/A	N/A	No reacciona	Sí
Reacción con álcali	N/A	N/A	No reacciona	Sí

Según la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 los lodos generados por la Planta de Recirculación de Agua PQA S.A. no presentan reacción con el aire tras mantenerlo expuesto por unos cinco minutos sin una fuente de ignición cercana; tampoco reaccionan con agua debido a que al existir el contacto del lodo con agua no generan gases inflamables en cantidades mayores a 1L/kg de lodo*h.

Tabla 21. Comparación de parámetro “explosividad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
Explosividad	N/A	N/A	No reacciona	Sí

Según la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 los lodos generados por la Planta de Recirculación de Agua PQA S.A. no presentan explosividad al exponerlo a una fuente de energía o al calentarlo bajo confinamiento.

Tabla 22. Comparación de parámetro “toxicidad” del lodo residual con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)					
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible EXCELENTES	Límite máximo permisible BUENOS	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
Arsénico	mg/kg	41	75	1,50	Sí
Cadmio	mg/kg	39	85	0,66	Sí
Cromo	mg/kg	1.200	3.000	69,3	Sí
Cobre	mg/kg	1.500	4.300	N/A	N/A
Plomo	mg/kg	300	840	16,4	Sí
Mercurio	mg/kg	17	57	0,50	Sí
Níquel	mg/kg	420	420	N/A	N/A
Zinc	mg/kg	2.800	7.500	N/A	N/A

Tabla 23. Comparación de parámetro “toxicidad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
Arsénico	mg/L	5	1,50	Sí
Bario	mg/L	100	89,3	Sí
Cadmio	mg/L	1	0,66	Sí
Cromo Total	mg/L	5	69,3	No
Mercurio	mg/L	0,2	0,50	No
Plata	mg/L	5	< 5	Sí
Plomo	mg/L	5	16,4	No
Selenio	mg/L	1	< 0,25	Sí

Según la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 los lodos generados en la Planta de Recirculación de Agua PQA S.A. cumplen con los límites máximos permisibles de la norma en arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio; cabe mencionar que cobre, níquel y zinc no se analizaron debido a que no forman parte del listado de la NOM-004-SEMARNAT-2002. Por otro lado, según la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 los lodos presentan bajas concentraciones en arsénico, bario, cadmio, plata y selenio; lo que, por el contrario, el cromo, mercurio y plomo sobrepasan el valor máximo permisible lo cual imposibilita su uso para la agricultura o mejoramiento de suelos al ser elementos altamente tóxicos y peligrosos que pueden incidir negativamente en nuestra salud y en el medio ambiente.

Tabla 24. Comparación de parámetro “inflamabilidad” del lodo residual con la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple
Inflamabilidad	N/A	N/A	No reacciona	Sí

Según la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 los lodos generados en la Planta de Recirculación de Agua PQA S.A. cumplen con el parámetro de inflamabilidad al no provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C.

Tabla 25. Comparación de parámetro “biológico-infeccioso” del lodo residual con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)								
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible			Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple		
		Clase A	Clase B	Clase C		Clase A	Clase B	Clase C

<i>Salmonella</i> sp.	NMP/g	< 3	< 3	< 300	16,09	No	No	Sí
Huevos de helmintos	Huevo/g	< 1	< 10	< 35	Ausentes	Sí	Sí	Sí
Coliformes fecales	NMP/g	<1.000	< 1.000	< 2x10 ⁶	980,40	Sí	Sí	Sí

La Norma Mexicana exige un límite permisible para que el lodo generado sea clasificado en clase A, clase B y clase C; siendo la clase A la que contiene menor cantidad de contaminación patógena, la clase B en valores intermedios cercanos a la clase A y la clase C la que contiene mayor cantidad de contaminación patógena.

Si se observan los resultados de los lodos generados en la planta de recirculación de PQA S.A., cumple con los requisitos para categorizarlo como clase C (huevos de helmintos ausentes, *Salmonella* sp. 16,09 NMP/g, Coliformes fecales 980,40 NMP/g) para lo cual NOM-004-SEMARNAT-2002 determina que estos lodos pueden ser aprovechados para usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas.

3.2. ANÁLISIS DE *SALMONELLA* SP.

Para esta parte del proyecto se tomaron 2 muestras, una de lodo residual deshidratado sin tratamiento y otra de lodo residual deshidratado con tratamiento con cal viva al 20%. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio AVANANLAB. El lodo se caracterizó en el parámetro biológico de *Salmonella* sp. La comparación de los resultados se llevó a cabo mediante la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 como norma para categorizar el lodo como un biosólido.

Tabla 26. Comparación de parámetro de *Salmonella* sp. del lodo residual deshidratado sin tratamiento con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)				
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados lodo PQA	Cumple

		Clase A	Clase B	Clase C	S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Clase A	Clase B	Clase C
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/g	< 3	< 3	< 300	13,1	No	No	Sí

Análisis y discusión: En base al resultado del contenido de *Salmonella* sp., de la muestra de lodo sin tratamiento, el resultado se encuentra fuera de los límites que dicta la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, para lo cual es un lodo no apto para ser usado como un biosólido tanto en la clase A como la clase B. En cuanto a la clase C, se encuentra dentro del rango que dicta la Norma para *Salmonella* sp.

Tabla 27. Comparación de parámetro de *Salmonella* sp. del lodo residual deshidratado con tratamiento con cal viva al 20% con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Comparación de parámetros de Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 con los resultados del laboratorio ANAVANLAB (Lodo residual PQA S.A.)								
Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible			Resultados lodo PQA S.A. – Laboratorio AVANANLAB.	Cumple		
		Clase A	Clase B	Clase C		Clase A	Clase B	Clase C
<i>Salmonella</i> sp.	NMP/g	< 3	< 3	< 300	<2	Sí	Sí	Sí

Análisis y discusión: Con el resultado presentado tras el análisis, se observa una reducción de contenido de *Salmonella* sp. evidenciando que el tratamiento con cal viva al 20% tuvo efecto positivo reduciendo considerablemente la concentración de *Salmonella* sp., de tal manera que se encuentra dentro del límite máximo permisible que dicta la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Además, con este resultado se puede evidenciar que la concentración de cal y el tiempo de contacto son lo suficiente para poder reducir la *Salmonella* sp.

3.3. COMPOSTAJE

La etapa de crear un biosólido para ser usado para el mejoramiento de suelos, usos forestales y usos agrícolas no fue posible debido a que los resultados obtenidos en el laboratorio AVANANLAB demuestran que el lodo contiene concentraciones de cromo, mercurio y plomo junto con presencia de *Salmonella* sp.; mismos parámetros que sobrepasan el límite que determina la norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 para lo cual el lodo residual se lo catalogó como peligroso.

De igual forma se lo catalogó como peligroso de acuerdo al Acuerdo Ministerial 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Art 79- Desechos Peligrosos, literal a: “Los desechos sólidos, pastoso, líquidos o gaseosos resultantes de un procesos de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológicas infecciosas y/o radiactivas que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales aplicables”. Además, dicho residuo se encuentra detallado en el Acuerdo Ministerial 142, Anexo C – Listado Nacional de Desechos Especiales, Detalle: Plásticos de invernadero, Código ES-03. Por lo cual el lodo residual producto del lavado de dichos plásticos, será considerado como desecho especial.

3.4. GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL

Por motivos económicos producidos por la pandemia de SARS COV-19, PQA S.A. presentó paras en su producción lo que conllevó a reducciones de ingresos y presupuestos. Por tal motivo PQA S.A. no pudo contratar los servicios del gestor calificado para que se disponga de manera correcta los lodos producidos en la planta de recirculación de agua. Productores Químicos Ecuatorianos S.A. sigue disponiendo los lodos como lo venía haciendo, los lodos son llevados al relleno sanitario donde son dispuestos.

Sin embargo, se tuvieron conversaciones con técnicos de INCINEROX sobre el manejo de los residuos en sus instalaciones, se conoció el proceso por medio del cual los lodos de PQA S.A. serían tratados y dispuestos. Estos procesos son:

- Celdas de seguridad: diseñadas con mallas superpuestas, arcilla y geomembrana de alta densidad para disponer residuos con metales pesados como plomo, cromo, níquel, cobre, cadmio, mercurio, etc. Las celdas son impermeables con la finalidad de evitar contaminación por la posible producción de lixiviados y a la vez las celdas cuentan con un sistema de espina para poder recoger los lixiviados que puedan formarse.
- Estabilización: los residuos previos a su colocación en la celda de seguridad, atraviesan por una estabilización química, fijación, solidificación y encapsulamiento con concreto lo que garantiza la disminución del potencial de peligrosidad de los lodos.
- Confinamiento: alcanzada la estabilización, se confinan en pisos a mismos niveles y para finalizar se compactan.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En base al análisis CRETIB y su comparación con la normal Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el lodo, se da constancia resultados cualitativos y cuantitativos de que el lodo residual analizado es considerado como peligroso, debido a que cuenta con presencia de 69,3 mg/L de Cromo total (Cr), 0.500 mg/L de Mercurio (Hg) y 16,4 mg/L de Plomo (Pb), valores que exceden a los requeridos por la NOM-004-SEMARNAT-2002 de metales pesados peligrosos dentro del parámetro de Toxicidad.
- El lodo residual, por la presencia de patógenos como se evidencia en los resultados CRETIB en el parámetro biológico, la presencia de *Salmonella* sp. es mayor a 2 g de modo que excedió los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en el lodo y biosólidos que permite la NOM 004 SEMARNAT y constituye un producto no estable clase A siendo necesario implementar un tratamiento de estabilización microbiana.
- Debido a que el lodo residual es considerado como peligroso por la presencia de metales pesados, Cromo (Cr), Mercurio (Hg), y Plomo (Pb) en concentraciones

que exceden a los requeridos por la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, la vía de usar al lodo residual como compost orgánico no fue posible aplicar.

- La presencia de metales pesados en el compost es un serio problema que incrementa la preocupación sobre las consecuencias adversas para el medio ambiente, debido a que su alta y excesiva acumulación de metales pesados en el suelo causa contaminación.
- Teniendo en cuenta factores como la composición fisicoquímica del lodo residual de la PTAR de PQA S.A., los requerimientos para uso como biosólido en base a la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, el residuo no podría ser funcional como materia prima de producción de abono. Sin embargo, podría ser empleado como un complemento para la producción de abono orgánico o enmienda, además se puede agregar algún tratamiento que ayuden al lodo residual a disminuir su concentración de metales pesados y así emplearse como una biotecnología como lo es el compostaje o abono orgánico.
- Para la estabilización Biológica del lodo residual se habría elegido el método de estabilización química por medio de cal viva de acuerdo con los parámetros establecidos en la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 y se alcanzó una remoción de *Salmonella* sp. de 13,1 g a concentraciones menores de 2 g, valor que se encuentra dentro de los permitidos por la norma.
- No se usó la cascarilla de arroz para la estabilización química debido a que esta se pretendía usar si el lodo contaba con las características necesarias para poder realizar compost.
- Con una concentración del 20% de cal viva y el tiempo de contacto de dos horas con el lodo se consiguió la remoción de *Salmonella* sp. en el lodo residual producido en la planta de recirculación de agua de PQA S.A.
- Se realizó la estabilización química con la finalidad de reducir los agentes patógenos del lodo y no representen un riesgo hacia los operadores de la planta, quienes recogen los lodos y los apilan diariamente. Sin embargo, la estabilización con la cal podría no ser suficiente para terminar de estabilizar el lodo ya que solo puede influir en reducir la carga de patógenos o corregir la

acidez del suelo para lo cual el gestor de los lodos deberá analizar si previo a disponerlo en la celda de seguridad requiera otro tratamiento.

- El lodo residual generado por la PTAR de la empresa PQA S.A. actualmente no cuenta con una disposición final óptima, convirtiéndose en una oportunidad para desarrollar e implementar nuevas soluciones en esta problemática ambiental.
- En Ecuador hace falta que se trabaje en la elaboración de regulaciones que incluyan controles y límites más estrictos para la estabilización y control de los lodos residuales, así como la estandarización de procedimientos para la instalación y operación de sistemas de recuperación energética de lodos.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se cree que el tanque de almacenamiento de lodos presente en la Planta de recirculación de PQA S.A. constituye un factor importante para que los lodos presentes concentran elevadas de metales y agentes patógenos debido a que los lodos se mantienen por largos periodos sin un tratamiento y una estabilización. Por lo que se recomienda llevarlos de inmediato a los espesadores, estabilizarlos y deshidratarlos.
- Se recomienda elaborar una base de datos de la producción de lodos de la planta de recirculación de PQA S.A., con la finalidad de poder calcular cuanta cal viva se debe adquirir para su estabilización y a la vez saber cuánto lodo se dispone por medio del gestor calificado.
- Con base en los análisis desarrollados se recomienda usar la concentración del 20% de cal viva para la estabilización del lodo con la finalidad de reducir costos y el consumo de cal viva en exceso.
- Como el lodo presenta en su composición metales pesados como cromo total, mercurio y plomo, se recomienda en un futuro aplicar procesos de remediación electroquímica en el cual por medio de un campo eléctrico se remedian los lodos (Barrera Díaz, 2014).

- La electromigración puede ser uno de los métodos que puede aplicar PQA S.A.; la aplicación de la electromigración está vinculada con la eliminación de contaminantes solubles iónicos como metales pesados, radionucleidos y cianuros. Consiste en que por medio del agua contenida en el lodo se muevan los iones metálicos presentes, los aniones (iones de carga negativa) se moverán hacia el ánodo (electrodo de carga positiva) y los cationes (iones de carga positiva) se moverán hacia el cátodo (electrodo de carga negativa) (Barrera Díaz, 2014).
- Al provenir de una misma fuente tanto el agua como los lodos existe la presencia de metales pesados tanto en el agua como en el lodo, para lo cual se recomienda que a futuro se aplique tratamiento de precipitación, con la finalidad de eliminar los metales pesados presentes en el agua. PQA S.A. puede aplicar la precipitación añadiendo agentes químicos como cal, sosa cáustica o sulfuros de hierro y sodio. Se recomienda usar cal, debido a su bajo costo y la facilidad para controlar pH.
- PQA S.A. debe contratar los servicios del gestor calificado INCINEROX, con la finalidad de disponer correctamente los lodos y prevenir la contaminación ambiental y daños a la salud de los seres vivos. Y a la vez prevenir sanciones por parte de la autoridad ambiental competente.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *CENIC Ciencias Químicas*, 1.
- Andrea, C. N. K., & Maribel, O. S. Y. (s. f.). *PROPIEDADES CATALÍTICAS DE LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL*. 113.
- Arcos, J. (2010). *Repositorio UDLA*. Obtenido de Repositorio UDLA: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/2255/1/UDLA-EC-TIAM-2010-02.pdf>
- Barrera Díaz, C. E. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. Barcelona [etc.: Reverté.
- Becton, J., & Dickinson. (2003). *BD Rappaport Vassiliadis Broth*. 3.
- Belza, C. (8 de marzo de 2012). *Marco normativo ambiental*. Obtenido de Marco normativo ambiental: <https://sites.google.com/site/marconormativoambiental/ecuador>
- Bermeo, A., & Idrovo, E. (2014). *Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción*. Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20868/1/Tesis.pdf>
- Betancur, L. M. A., Mazo, K. I. M., & Suárez, A. J. (2005). *Fitorremediación: La alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos*. 5
- Bonilla. (2007). *MANEJO SEGURO DE RESIDUOS*. http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/didesi/resources/LocalContent/97/2/PRESENTACION_NORMATIVA_A_CUMPLIR_17Ago12.pdf
- Carcelén, R. (06 de agosto de 2015). *repositorio.uisek.edu.ec*. Obtenido de Repositorio UISEK: <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1468/1/TESIS%20DIGESTION%20ANAEROBIA%20DE%20LODOS%20DE%20UNA%20PPTAR%2006082015.pdf>
- Cárdenas, G., & Isabel, 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*. 128.

- Castañeda, A., & Oña, M. (2017). *PROPIEDADES CATALÍTICAS DE LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL*. 113.
- Cedeño, A. P. (2016). "BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PROCESADORA DE PESCADO APLICADOS AL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* var. INIAP-528) EN LA PROVINCIA DE MANABÍ". 91.
- Chiruchi, D. J. A. (1996). *Dirección Nacional de Medio Ambiente*. 174.
- Comisión Nacional del Agua. (2002). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Tratamiento y Disposición de Lodos*.
[https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015 b.Tratamiento%20y%20Disposici%C3%B3n%20de%20Lodos%2032..pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015%20b.Tratamiento%20y%20Disposici%C3%B3n%20de%20Lodos%2032..pdf)
- Cupe Flores, B. E., & Juscamaita Morales, J. G. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 17(1), 107.
<https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>
- Echeverría. (2014). *Salmonella* sp. Pertenece a la familia Enterobacteriaceae, su hábitat principal es el tracto intestinal del hombre y los animales. Los miembros de género se destacan por su gran capacidad de adaptación, lo que le permite a un amplio rango de hospedadores. Recuperado 1 de junio de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7304/1/UPS-QT06176.pdf>
- EMGIRS-EP. (2010). *emgirs 332 pdf*—*Buscar con Google*.
https://www.google.es/search?ei=YOsvX9n-EeKj_Qbl6bmACA&q=emgirs+332+pdf&oq=emgirs+332+pdf&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzIFCAAQzQl6BAgAEEc6BQghEKABOgcIIRAKEKABUN8OWJEVYNE XaABwAXgAgAHMAYgB4gWSAQUwLjMuMZgBAKABAaoBB2d3cy13aXrAAQ E&scient=psy-

- ab&ved=0ahUKEwjZrri2w9zqAhXiUd8KHch0DoAQ4dUDCAs&uact=5
- Esteller, M. (2002). *Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura. 2*, 103–113.
- ETSI Agrónomos. (2012). *5. FASES DEL COMPOSTAJE. | EL COMPOST*.
http://agrega.educacion.es/repositorio/08042014/8e/es_2013121413_9180800/5_fases_del_compostaje.html
- Fidalgo, Y. (2016). *Usos del compost. Tipos de compost Antes de su aplicación, es necesaria la diferencia entre Compost Joven y Compost Maduro: - PDF Free Download*. <https://docplayer.es/10490524-Usos-del-compost-tipos-de-compost-antes-de-su-aplicacion-es-necesaria-la-diferencia-entre-compost-joven-y-compost-maduro.html>
- García, M. A. (mayo de 2003). *Repositorio Instituto Politécnico Superior*. Obtenido de Repositorio Instituto Politécnico Superior: <https://tesis.ipn.mx.com>
- García, N. O. (2006). *Lodos residuales: Estabilización y manejo*. 10.
- Guadamud, & Barboto. (2019). *Análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Quitumbe*. INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO SUCRE.
- Gualoto, J. J. G. (2016). *PROPUESTA DE GESTIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA PARROQUIA RURAL DE NONO*. 100.
- López, A. (2018). *Evaluación de tecnologías en el trata de aguas y fangos en EDARs, para la reducción de microorganismos con riesgo sanitario y ambiental*. España: Universidad de Zaragoza.
- Macías, & Gualberto. (2013). *LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?* *Ingeniería Química*, 45.
- Macías, J. G. L. (2013). *LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?* *Ingeniería Química*, 45.

- Mena, J. G. L., & Cota, D. A. D. (2007). *CUANTIFICACIÓN DE SALMONELLA SPP. DURANTE EL PROCESO DE SECADO SOLAR DE LODOS GENERADOS EN PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS RESIDUALES*. 46.
- Mendoza, M. V., & Sanchez, J. A. V. (2012). *EVALUACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE CUATRO NIVELES DE LODOS ORDINARIOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST*. 157.
- Metcalf, & Eddy. (1995). (2) (PDF) *Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, 3ra Edición—METCALF & EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf | Germán Carlos—Academia.edu*.
https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales; tratamiento, vertido y reutilización* (3ª ed., Vol. 2). McGraw-Hill.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (4ta edición). United States: Mc Graw Hill.
- Ministerio del ambiente. (2017). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (12 de mayo de 2008). *SUIA*. Obtenido de http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/249439/AM+026++registro+generadores+desechos+peligrosos_gestión+y+transporte.pdf/b4c082ef-3816-46d5-83fd-8867aa297352
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (21 de diciembre de 2012). *SUIA*. Obtenido de *SUIA*:
<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/249439/AM+142+Listado+nacional+de+sustancias+peligrosas.pdf/ecd7b6e9-37f5-4d9a-a4bb-e53015fe7d9f>
- Miranda, Oliet, Pérez, Rubio, Madrid, Domínguez, & García. (2018). *Tratamiento de Aguas Ejercicios Resueltos y Prácticas de Laboratorio*.
- Molina, L. L. G., & Bermudez, A. M. M. (2016). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE UNA EMPRESA DE CAFÉ DEL*

- DEPARTAMENTO DE CALDAS. 166.
- Mora, M. J. S. (2013). *DETERMINACIÓN DE LA PREVALENCIA DE ENTEROBACTERIAS DEL GÉNERO Salmonella spp. EN HUEVOS FRESCOS DE GALLINA DE EMPRESAS AVÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. 59.
- Nch2880.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2020, de <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- Nom-004, & Nom-004-semarnat-2002. (15 de agosto de 2003). *NORMAS OFICIALES MEXICANAS*. Obtenido de UNINET: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwihrlOUvqzoAhVOc98KH5iDXkQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Flegismex.mty.itesm.mx%2Fnormas%2Fecol%2Fsemarnat004.pdf&usg=AOvVaw30FMrLhxcZoo361CV-Tlqb>
- Orellana. (2015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4344/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-128.pdf>
- Paucar, L. (2013). *UNIVERSIDAD DE CUENCA*. 93.
- Pedraza, M. L. V. (2013). *FACTIBILIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PTAR DEL MUNICIPIO DE CHINAVITA (BOYACÁ)*. 74.
- Perez Zuñiga, M. E. (abril de 2016). *Repositorio UPS*. Obtenido de <file:///C:/Users/UsEr20/Downloads/UPS-CT005868.pdf>
- Pilar, R., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO
- Pozo, H. (4 de mayo de 2015). *extwprlegs*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>
- PQA S.A. (2019a). *Manual de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Lodos*.

PQA S.A. (2019b). *Manual de Operación y Mantenimiento, Planta de Tratamiento de Agua Recirculada (PTAR)*.

Rojas, R., & Mendoza, L. (diciembre de 2012). *Producción + Limpia*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a06.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL. - LODOS Y BIOSOLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y UMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex50681.pdf>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasifica*.

<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>

Serpa, S. (2017). *Remoción de metales pesados Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria El Espinar-Puno, utilizando vermicomposteo*. 105.

Torres, P., Madera, C., & Silva, J. (2009). MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. *Revista EIA*, 18.

US EPA. (2000). EPA.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1008DQ3.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000024%5CP1008DQ3.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y1>

50g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=Zy
ActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPa
ge=x&ZyPURL

US EPA. (2006). *Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium*. 48.

US EPA, O. (2019, junio 14). *EPA Method 1682: Salmonella spp.* [Data and Tools]. US EPA. <https://www.epa.gov/esam/epa-method-1682-salmonella-spp>

Zúñiga, P. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb)*. 114.

ANEXOS

ANEXO: RESULTADOS DE ANÁLISIS CRETIB

ANEXO: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE *SALMONELLA* SP.