UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL GAD PELILEO

AUTOR(ES):

Albertina Maribel Chicaiza Tubón

DOCENTE - TUTOR:

Msc. María Augusta Guadalupe Alcoser

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Se ajusta al criterio
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Se ajusta al criterio
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Se ajusta al criterio
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Se ajusta al criterio
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	Expone criterios que podrían considerarse en resultados

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	20/25	Los resultados cumplen con un solo objetivo de los tres plantaedos
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	7/10	Se aborda únicamente el objetivo: aditivo para mezclas de concreto.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Se ajusta al criterio
VALORACIÓN TOTAL	90/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	90

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ANA LUCIA CHAFLA

Dra. Ana Lucia Chafla
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 23 días del mes de febrero de 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)
TRABAJO 143

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Si cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Si cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Si cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Si cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	No se hacen referencia a Tabla 6 en texto, y tabla 7 debe estar después de mencionar el contenido

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Si cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Si cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Si cumple
VALORACIÓN TOTAL	98	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	98

Atentamente,

ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR

Firmado digitalmente por ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR
Fecha: 2022.02.25 08:29:49 -05'00'

MSc. Angélica María Tasambay Salazar
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los …25… días del mes de fabrero…… de 2022….

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 04 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Albertina Maribel Chicaiza Tubón, con C.I. 1850442128, con el Tema: "**Evaluación de alternativas de valorización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del Gad Pelileo**", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, María Augusta Guadalupe Alcoser, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6%, Informe generado con fecha 04 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARIA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER

Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser M.Sc

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ALBERTINA MARIBEL CHICAIZA TUBÓN.doc (D127092924)
Submitted	2022-02-04T21:44:00.0000000
Submitted by	María Augusta Guadalupe Alcoser
Submitter email	ma.guadalupea@uea.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	ma.guadalupea.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / ARTÍCULO CIENTÍFICO FINAL - REYES & VEGA.docx** Document ARTÍCULO CIENTÍFICO FINAL - REYES & VEGA.docx (D126998350) Submitted by: ppenafiel@uea.edu.ec Receiver: ppenafiel.uea@analysis.urkund.com	2
W	URL: http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3987/1/T-ULVR-3340.pdf Fetched: 2021-08-07T18:10:23.8800000	2
SA	**PROYECTO DE INVESTIGACION FINAL- RAZO MAYA (1).....docx** Document PROYECTO DE INVESTIGACION FINAL- RAZO MAYA (1).....docx (D80984711)	5
SA	**VIII_CI-SECTEI2021_paper_10.pdf** Document VIII_CI-SECTEI2021_paper_10.pdf (D108297576)	2
W	URL: https://www.revistadyna.com/busqueda/valorizacion-de-lodos-procedentes-de-plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-una-apuesta-por-economia Fetched: 2022-02-04T21:44:37.0800000	1
W	URL: https://www.academia.edu/5910496/A_VISION_FOR_FUTURE_SLUDGE_MANAGEMENT_IN_ALEXANDRIAMancipe Fetched: 2022-02-04T21:44:00.0000000	1
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Trabajo de integración curricular Sánchez & Cuji.docx** Document Trabajo de integración curricular Sánchez & Cuji.docx (D126998497) Submitted by: ppenafiel@uea.edu.ec Receiver: ppenafiel.uea@analysis.urkund.com	1
SA	**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA-COYLA CCARI, RENE.pdf** Document UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA-COYLA CCARI, RENE.pdf (D93532043)	1
SA	**10_Antonella y Pier.docx** Document 10_Antonella y Pier.docx (D119940579)	1

Evaluación de alternativas de valorización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del Gad Pelileo

Albertina Maribel Chicaiza Tubon[1]
Amb2016041@uea.edu.ec
María Augusta Guadalupe Alcoser[2], M. Sc
ma.guadalupea@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

Esta investigación se enfoca en aprovechar los lodos de depuradora como una alternativa para la elaboración de concretos amigables con el medio ambiente. Mediante el estudio bibliográfico de los lodos residuales se determinaron las características microbiológicas y fisicoquímicas en donde se encontraron patógenos como coliformes fecales, salmonella y gran cantidad de óxidos. En base a los datos se plantearon tres alternativas: empleo de lodos residuales para generar energía mediante un proceso de gasificación, estabilización de lodos mediante el compostaje con hileras y aditivo para mezclas de concreto. Se estableció que la utilización de los lodos como aditivo para mezclas de concreto es la opción más viable y óptima considerando que no requiere una alta inversión y que además el cemento es un elemento con una demanda creciente, que permite colaborar con el gobierno autónomo descentralizado y la comunidad del cantón San Pedro de Pelileo proporcionando un valor agregado a los lodos residuales.

Palabras Clave: Lodos residuales, patógenos, aditivo, concreto.

Abstract

This research focuses on taking advantage of the sewage sludge as an alternative for the elaboration of environmentally friendly concrete. Through a bibliographic study of the sewage sludge, the microbiological and physicochemical characteristics were determined, where pathogens such as fecal coliforms, salmonella and a large amount of oxides were found. Based on the data obtained, three alternatives were proposed: use of sewage sludge to generate energy through a gasification process, stabilization of sludge through windrow composting and an additive for concrete mixes. It was established that the use of sludge as an additive for concrete mixes is the most viable and optimal option considering that it does not require a high investment and that cement is an element with a growing demand, thus contributing to the decentralized autonomous government and the community in general of the San Pedro de Pelileo canton by giving an added value to the sludge.

***Keywords**:* sewage sludge, pathogens, additive, concrete.

1. INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales es capaz de asimilar grandes cantidades de contaminantes origen textil, doméstico, industrial, agrícola, servicio público; sin ser afectados gracias a los factores de disolución y mantenimiento que posee la planta de tratamiento, sin embargo, cada día existe una influencia mayor por el crecimiento de estas actividades que producen un alto nivel de contaminación produciendo aguas residuales (Rodríguez, 2019).

Dentro del proceso de purificación de la planta de tratamiento de aguas ya sea doméstica o residual se generan residuos sólidos, líquidos o lodos, esto depende de las etapas de depuración que tenga la planta, los lodos se caracterizan por su composición de materia orgánica no descompuesta, microorganismos patógenos de origen fecal, metales pesados, sales removidas, bacterias, entre otros (Zhou, Gu, Yuan, Gong, & Wu, 2020).

Por su parte Ríos (2021), en su estudio "Uso de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas como aditivo para concreto", menciona que la planta de tratamiento de aguas residuales está ubicada en el cantón San Pedro de Pelileo, la cual se dedica a tratar las aguas residuales a través de un biorreactor. En su proceso de tratamiento de aguas servidas genera alrededor de 0,72 toneladas de lodos residuales por día. Tomando en cuenta que el agua es un recurso esencial para la vida y a medida que pasa el tiempo la población se incrementa y sus necesidades también, esto genera problemas a este recurso vital, es muy importante conservar los recursos naturales y por esta razón se busca tratamientos que ayuden a cuidarlos y preservarlos.

Con el paso de los años se observa un incremento de varios estudios, todos con la intención de innovar, de crear nuevas tecnologías para los tratamientos de aguas residuales, sin embargo, el tema de los lodos no ha sido relevante. La gestión de los lodos es de gran importancia, en los países europeos el objetivo es promover la estabilización de residuos, así como también el reciclaje seguro, normativas, organizaciones y estrategias para su desarrollo, estos métodos bien aplicados pueden contribuir en la recuperación de materia prima a través de materia no completamente peligrosa (Delgado & Riofrío, 2019).

Efectivamente Delgado & Riofrío (2019), en su propuesta "Tratamiento para los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales Terere de la ciudad del Tena mediante la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los mismos", menciona que en los países europeos para el empleo de este subproducto se debe contar con un control de calidad y aprovechamiento, la resolución final es para la agricultura, generación de energía térmica, relleno sanitario y elaboración de compost. En cuanto a Ecuador solo el 8% de las aguas negras poseen un tratamiento, siendo Cuenca la ciudad que cuenta con un 95% de tratamiento en las aguas servidas gracias a la planta de tratamiento de aguas residuales de

Ucubamba, que adicionalmente posee una planta de tratamiento de los lodos residuales la cual tiene un proceso de extracción, conducción, espesamiento, deshidratación, y almacenamiento.

El cantón Pelileo cuenta con cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en lugares estratégicos para el bienestar ciudadano, las cuales depuran el agua proveniente de todo el cantón, minimizando un porcentaje de la contaminación del río Patate que es en donde desembocan estas aguas, sin embargo, una de las plantas de tratamiento situada en el barrio Pelileo Grande no cumple con los parámetros establecidos dentro del Anexo 1, de la reforma del Libro VI del TULSMA, que trata sobre los límites máximos permisibles para descargas de agua (Vargas & Montero, 2006).

Tradicionalmente los lodos residuales se descargan de manera directa a un entorno más cercano y no tratado generando impacto ambiental, la competitividad actual obliga al sector industrial no solo a optimizar sus procesos, sino, también, a aprovechar al máximo los recursos y generar un valor agregado a la mayoría de los residuos de las actividades dentro de la empresa y que, en lugar de convertirse en un problema en la actualidad, genere otra fuente de ingreso y se incremente el valor agregado a dichas actividades industriales, por esta razón es necesario plantear alternativas de valorización para los lodos que permitan su aprovechamiento mediante caracterización fisicoquímica en beneficio de la ciudadanía en general y que sea amigable con el medio ambiente (Vargas y Montero, 2006). La reutilización del lodo como aditivo para mezclas de concreto constituye una serie interesante de investigación que si se lleva a cabo brindará una gran solución para la reducción de la contaminación ambiental.

El objetivo general del trabajo de investigación es analizar las posibles alternativas de valorización para los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Pelileo analizando los parámetros de cantidad y composición de tal forma que se establezca la utilización más apropiada entre las tres alternativas consideradas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

El presente estudio pertenece a la línea de investigación Gestión y Conservación Ambiental propuesta por (Universidad Estatal Amazónica, 2016) y dentro de ella la sublínea de remediación de áreas contaminadas, monitoreo, evaluación y control de fuentes de contaminación. Mediante el análisis bibliográfico de artículos, informes, páginas webs y otros documentos escritos relacionados al aprovechamiento de lodos residuales (Torres, 2020). Esta investigación está enfocada en el desarrollo de alternativas de remediación ambiental, a través de tratamientos factibles generados a los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de agua que permita brindar un óptimo aprovechamiento de los mismos (Delgado y Riofrio, 2019).

2.1 No experimental

Esta investigación permitirá analizar las características y complicaciones que presentan los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón San Pedro de Pelileo, del cual a simple vista es conveniente llevar a cabo un análisis fisicoquímico del cauce proveniente, información que reposa en los archivos del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pelileo (Pálate & Romero, 2020)

2.2 Descriptiva

El propósito de este estudio es dar a conocer las particularidades que presentan los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento del cantón San Pedro de Pelileo. En cuanto a si su utilización puede ser beneficiosa para la comunidad y el medio ambiente, de manera que se elimine la carga contaminante abriendo puertas a futuras investigaciones y mejoras a los nutrientes del suelo (Pálate & Romero, 2020).

2.3 Aditivo para mezclas de concreto compuesto por los lodos residuales.

Esta alternativa trata sobre la gestión de lodos residuales ya no como fertilizante o generador de energía amigable con el medio ambiente, en este caso la base que se utiliza para este proceso es la ceniza resultante de la incineración de lodos, según (Cieslik, Namiesnik, & Konieczka, 2015) existe la posibilidad de elaborar ladrillos seguros y de larga duración aprovechando la mezcla de roca granito triturada y lodos residuales triturados y posteriormente adicionar grava, dando una apariencia cristalina al producto final luego de ser cocida.

Según (Cieslik, Namiesnik, & Konieczka, 2015) menciona que: en la actualidad existen otros medios para gestionar los lodos residuales y no solo utilizarlos como relleno sanitario, compost o fertilizantes sino llevarlos a otro nivel de aprovechamiento. En este caso se optó por elaborar un aditivo para concreto de larga duración a base de los lodos residuales que no son muy valorados actualmente procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pelileo, para lo cual se desintegrarán los lodos residuales y posteriormente se implementará cemento para obtener el producto final (Cieslik, Namiesnik, & Konieczka, 2015).

2.4 Examinar los parámetros sobre la cantidad y composición de los lodos residuales originados en la PTAR del cantón Pelileo.

En los análisis de laboratorio que reposan en las oficinas de gestión ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pelileo se incluyen los periodos de monitoreo y análisis fisicoquímicos de los lodos, parámetros como pH, reacción con ácido, agua, álcali, explosividad, metales pesados, inflamabilidad, parásitos y patógenos de los lodos presentes en la laguna de oxidación podrán ser agrupados para su posterior

tabulación e interpretación. Se compilarán los valores de los registros de cantidades de lodos que se generan y los tratamientos/ disposición que se realizan en la instalación. Posteriormente se realizará un análisis del comportamiento de los parámetros obtenidos de la planta, con la finalidad de examinar su cumplimento con normativas internacionales y analizar la viabilidad de establecer alternativas para el uso de lodos residuales en las actividades propuestas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Pelile, 2020).

Tabla 1. Composición Química del Lodo Residual del cantón San Pedro de Pelileo

Parámetro analizado	Valor reportado en base seca
Grasas y aceites	1,2
Aluminio	11,12
Arsénico total	0,06
Bario	<0,5
Boro total	<0,25
Cadmio	<0,004
Cianuro total	<0,01
Zinc	<0,25
Cobalto	<0,1
Sulfatos	<10,20
Sulfuros	+9
Hierro	0,56
Níquel	<0,05
Estaño	<0,5

Fuente: Adaptado de (GADMP, 2020)

En la tabla 1 se visualizan los elementos que conforman los lodos residuales, considerando la importancia de determinar la existencia de alguna viabilidad en la composición de los mismos, los elementos más importantes son el aluminio y los sulfatos ya que estos productos químicos se incorporan a las mezclas de concreto y su presencia en los lodos es favorable.

2.4.1 Cantidad y caracterización de los lodos residuales producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los principales componentes de las aguas residuales dentro de la planta de tratamiento son residuos sólidos como plástico, papel, así como también arenas, espumas y lodos, el lodo resultante depende de las características, tratamiento y edad presentes en el agua

residual. Este residuo es rico en energía y materia orgánica, pero al no tener un tratamiento adecuado pasa a ser un problema por la presencia de elevadas cantidades de metales pesados, parásitos y patógenos, entre otros (Pérez, 2016).

Las composiciones químicas típicas de los lodos residuales producidos en una planta de tratamiento son muy diferentes a los componentes que se muestra en la tabla 1 originarios del cantón San Pedro de Pelileo para su mejor comprensión estos datos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Composición fisicoquímica típica de los lodos residuales.

Concepto	Unidades	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
Concentración de sólidos	%	5-9	2-5	0,8-1,2
Sólidos volátiles	% de ST	60-80	30-60	59-88
Proteína	% de ST	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno	% de ST	1,5-4	1,6-3	2,4-5
Fósforo	% de ST	0,8-2,8	1,5-4	2,8-11
Oxido de potasio	% de ST	0-1	0-3	0,5-0,7
Celulosa	% de ST	8-15	8-15	-
Hierro	% de ST	2-4	3-8	-
Oxido de silicio	% de ST	15-20	10-20	-
pH	u.pH	5-8	6.5-7.5	6,5-8
Alcalinidad	mg $CaCO_3$/L	500-1500	2500-3500	580-1100
Ácidos orgánicos	mg Hac/L	200-2000	100-600	1100-1700
Contenido energético	KJ ST/kg	23000-29000	9000-14000	19000-23000

Fuente: Adaptado de (Pérez, 2016)

2.4.2 Contenido de sulfatos y aluminio

Según Vargas & Montero (2006), en su investigación sobre "Uso del lodo residual de la empresa Extralum S.A como material alternativo en la fabricación de cementos especiales", menciona la necesidad de realizar muestras en base seca con ayuda de un equipo de plasma para así determinar correctamente el contenido de aluminio en la muestra de lodos residuales, la finalidad de este estudio es definir si no existen variaciones en su

composición según los días en donde se genera mayor acumulación de agua residual, en este caso no varía por lo que se opta por dar uso a los lodos. Para el estudio de contenido de sulfatos, Vargas & Montero (2006), en su investigación sobre "Uso del lodo residual de la empresa Extralum S.A como material alternativo en la fabricación de cementos especiales",menciona que se debe tomar una muestra y disolverla en ácido clorhídrico filtrando los residuos determinando así si existe o no variación de sulfatos entre semana, en este caso no se evidencia variación, el estudio de variabilidad de compuesto es importante porque de ella depende la composición del aditivo de cemento.

En la tabla 3, se observa que en el tiempo de análisis existe variación en la estructura del contenido de aluminio, existe más factibilidad en los resultados de las muestras de los fines de semana.

Tabla 3. Contenido de aluminio

Muestras de lunes a viernes Grupo 1			**Muestras de fines de semana Grupo 2**		
Muestra	% m/m Al (En base seca)	Desviación estándar	Muestra	% m/m Al (En base seca)	Desviación estándar
A1	25	0,04	B1	22	0,14
A2	23	0,17	B2	25	0,03
A3	24	0,20	B3	27	0,21

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006)

Dónde:
Al: Aluminio

En la tabla 4, se observa la variación existente en el contenido de sulfato, las cantidades de muestra de sulfato son mayores en los fines de semana.

Tabla 4. Contenido de sulfatos

Muestras de lunes a viernes grupo 1			**Muestras de fines de semana Grupo 2**		
Muestra	% m/m SO_4^{2-} (En base seca)	Desviación estándar	Muestra	% m/m SO_4^{2-} (En base seca)	Desviación estándar

A1	2,4	0,02	B1	5,5	0,01
A2	2,2	0,01	B2	3,6	0,01
A3	2,8	0,01	B3	7,6	0,012

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006)

Dónde:

SO_4^{2-}: Sulfato

2.4.3 Humedad

Mediante el estudio bibliográfico se determinó que el % masa/masa dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con el siguiente proceso: se calcula la masa de la muestra y se colocó en estufa a 110 °C, hasta lograr un peso constante (Vargas & Montero, 2006).

En la tabla 5, se observa que el lodo residual presenta un alto porcentaje de agua, que de acuerdo a la desviación estándar hay que cubrir los resultados, por lo que se determinó que la humedad del lodo cambia dentro de la desviación estándar en la muestra de los fines de semana.

Tabla 5. Contenido de humedad del lodo residual

Contenido de humedad %m/m ±	Desviación estándar
Muestra entre semana	Muestra fin de semana
(77±1) %	(82±4)%

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006)

Según Vargas & Montero (2006), en su investigación sobre "Uso del lodo residual de la empresa Extralum S.A como material alternativo en la fabricación de cementos especiales", menciona que la humedad de los lodos se estableció por la eficiencia del filtro prensa del sistema de tratamiento de agua, mismo que se satura los fines de semana, posteriormente se secan los lodos por 24 horas, tiempo suficiente para eliminar la humedad del lodo.

2.4.4 Tamaño de la muestra

Los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento lodos residuales son molidos y tamizados con una malla respectivamente, este proceso se llevó a cabo con la finalidad de obtener una partícula de lodo semejante al cemento y de esta forma tener resultados óptimos al reaccionar el lodo con el cemento (Vargas & Montero, 2006).

Tabla 6. Proceso de tamaño de la muestra previo su implementación al cemento

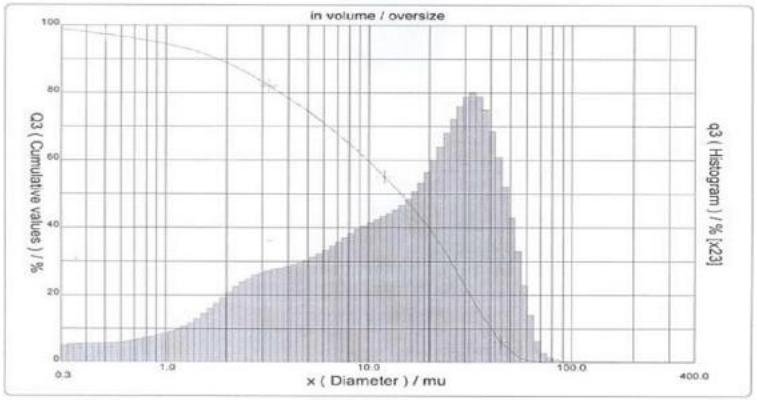
N.º	Proceso
1	Recolección del lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales
2	Secado del lodo por 24 horas
3	Molienda del lodo seco a través de un molino
4	Tamizado del lodo por medio de una malla

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006)

En la figura 1 se establece el tamaño general de una muestra de cemento para diferentes usos en este caso es el tamaño a utilizar como aditivo para concreto con un tamaño de 1,5 µm y 90 µm.

Dónde:
µm: Micrómetros

Figura 1. Tamaño general de la partícula de cemento

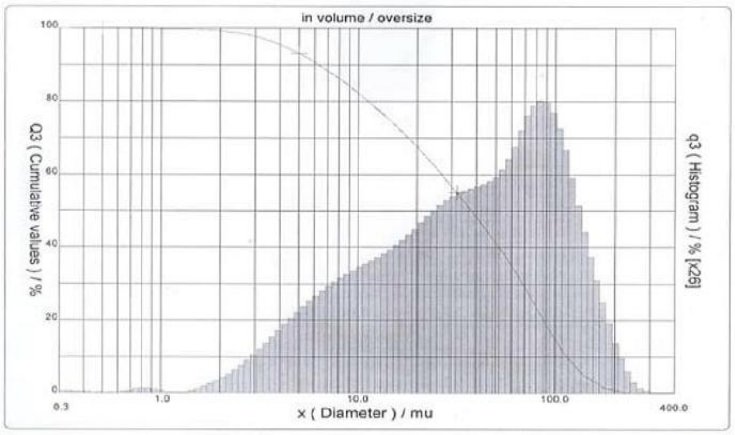


Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006)

En la figura 2 se identifica el tamaño general de una muestra de lodo como aditivo para concreto con un tamaño de 1,5 µm y 90 µm.

Dónde:
µm: Micrómetros

Figura 2. Tamaño general de la partícula de lodo



Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006)

2.5 Determinar las alternativas de valorización para los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales

Se realizó una revisión de las principales tecnologías de tratamiento de lodos. Los criterios para la selección serán: adaptación a condiciones climatológicas de la región, mercado para los productos, acceso a tecnologías o equipamiento, viabilidad según volumen o capacidad de la instalación. Se establece una comparación cualitativa de los beneficios reconocidos y limitaciones de cada tecnología de gestión, tratamiento y/o disposición de lodos. Las tecnologías que superen estos criterios serán evaluadas en los indicadores ambientales, económicos y sociales mediante un análisis multicriterio sobre los parámetros de cantidad y composición de tal forma que se establezca la utilización más apropiada entre las tres alternativas consideradas (Pérez, 2016).

Tabla 7. Límites máximos permisibles para contaminantes patógenos en los lodos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g base seca	Salmonella spp NMP/g	Huevos de helminto base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: Adaptado de (Delgado & Riofrio, 2019)

Dónde:

NMP: Número más probable

La tabla 7 muestra los parámetros establecidos por normativas internacionales sobre estándares de aplicación de lodos en suelos (biosólidos), estos están basados principalmente en la Normativa mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002: Norma oficial mexicana, protección ambiental. - lodos y biosólidos. -especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final y también los límites establecidos en la normativa colombiana - Decreto N° 1287, 10 de Julio del 2014, debido a la ausencia de normativa específica a nivel nacional (Delgado & Riofrío, 2019).

A continuación, se muestran más alternativas de valorización de lodos residuales, que requieren más inversión, además, los compuestos de los lodos no son aptos para los mismos, por estas razones se optó por la alternativa de valorización de lodos más viable.

2.5.1 Estabilización de lodos mediante el compostaje con hileras.

Para el compostaje en hileras se requiere que los lodos de aguas residuales municipales se encuentren secos. Este método ha ganado atención como medio de estabilización de lodos para la reutilización agrícola. Experiencias en Alejandría y Egipto descritas en la revisión de (Abdel, Mahmoud, & Van, 2020), mencionan que el proceso puede desarrollarse normalmente, pero en el caso de generación por olores y preocupaciones higiénicas sobre la contaminación del agua subterránea el proceso puede mejorarse con la aplicación de compost maduro mezclado con lodo fresco deshidratado y transportado desde la planta de tratamiento de aguas residuales en una proporción de 1,5: 1 en filas largas y paralelas (es decir, 250 m de longitud cada una) utilizando palas mecánicas para mezclar el compost maduro para que actúe como agente de carga para mejorar el proceso de compostaje. La duración del proceso de compostaje varía de 4 semanas (en temporada de verano) a 2 meses (en temporada de invierno).

2.5.2 Empleo de lodos residuales para generar energía mediante un proceso de gasificación fluidizada amigable con el medio ambiente.

Según (Cano, Gallegos, Velásquez, & Ruiz, 2017) en su estudio “Energía para el aprovechamiento sostenible de biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales”, menciona que la gasificación es la conversión termoquímica de sustratos carbonosos (biosólidos) en gas combustible limpio mediante el uso de vapor y aire / oxígeno como agentes gratificantes para esta alternativa es necesario implementar una estructura de gasificación de biosólidos dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, misma que cuenta con diferentes procesos, pero para ejecutar estas actividades se necesita de ingresos económicos, apoyo por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pelileo para su construcción, denominada no factible por falta

de espacio y conocimiento, queda como una alternativa propuesta pero no ejecutada.

2.6 Seleccionar las tecnologías de valorización de lodos más apropiada o sostenible entre las alternativas consideradas.

En base a la información obtenida de la revisión bibliográfica, se evaluarán los criterios ambientales, económicos y sociales, para identificar cuál de las nuevas alternativas para los lodos residuales es más viable. En el caso de los criterios ambientales incluirán las contribuciones de cada esquema de gestión/tratamiento al aire, suelo, agua, y los potenciales impactos ambientales ponderados para cada una de ellas. Se considerará la información sobre los componentes de los lodos y la cantidad total de desechos eliminados por el proceso actual de tratamiento; mientras que para identificar cuanto representan las emisiones ambientales de todas las entradas y salidas asociadas con los procesos de eliminación de los lodos se consultarán las mediciones y registros que mantienen instalaciones de tratamiento específica o se obtendrán de fuentes de datos especializadas, reportes, y estudios previos de la literatura (Mancipe & Triviño, 2018).

Mientras los factores cuantitativos económicos analizan el desempeño financiero de cada tecnología o esquema de gestión/tratamiento establecido. Se estimarán las entradas y salidas de materiales y energía durante los distintos procesos, y se evaluará el beneficio económico de cada tecnología calculando los costos y beneficios asociados (Tian et al., 2017). Los indicadores de costos de inversión, gastos operativos y beneficios se obtendrán de valores referenciales de la literatura, donde el costo de inversión incluirá el costo de construcción inicial, mientras que los costos operativos incluirán materias primas, productos químicos y consumo de energía (Argudo, Moreno, & Díaz, 2017).

En cuanto al criterio de evaluación social se considerará las directrices del Programa de las Naciones Unidad para el Medio Ambiente (PNUMA) sobre tecnologías de tratamiento de desechos (Benoit et al., 2010).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de pH en la muestra de lodo residual.

En la tabla 8 se observa el resultado de la cantidad de pH presente en el lodo residual, donde se puede verificar si los lodos residuales cumplen o no con los valores establecidos en la normativa, en este caso si cumple.

Tabla 8. Resultados de la cantidad de pH en los lodos

Parámetro	Resultado	Valores de la	Cumplimiento

		normativa	
pH	0.001	2,0 – 12,5	Cumple

Fuente: Adaptado de (GADMP, 2020)

La tabla 9 está acorde a (Vargas & Montero, 2006) donde menciona que se debe realizar pruebas en diferentes mezclas de lodo y cemento para verificar si varían las características iniciales, además se observa que al incorporar el lodo al cemento muestra cambios drásticos en los tiempos de preparación, en cambio en la mezclas 2 y 3 actúa de manera acelerada reduciendo el producto al inicio y final del proceso, en la mezcla 4 se incrementa significativamente, estos resultados son importantes ya que la velocidad del proceso afecta a la resistencia que tendrá el cemento.

Tabla 9. Tiempos de endurecimiento para los diferentes tipos de mezclas

Tipo de mezcla	Endurecimiento inicial en minutos	Endurecimiento final en minutos
100% cemento	194	295
25% lodo 75% cemento	10	30
50% lodo 50% cemento	25	58
75% lodo 25 % cemento	392	552

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006).

Pasado 7 días desde su elaboración se observa que la resistencia disminuye con la adición del lodo residual pero que, si la adición es 50% cemento y 50% de lodo muestra mayor resistencia, la resistencia varía según la cantidad de lodo y cemento.

En la tabla 10 se establece la resistencia que tienen las diferentes mezclas, el comportamiento es semejante de 7 a 28 días.

Tabla10. Resistencia de diferentes proporciones de lodo a flujo constante

Mezcla	% Agua	Resistencia	
		Mpa	Kg/cm^3
Mezcla 1	56	17	176,8
Mezcla 2	93	0,7	8

Mezcla 3	110	2,8	29
Mezcla 4	122,5	0,8	9,5

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006).

Dónde:
Mpa: mega pascal
Kg/cm^3: kilogramo sobre centímetro cubico

Este resultado detalla que no existe un incremento significativo en la resistencia conforme pasa el tiempo y podemos decir en estos 7 días se desarrolla la capacidad máxima de resistencia del material.

En la siguiente reacción el aluminio de calcio reacciona rápidamente con el agua llenando los espacios entre la partícula de cemento, solidificando de la manera más rápida la mezcla de cemento, de la misma manera no permite la hidratación del silicato el cual es el responsable del desarrollo del cemento y genera la siguiente reacción química:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3\ CaSO_4 + 32H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\ CaSO_4 \cdot 32H_2O$$ **Reacción 1**

Esta reacción provoca la formación de cristales de estringita, éstos se caracterizan por ser muy finos y por ende no es posible generar espacios entre las partículas de cemento y también evita que se forme una estructura sólida. Normalmente el cemento se solidifica en un periodo de 1 a 3 horas, en el caso de mezclas de lodo residual y cemento presentan un mayor tiempo de endurecimiento, conforme se incrementa el lodo en la mezcla la cantidad de agua aumenta lo cual produce una mayor percepción de aire e incremento de porosidad, estos factores reducen la resistencia de la mezcla.

Según (Vargas & Montero, 2006) en su investigación sobre "Uso del lodo residual de la empresa Extralum S.A como material alternativo en la fabricación de cementos especiales", expone que las mezclas de lodo y cemento sin arena absorben mayor cantidad de agua que una mezcla preparada con arena, el resultado es un material más poroso, los cementos modificados presentan menores conductividades.

Tabla 11. Conductividades térmicas del cemento general y modificado

Material	Densidad (g/cm3)	Conductividad (k)j/sm °C
100% cemento	1,15	41
50% lodo fino y 50% cemento	2	25,8
50% lodo grueso y 50% cemento	1,25	22,8

Asbesto	1,30	26

Fuente: Adaptado de (Vargas & Montero, 2006).

Dónde:

(k)j/sm °C: Constante de conductividad térmica

g/cm3: Gramos sobre centímetro cubico

La presencia de espacios de aire se forma por la porosidad en el material, que actúa como cámaras aislantes, éstas se encargan de reducir la masa y capacidad de transferencia de calor. El cemento modificado con lodos residuales presenta conductividad térmica parecida al asbesto por lo cual podemos decir que este material es apto para el desarrollo de aislantes con fines de construcción.

En el presente estudio se plantearon tres alternativas, mediante revisión bibliográfica de las características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos de depuradora se evidenció la presencia de agentes patógenos, aluminio, sulfatos, entre otros, no aptos para llevar a cabo el compostaje por hileras, este proceso genera preocupación por la contaminación de malos olores, además requiere que los lodos de aguas residuales municipales se encuentren secos y sin presencia de humedad, por lo cual no es factible.

Otra de las alternativas es generar energía mediante gasificación, para ejecutar esta actividad se necesitan ingresos económicos y la implementación de un proceso de gasificación de biosólidos dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, por estas razones no es viable.

3 CONCLUSIONES

Este trabajo aborda la investigación y recopilación de información alcanzada de textos físicos y digitales en donde se determinó el método más óptimo para la reutilización de los lodos residuales en presencia de aluminio y sulfatos, elementos aptos para elaboración de aditivos de concreto, conforme se incrementa las proporciones de lodo en las mezclas existe un incremento notorio de uso de agua, se debe trabajar con flujo constante, esta conducta afecta de manera negativa la resistencia del lodo, es decir que al momento de incorporar el lodo al cemento ésta modifica las características generales del cemento, provocando el rápido endurecimiento y reduciendo la resistencia del material por lo que lo más recomendable es utilizar el lodo residual al 50% en mezclas de concreto, no debe superar esta cantidad ya que su resistencia se reduce.

La baja resistencia que se presenta en las diferentes mezclas es un indicador significativo de que este material no es factible para su uso con fines estructurales, podemos decir que las estructuras elaboradas con cemento modificado son más ligeras a diferencia del cemento normal, debido a los datos obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los lodos, los cuales no sobrepasan los limites permisibles, se concluye que el uso de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento del cantón San Pedro de Pelileo como aditivo para mezclas de concreto, no presenta daños en el medio ambiente o salud humana.

Se descartan las dos alternativas planteadas: empleo de lodos residuales para generar energía mediante un proceso de gasificación y estabilización de lodos mediante el compostaje con hileras por la presencia de elementos químicos no favorables en los lodos residuales, patógenos y exceso de humedad, información que se determino mediante el estudio bibliográfico de las características microbiológicas y fisicoquímicas de los lodos de depuradora, adicionalmente estas actividades necesitan implementación de infraestructura y requiere de inversión económica, por esta razón se utilizaron los lodos como aditivo para mezclas de concreto como la alternativa más óptima.

REFERENCIA

I. BIBLIOGRAFÍA

Abdel Wahaab, R., Mahmoud, M., & Van Lier, J. (2020). Hacia el logro de una gestion sostenible de lodos de aguas residuales municipales en Egipto: el estado actual y las perspectivas futuras. *Revisiones de energia renovable y sostenible*, *127*, 109880. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120301738?via%3Dihub

Argudo García, J. J., Moreno, V. M., & Leyva Díaz, J. C. (2017). Valorización de lodos procedentes de plantas de tratamiento de agua potable. Una apuesta por la economía circular y sostenibilidad. *Ingeniería y tecnología del medio ambiente*, 6.

Benoit, C., Norris, G., Valdivia, S., Ciroth, A., Moberg, A., Bos, U., . . . Beck, T. (2010). The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time! *Societal life cycle assessment*, 156-163. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-009-0147-8

Cano Londoño , N., Gallegos Suarez , D., Velasquez , H., & Ruiz, G. (2017). Analisis de energia para el aprovechamiento sostenible de biosolidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista de produccion mas limpia, 141*, 182-193. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.033

Cieslik, B. M., Namiesnik, J., & Konieczka, P. (2015). Revision de la gestion de lodos de depuradora: normas, reglamentos y metodos analiticos. *Journal of cleaner Production*, 1-15. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614012116?via%3Dihub

Delgado, K., & Riofrío, H. (2019). *Propuesta de tratamiento para los lodos generados en la PTAR Terere de la ciudad del Tena mediante la caracterizacion fisico-quimica y microbiologica de los mismos.* Puyo.

GADMP. (´2014). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial.* Pelileo.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Pelile. (2020). *Analisis fisico-quimico y Microbiologico.* Pelileo.

Hady Helaly, H. A., & Abdel Aziz, S. M. (2010). Una vision para la gestion futura de lodos en Alejandria. *Conferencia internacional en Proceedings of the 1st international conference and exhibition on sustainable water and sanitation.*, 17. Obtenido de https://www.academia.edu/5910496/A_VISION_FOR_FUTURE_SLUDGE_MANAGEMENT_IN_ALEXANDRIA

Mancipe Arias, L. M., & Triviño Restrepo, M. (2018). Valoracion de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extraccion de lipidos en la obtencion del biodiesel. *Revista Lon*, 9.

Montaguano , M. (2019). *Valorizacion del uso de lodos de lavadoras de jeans para el compostaje de la empresa Emmait-ep del canton Pelileo.* Riobamba.

Pálate, C., & Romero, A. (2020). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa láctea "la esencia" ubicada en el cantón Píllaro, provincia de Tungurahua.* Ambato.

Pérez, M. E. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquimicos para la disminucion de metalkes pesados.* Cuenca.

Ríos Joaquin, C. (2021). *Uso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales como aditivo para concreto.* Peru.

Rodríguez Fernández, M. C. (2019). *Evaluacion del uso de lodos de una planta de tratamiento de agua residual de la industria de autolavado como sustituto parcial en la elaboracion del cemento.* Bogota.

Satti, P. S. (2009). *Metodo de analisis de lodos: Tratamiento, disposicion y uso* . Argentina.

Tian, X., Wu, Y., Hou, P., Sai, L., Qu, S., Xu, M., & Zuo, T. (2017). Impacto ambiental y evaluacion de la produccion secundaria de plomo. *Revista de produccion mas limpia*, 142-148. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.171

Universidad Estatal Amazonica . (2016). *Plan de investigacion 2012-2016.* Puyo.

Vargas, M., & Montero, M. (2006). Estudio del uso del lodo residual de la empresa Extralum S.A como material alternativo en la fabricacion de cementos especiales. *Tecnologia en Marcha*, *19-3*, 10. Obtenido de file:///E:/Downloads/Dialnet-EstudioDelUsoDelLodoResidualDeLaEmpresaExtralumSAC-4835816.pdf

Velasco Taipe, G. (2017). *Evaluacion de eficeincia en la remocon de materia organica en una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Manta.* Manta.

Zhou, G., Gu, Y., Yuan, H., Gong, Y., & Wu, Y. (2020). Seleccion de tecnologias

sostenibles para la eliminacion de lodos de aguas residuales municipales utilizando un metodo de toma de decisiones de criterios multiples: un estudio de caso de China. *Recursos, conservacion y reciclaje, 161*, 104881. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104881

ANEXOS

Marco conceptual

Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Las plantas de tratamiento conocidas también como plantas depuradoras son instalaciones construidas en una ciudad o bien entre industrias, en las cuales se llevan a cabo un conjunto de actividades de origen biológico, fisicoquímico o combinadas, también de tipo aerobio y anaerobio. En las PTAR se recolectan aguas residuales que son trasladadas a un centro en el cual reciben el tratamiento más adecuado para posteriormente descargar al cauce, sin alterar el medio ambiente, pero tampoco generar enfermedades que afecten la salud humana (Delgado & Riofrio, 2019).

Lodos residuales.

Los lodos residuales son el resultado de los procesos biológicos que transforman la biomasa, en el flotan restos particulados el cual permanece en el agua después de la sedimentación (Velasco, 2017).

La cantidad total de lodos dependerá mucho de la eficiencia del tratamiento primario de la planta, además la relación SST a DBO y la remoción de nutrientes, una vez que los lodos residuales son tratados pasan a ser biosólidos, esto se debe a la estabilización de los mismos procedentes de las aguas residuales, estos lodos cuentan con características químicas, microbiológicas y físicas (Pérez, 2016).

Tipos de lodos

En la actualidad existen una gran variedad de lodos de diferente origen, pueden ser:

- Lodos industriales
- Lodos urbanos
- Lodos peligrosos
- Lodos no peligrosos

Para poder determinar su composición y grado de toxicidad se debe realizar un estudio y determinar la humedad presente en los mismos. Su origen dependerá de la cantidad de agua que contenga y el tratamiento de los lodos es en dependencia de su procedencia (Delgado & Riofrio, 2019).

Caracterización de los lodos residuales.

La caracterización es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes que poseen, de manera que se pueda establecer su aplicación en los suelos y conocer los compuestos dañinos que deben ser eliminados como son los metales pesados (Delgado & Riofrio, 2019).

Composición de lodos

La composición de los lodos es muy versátil y se relaciona con el porcentaje que ingresa el agua residual en base a las diferentes funciones que cumplió en el ámbito industrial, agrícola o urbano, para dar una disposición final a los lodos se elabora una caracterización y determinar sus parámetros, si tiene o no un alto contenido de humedad que supere al 80%-90%. Los lodos pasan por un proceso en la PTAR en el cual contienen una amplia diversidad sustancias disueltas o suspendidas como: fosforo, cadmio, cobre, materia orgánica e inorgánica, plomo, zinc, patógenos, entre otros (Montaguano, 2019).

Cementación

Según (Cieslik, Namiesnik, & Konieczka, 2015) dice que las cenizas pueden someterse al proceso de solidificación junto con materiales cementoso. Estas operaciones se realizan para inmovilizar los contaminantes contenidos en los lodos residuales procesados, mismos que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente. Además, a los materiales cementosos se les puede dar forma de hormigón y de esta manera. Las propiedades del cemento de ceniza dependen de los reactivos para el proceso de cementación y sus proporciones.

Gasificación

El proceso de gasificación fluidizada genera energía de muy buena calidad a partir de lodos fijos, se caracteriza en reducir las cantidades de lodos residuales, y según (Cano Londoño , Gallegos Suarez , Velasquez , & Ruiz, 2017) coloca los metales pesados en una matriz sólida y también emite compuestos orgánicos tóxicos, generando un gas combustible amigable con el medio ambiente.