



Universidad de Guayaquil

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO CIVIL

SANITARIA

**CONSTRUCCION DE UN ESPESADOR PILOTO DE LODOS
RESIDUALES A ESCALA**

**AUTORES: JACOME AREVALO JORGE EMANUEL
MARIN RIQUEIRO JULIO CESAR**

TUTOR: ING. JUDITH CHALEN MEDINA, MSc.

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2019

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta y por la fortaleza brindada a lo largo de esta carrera.

Agradezco a mis padres Jorge y Karen por brindarme la oportunidad de ser un profesional, por la paciencia que tuvieron conmigo y por creer en mí.

Gracias a mi abuelo Marco Antonio Arévalo y su esposa Mónica Mejía por abrirme las puertas de su hogar y por todo el apoyo brindado durante mi periodo universitario.

A mis compañeras Evelyn y Jazmín por todos los momentos vividos y la ayuda desinteresada ofrecida durante mi carrera universitaria.

A mi tutora de tesis Judith Chalén por su ayuda incondicional y por sus enseñanzas, sin ella este trabajo no se hubiera podido llevar a cabo.

Por último, agradezco a personas que de alguna manera aportaron desinteresadamente con su conocimiento o con alguna otra herramienta para que logre este cometido como mi hermano Cristhian, André y Nathaly.

JORGE JÁCOME ARÉVALO.

Dedicatoria

Dedicado a Dios y a mis padres Jorge y Karen que siempre soñaron con verme realizado como profesional.

A mi mamita Gladys por su cariño y por sus enseñanzas.

A mis hermanos que son un pilar fundamental en mi vida, Cristhian y Allison.

A mi familia entera que son un ejemplo a seguir, todos y cada uno de ellos fueron mi inspiración para alcanzar esta meta.

Por último, recordar siempre que “El fracaso no te sobrecogerá nunca si tu determinación para alcanzar el éxito es suficientemente poderosa”. - Og Mandino.

JORGE JÁCOME ARÉVALO.

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por bendecirme y brindarme la fortaleza necesaria para no darme por vencido a lo largo de mis estudios,

Gracias a mis padres: Julio Marín y Cristina Riquero, por ser mis pilares fundamentales, a lo largo de mi vida brindándome siempre todo el apoyo necesario para salir adelante y por confiar siempre en mí.

A todos y cada una de las personas que me brindaron su apoyo en la Universidad, a los docentes, compañeros, amigos, personal administrativo, etc.

Y un agradecimiento especial a la Ing. Judith Chalén (Tutora de tesis) por tenernos paciencia y brindarnos toda la información necesaria para concluir con nuestro trabajo de titulación.

MARÍN RIQUERO JULIO CESAR

Dedicatoria

A Dios por brindarme las fortalezas necesarias para salir adelante.

A mis padres, por guiarme de manera correcta, por su apoyo, paciencia por enseñarme los caminos del bien, espero que estén orgullosos de este logro alcanzado.

De manera muy especial este trabajo de titulación va dedicado para mi hijo Julio César Marín Montaña, ya que fue un impulsador demasiado importante en mi vida y es una de las razones por cual debo seguir adelante.

A mis hermanos y esposa, que en todo momento me ayudaron brindándome su experiencia, aconsejándome y por estar pendientes de mí.

A mis compañeros y docentes por su apoyo.

MARÍN RIQUEIRO JULIO CESAR

Declaración Expresa

Artículo XI.- del Reglamento Interno de Graduación de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Trabajo de Titulación corresponden exclusivamente a los autores y al Patrimonio Intelectual de la Universidad de Guayaquil.



JACOME AREVALO JORGE EMANUEL
C.I.120671221-6



MARIN RIQUERO JULIO CESAR
C.I. 120680509-3

Tribunal de Graduación

Ing. Fausto Cabrera Montes, M. Sc
Decano

Ing. Judith Chalen Medina, M.Sc
Tutor

Vocal 1

Vocal 2



Universidad de Guayaquil
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Escuela de Ingeniería Civil

UNIDAD DE TITULACION
Telf: 2283348

ANEXO 11

Guayaquil, 23 de agosto de 2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Yo, ING. ARMANDO SALTOS SÁNCHEZ MSC., habiendo sido nombrado tutor del trabajo de titulación **CONSTRUCCION DE UN ESPESADOR PILOTO DE LODOS RESIDUALES A ESCALA** certifico que el presente, elaborado por **JÁCOME ARÉVALO JORGE EMANUEL**, con C. I. N° 1206712216 y por **MARIN RIQUERO JULIO CESAR**, con C. I. N° 1206805093, del núcleo estructurante **SANITARIA**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, en la Carrera de Ingeniería Civil, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

ING. ARMANDO SALTOS SÁNCHEZ MSC

DOCENTE TUTOR REVISOR
C.I. N° 0907842231

ANEXO 12

Guayaquil, 12 de
agosto, 2019

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL
USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**

Nosotros, JACOME AREVALO JORGE EMANUEL con C.I. N.º 1206712216 y MARIN RIQUERO JULIO CESAR con C.I. N.º 120680509-3; certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es "CONSTRUCCION DE UN ESPESADOR PILOTO DE LODOS RESIDUALES A ESCALA", son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad y según el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, autorizamos el uso de una licenciagratiuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines no académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente.



JACOME AREVALO JORGE EMANUEL

C.I. No. 1206712216



MARIN RIQUERO JULIO CESAR

C.I. No. 1206805093

"CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899-Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de arte y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I

El Problema

1.1 Introducción	1
1.2 Delimitación y Planteamiento del Problema	2
1.2.1 Delimitación	2
1.2.2 Planteamiento	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Justificación	4

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Aguas Residuales	7
2.2.1 Tipos de Aguas Residuales	8
2.2.1.1 Aguas Residuales Domésticas.	8
2.2.1.2 Aguas Residuales Ganaderas.	8
2.2.1.3 Aguas Residuales Agrícolas.	8
2.2.1.4 Aguas Residuales Industriales.	8
2.2.2 Tratamiento de Aguas Residuales	9
2.2.2.1 Tratamiento Preliminar	9
2.2.2.2 Tratamiento Primario (Físico-Químico).	9
2.2.2.3 Tratamiento Secundario (Biológico).	11
2.2.2.4 Tratamiento Terciario (Físico-Químico-Biológico).	12
2.3 Lodos Residuales	12
2.3.1 Generalidades.	12
2.3.2 Composición General de Lodos Residuales.	12
2.3.3 Caracterización de Lodos.	13
2.3.3.1 Características Físicas	14
2.3.3.2 Características Químicas.	14

2.3.3.3 Características Biológicas.....	15
2.3.3.4 Metales Pesados.	15
2.3.3.5 Nutrientes.	16
2.3.3.6 Contaminantes Orgánicos.	16
2.3.4 Clasificación de los Lodos.	17
2.3.4.1 Lodo Crudo.....	17
2.3.4.2 Lodo Activo.....	17
2.3.4.3 Lodo Digerido.	17
2.3.4.4 Lodo Químico.	17
2.3.4.5 Lodos de Origen Urbano.....	17
2.3.4.6 Lodos de Origen Industrial.....	18
2.3.5 Tratamiento de Lodos Residuales.....	18
2.3.5.1 Espesamiento.....	19
2.3.5.2 Espesamiento por Gravedad.	20
2.3.5.3 Espesamiento por Flotación.	20
2.3.5.4 Espesamiento por Centrifugación.....	20
2.3.6 Estabilización de Lodos.	20
2.3.6.1 Digestión Aerobia.	21
2.3.6.2 Digestión Anaerobia.	21
2.3.6.3 Compostaje.	21
2.3.6.4 Adición de Cal.	22
2.3.7 Deshidratación Natural de Lodos: Lechos Filtrantes.....	23
2.3.8 Disposición Final de Lodos.....	24
2.4 Marco Contextual.....	25
2.5 Marco Conceptual.....	25
2.6 Marco Legal.....	27
2.6.1 Ley de Gestión Ambiental.....	27
2.6.2 Ley de Aguas.....	29
2.6.3 Acuerdo Ministerial 068 Reforma de TULSMA.....	32
2.6.4 Acuerdo Ministerial 026 – Registro de Generadores de Desechos Peligrosos, Gestión y Transporte.....	32
2.6.5 Acuerdo Ministerial 142 - Listado de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales.	32

Capítulo III

Metodología

3.1 Metodología de la Investigación	33
3.1.1 Tipos de Enfoques Metodológicos.	33
3.2 Descripción del Equipo	34
3.3 Características del Equipo	34
3.3.1 Materiales.	35
3.4 Costo del Equipo.....	39
3.5 Elaboración del Equipo	39
3.6 Equipos de Laboratorio y Materiales Empleados	43
3.7 Toma de Muestra de Lodos Residuales	45
3.8 Test de Jarras.....	45
3.9 Parámetros Determinados	46
3.10 Operación del Equipo	46

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Análisis de Resultados.....	48
4.1.1 Sólidos Sedimentables.	48
4.1.2 Sólidos Totales.	49
4.1.3 Sólidos Volátiles.	51
4.1.4 Contenido de Humedad.	53
4.1.5 Determinación del PH.	54
4.1.6 Dosificación del Test de Jarras.	55
4.2 Dimensionamiento de un Espesador para 10 m ³	57

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones	63
5.2 Recomendaciones	64

BIBLIOGRAFÍA

Anexos

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Aguas residuales	7
Ilustración 2: Huevos de helminto encontrados, especie <i>hymenolepis</i> sp.	16
Ilustración 3: Compostaje.....	22
Ilustración 4: Era de secado.....	23
Ilustración 5: Eras de secado y sus partes	24
Ilustración 6: Motor rotatorio	35
Ilustración 7: Módulo de Control.....	35
Ilustración 8: Recipiente de acrílico para el agua clarificada	36
Ilustración 9: Base de Policarbonato	37
Ilustración 10: Base de Aluminio para el tanque espesador	37
Ilustración 11: Varilla.....	38
Ilustración 12: Luces led	38
Ilustración 13: Recipientes de acrílico	40
Ilustración 14: Elaboración del lecho de secado	40
Ilustración 15: Colocación del material en la era de secado	41
Ilustración 16: Base de la varilla atornillada a la base de policarbonato	41
Ilustración 17: Colocación de las luces led.....	42
Ilustración 18: Conexiones	42
Ilustración 19: Medidor de PH	44
Ilustración 20: Balanza.....	44
Ilustración 21: Conductímetro	44
Ilustración 22: Cono Imhoff	45
Ilustración 23: Mufla.....	45
Ilustración 24: Cono en forma Imhoff con la muestra #1	48
Ilustración 25: Cono en forma Imhoff con la muestra #2	49
Ilustración 26: Cápsula con muestra #2 para sólidos volátiles	51
Ilustración 27: Cápsula con muestra #1 para sólidos volátiles	52
Ilustración 28: Medidor de PH con la muestra #1	54
Ilustración 29: Tiras reactivas para medir el PH de la muestra #2	54
Ilustración 30: Dimensionamiento del tanque espesador	57
Ilustración 31: Estructura Metálica	58
Ilustración 32: Alturas de la Era de Secado.....	59
Ilustración 33: Dimensionamiento de los lechos o eras de secado.....	60
Ilustración 34: Altura final del lecho.....	62

Índice de Tablas

Tabla 1: Historia del tratamiento y disposición de los lodos	6
Tabla 2: Caracterización y composición general de lodos residuales	13
Tabla 3: Características Físicas de los lodos de la PTAR	14
Tabla 4: Características Químicas de los lodos de las PTAR	14
Tabla 5: Valores típicos para metales en lodos residuales	15
Tabla 6: Rango de la presencia de N y P en lodos	16
Tabla 7: Métodos de espesamiento para lodos residuales	19
Tabla 8: Dosis típicas de cal para la estabilización de lodos	22
Tabla 9: Costo del equipo piloto	39
Tabla 10: Resultados de los ensayos realizados	55
Tabla 11: Test de jarra	55

RESUMEN

Los lodos residuales son residuos, producto de los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales en las plantas de tratamiento. A fin de mitigar el impacto ambiental en la actualidad; se busca reducir y depurar estos desechos sólidos buscando una alternativa económica y de fácil manejo, cabe señalar, que los lodos residuales son desechos que deben ser estabilizados y secados antes de su disposición final.

En el presente trabajo se analiza el proceso de espesado de lodos por medio de un equipo piloto construido con fines didácticos, el cual permitirá evidenciar la reducción del volumen de agua en los lodos.

A su vez el equipo permitirá analizar la eficiencia del método y las características del lodo antes y después del espesado a partir de indicadores como el pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos volátiles, y contenido de humedad.

Los datos resultantes fueron confrontados con parámetros establecidos en las normas vigentes y según las características CRETIB que están dadas en el apartado 261 de la EPA o en la normativa de residuos peligrosos de México. De esta manera se determina si el lodo es o no un residuo peligroso.

La muestra de lodo fue evaluada según las características CRETIB, conforme a los resultados el lodo no es corrosivo, no presenta reacciones (Ácido, agua, Alkali, H_2S , HCN) y no es inflamable. Los valores de toxicidad, parámetros biológicos y pesticidas organoclorados se encuentran en los anexos al final del presente estudio.

PALABRAS CLAVE: LODOS RESIDUALES – ESPESADOR – EQUIPO – LECHOS FILTRANTES – DECANTACIÓN

ABSTRACT

The residual muds are a residue, product of the different processes of treatment of wastes water in the treatment plants. In order to mitigate the environmental impact at present; he thinks about how to diminish and purify this solid garbage looking for an economic alternative and of easy handling, it is necessary to point out, that the residual muds are garbage that must to be stabilized and dried before its final disposition.

In the present work the process is analyzed of thickened of muds by means of a pilot team constructed with didactic ends, which will allow to demonstrate the reduction of the water volume in the muds.

In turn the team will allow to analyze the efficiency of the method and the characteristics of the mud earlier and after the thickened one from indicators like the pH, solid sedimentables, solid entire, solid volatile, and moisture content.

The resultant information was confronted by parameters established in the current norms and according to the characteristics CRETIB that are given in the paragraph 261 of the EPA or in the regulation of dangerous residues of Mexico. This way it decides if the mud is or not a dangerous residue.

The mud sample was evaluated according to the characteristics CRETIB, in accordance with the results the mud is not corrosive, it does not present reactions (Acid, it waters down, Alkali, H₂S, HCN) and is not flammable. The values of toxicity, biological parameters and pesticides organochlorides are in the annexes at the end of the present study.

KEY WORDS: RESIDUAL MUDS – THICKENER – TEAM – BEDS FILTRANTES –
DECANTATION

Capítulo I

El Problema

1.1 Introducción

Las aguas residuales de procedencia industrial son indiscutiblemente objeto de estudio debido a su contenido contaminante que puede variar dependiendo del uso que se le haya dado, dicho de otra manera, el tipo de industria de la que esta provenga considerando que el agua ha sido afectada por acciones naturales y antrópicas.

En la actualidad según sus características fisicoquímicas las aguas residuales pasan por diferentes procesos de tratamiento realizado en plantas (PTAR), hay que mencionar, además que como resultado de los procesos, físicos, químicos y mecánicos llevados a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales se genera lodos, los cuales son el resultado de la concentración de sólidos presentes en el efluente o de nuevos sólidos suspendidos que se forman en los diferentes procesos a partir de los sólidos disueltos.

Los lodos residuales pueden ser originados en diferentes fases de tratamientos, como fisicoquímicos que utilizan coagulantes y en ciertos casos polímeros como también floculantes, teniendo en cuenta el bajo costo operativo que implica este tratamiento puede ser ventajoso, sin embargo, genera una cantidad levemente mayor de lodos que otros tratamientos (Amador et al. ,2014). Por otra parte, los lodos pueden proceder de tratamientos biológicos que son originados en tratamientos secundarios.

El estudio del tratamiento de lodos ha experimentado un auge ya que en el siglo pasado no se le había prestado la importancia necesaria que tiene estabilizar los lodos residuales previos a una disposición final, así mismo mitigar en el mayor grado posible el impacto ambiental que estos puedan ocasionar. (Idrovo, 2018)

En el presente trabajo se propone un estudio de lodos originados a partir del

tratamiento de las aguas residuales de la Industria Cartonera Nacional del Ecuador en un equipo espesador piloto el cual generará de este proceso fangos, de los cuales se tomarán muestras que permitirán caracterizar por medio de diversas pruebas el lodo resultante.

1.2 Delimitación y Planteamiento del Problema

1.2.1 Delimitación.

En el presente trabajo se utilizó el lodo proveniente del tratamiento primario y secundario de aguas residuales de una Industria cartonera; el 90% del lodo proporcionado para el estudio se origina en el tratamiento físico – químico (primario) y el 10% del tratamiento biológico (secundario).

Se efectuaron análisis de DQO y DBO al agua residual tanto de entrada como salida en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI), para determinar la calidad del agua residual. Se analizó en los siguientes puntos:

Tabla 1: Valores de DQO y DBO en los distintos puntos de muestreo.

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Entrada	15150	7420
Tratamiento Primario	2760	1304
Tratamiento Secundario	312	115
Salida	167	84

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Ponderación

$$\frac{(2760 * 0,9) + (312 * 0,1)}{2515,2} = 1$$

1.2.2 Planteamiento.

En el presente estudio se elabora un equipo piloto espesador de lodos residuales, con lechos filtrantes de secado compuesto de arena y grava para determinar la disminución del volumen de agua en los lodos residuales de actividades industriales de fabricación de cartón para facilitar el proceso de deshidratación, al evidenciar la problemática de la descarga de efluentes propios de la industria por los diferentes procesos llevados a cabo en esta que cambian debido a las características de producción de las mismas, características que están ligadas al producto que se quiere llevar a cabo.

Los efluentes descargados son conducidos a una PTARI (planta de tratamiento de aguas residuales industriales) donde después de un tratamiento primario se logra recuperar aproximadamente la mitad del agua tratada (González & Prado, 2019).

Frente a la situación actual se busca un tratamiento de bajo costo y fácil manejo que a su vez permita una eficiente reducción de lodos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar la eficiencia de espesamiento de los lodos para una industria cartonera que produzcan lodos residuales en el tratamiento de aguas servidas por medio de un equipo piloto de espesador de lodos con lechos filtrantes de arena y grava que puede ser usado en un laboratorio de ingeniería sanitaria.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la característica del lodo residual por medio de pruebas de pH, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos sedimentables, contenido de humedad.

- Determinar la dosificación del producto químico para el espesador de lodos y pruebas con el equipo piloto
- Establecer un diseño para tratar 10 toneladas de lodo residual con la cantidad de producto químico requerido.

1.4 Justificación

Dentro del tratamiento de las aguas residuales, cerca de la tercera parte del efluente tratado se convierte en lodo residual, el cual tiene características de ser un residuo peligroso. El presente trabajo de investigación está encaminado a la búsqueda de soluciones y a la construcción de un espesador piloto de lodos residuales para el manejo adecuado y su disposición final.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la Investigación

El agua ha sido un elemento vital para el desarrollo de la humanidad, a lo largo de la historia muchas civilizaciones se asentaron cerca de ríos y otras fuentes de agua para tener un fácil acceso a esta. debido a su importancia el ser humano ha desarrollado métodos para su almacenamiento y distribución, hasta tecnologías para tratamiento y depuración de aguas residuales.

En la ciudad de Paris en 1806 se empieza a construir trabajar la más grande planta de tratamiento de agua. El agua pasaba por un proceso de sedimentación de 12 horas y posteriormente era filtrada con arena y carbón. (Idrovo, 2018)

En la actualidad se dispone de plantas de tratamiento de aguas residuales para depurar el agua por medio de procesos físicos y químicos con el fin de que el agua efluente sea reutilizable en el ambiente.

En el tratamiento de aguas residuales se producen lodos residuales estos se originan debido a la decantación y concentración de sólidos suspendidos y disueltos que se encuentran en el agua. Y están compuestos de materia orgánica e inorgánica, dependiendo de la constitución del efluente que está siendo tratado (Rodrigo y Barajas 2012)

A diario, se generan distintas cantidades de lodos en las plantas de tratamiento, con cargas de microorganismos patógenos, que a su vez son un riesgo para la salud. (Anisley Amador-Díaz, Eliet Veliz-Lorenzo, Mayra Bataller-Venta).

Tabla 2: Historia del tratamiento y disposición de los lodos

Año	Acontecimiento
A.C	Irrigación con aguas residuales – Atenas
1550	Uso de aguas residuales en agricultura – Alemania
1700	Uso de aguas residuales en agricultura – Reino Unido
1762	Precipitación química de aguas residuales – Reino Unido
1860	Dispositivo de Mouras. Tratamiento anaerobio de sólidas aguas residuales
1865	Experimento sobre microbiología de digestión de lodos – Reino Unido
1868	Investigación sobre filtración intermitente de aguas residuales – Reino Unido
1870	Filtración en arenas de aguas residuales – Reino Unido
1876	Primeras fosas sépticas – U. S. A
1882	Experimentos sobre aireación de alcantarillas – Reino Unido
1884	Introducción de las rejillas de desbaste
1887	Estación experimental de Lawrence para el estudio de aguas y aguas residuales Massachusetts – U. S. A
1887	Primera planta de precipitación química – U. S. A
1889	Filtración en lechos de contacto – Massachusetts, U. S. A
1891	Digestión de lodos – Alemania
1895	Recolección de metano de fosas sépticas y su empleo en alumbrado – Reino Unido
1898	Molinete hidráulico para filtros percoladores – Reino Unido
1904	Empleo de desarenadores – U. S. A
1904	Fosa séptica Travis de dos pisos – Reino Unido
1904	Tanque Imhoff – Alemania
1906	Coloración de aguas residuales – U. S. A
1908	Ley de Chick – U. S. A
1911	Aplicación de tanques Imhoff – U. S. A
1911	Digestión separada de lodos – U. S. A
1914	Tratamiento de aguas residuales por lodos activados – Reino Unido
1916	Primera planta municipal de lodos activados – U. S. A
1925	Aeración por contacto – U. S. A

Fuente: (Gonzales & Prado, 2018)

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.2 Aguas Residuales

Aguas residuales son todas aquellas aguas que han sido afectadas de forma negativa por la acción del ser humano; ya sea que estas hayan sido usadas en los entornos domésticos y urbanos; en las industrias y ganaderías; así como las aguas naturales que, por accidente o mal uso, se hayan mezclado con las anteriores. Esto quiere decir, que las aguas que son contaminadas o afectadas por causas naturales no son aguas residuales. (Arriols, 2018)

A estas aguas residuales, también se las conoce como aguas negras, que son una mezcla compleja que contiene agua (>90%) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos, estos contaminantes se encuentran tanto en suspensión como disueltos. Cabe recalcar que debido a su carga contaminante son potencialmente peligrosas en el caso de que sean vertidas en el medio ambiente sin un tratamiento previo. (Glynn & Heinke, 1999)



Ilustración 1: Aguas residuales

Fuente: (Arriols, Ecología Verde, 2018)

2.2.1 Tipos de Aguas Residuales.

Existen varios tipos de aguas residuales tales como:

2.2.1.1 Aguas Residuales Domésticas.

Estas aguas residuales provienen de los hogares, de áreas de recreación, instituciones y comerciales. Normalmente se recogen en un sistema de alcantarillado público.

La carga contaminante está dada por materia orgánica, tanto en suspensión como en disolución, normalmente biodegradables, y cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y sales minerales. (Barba Ho, 2002)

2.2.1.2 Aguas Residuales Ganaderas.

Las aguas residuales ganaderas contienen elevados niveles de contaminantes derivados varios ciertos productos químicos que se usan para criar al ganado, los desechos fecales y los orines de los animales que permanecen en estabulación. (Arriols, 2018)

2.2.1.3 Aguas Residuales Agrícolas.

Los contaminantes que contienen estas aguas son materia orgánica (fertilizantes, pesticidas). Pueden contaminar aguas subterráneas, ríos, mares, embalses, etc. (S.A.S., 2018)

2.2.1.4 Aguas Residuales Industriales.

Las aguas residuales Industriales son aquellas que son generadas por cualquier actividad industrial, ya sea esta, producción, transformación o manipulación, ya que en todas estas actividades se hace uso del líquido vital, incluyendo líquidos

residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje. Se dice que esta agua residual puede ser la más peligrosa debido a su carga contaminante, ya que se emplea variedad de materiales, químicos, sustancias, entre otras, dependiendo del tipo de industria. Los contaminantes más importantes son microbios patógenos, metales pesados y materia orgánica persistente, así como sedimentos en suspensión y pesticidas. (S.A.S., 2018)

2.2.2 Tratamiento de Aguas Residuales.

Existen 3 tipos de tratamiento de aguas residuales: Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Tratamiento Terciario, en algunos casos se considera un cuarto tratamiento el cual se lo realiza antes del tratamiento primario: Tratamiento preliminar.

2.2.2.1 Tratamiento Preliminar.

Este tratamiento se lo realiza antes de entrar al tratamiento primario, se lo realiza para adecuar o preparar las aguas residuales para su futura tratamiento, removiendo los sólidos de gran tamaño y las arenas presentes en las aguas negras o aguas residuales, esto se lo realiza principalmente para evitar daños en los diferentes equipos que se usan para realizar los procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento. (Farias de Marquez, 2016)

2.2.2.2 Tratamiento Primario (Físico-Químico).

Este tratamiento consiste en eliminar los sólidos en suspensión mediante un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes. Así, para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos (sales de hierro, aluminio y floculantes) con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide. (Yanguas

Sáenz, 2016-2017)

Los procesos físicos (decantadores-digestores, fosas sépticas y decantadores de gravedad, eliminan entre el 30-40% de la DBO5 y el 60-70% de los S.S. Los procesos fisicoquímicos, mediante la adición de reactivos químicos, consiguen eliminar entre el 50-70% DBO5 y el 65-90% de S.S., según la cuantía y el tipo de coagulante empleado. (Gonzales & Prado, 2018)

El Tratamiento primario consta de los siguientes procesos:

Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

- **Coagulación:** Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que consiste en agregar coagulantes tales como: sulfato de aluminio, cloruro férrico o polielectrolitos, y la aplicación de la energía de mezclado, esto hace que las características superficiales de los sólidos en suspensión se alteren de modo que se adhieran las partículas y precipiten. (Yanguas Sáenz, 2016-2017)

- **Floculación:** Es un proceso en el cual debemos agregar floculantes al agua residual, ya que estos son polímeros que favorecen el proceso de formación de flóculos, actuando de puentes para captar las partículas en suspensión.

Este proceso necesita un mínimo de agitación para no romper la cadena del polímero. El tiempo óptimo de floculación es de 15 min. (Rivas Romero & Rómulo Rodríguez, 2017)

- **Sedimentación:** En este proceso, el objetivo es remover las partículas o los sólidos suspendidos en las aguas residuales, mediante el asentamiento en tanques sedimentadores, ya sea este transportado por una corriente de agua y luego depositados a un río, embalse, etc. (Yanguas Sáenz, 2016-2017)

2.2.2.3 Tratamiento Secundario (Biológico).

Este tratamiento consiste en un conjunto de procesos biológicos cuyo objetivo es eliminar la materia orgánica presentes en las aguas residuales. Para este trabajo se emplean bacterias y microorganismos, los cuales se enfocan en la transformación de la materia orgánica en biomasa celular, energía, gases y agua.

Pueden distinguirse varios procesos, aerobios y anaerobios:

- Los procesos aerobios se realizan en presencia de oxígeno por lo que es necesario introducirlo en los tanques donde están las aguas residuales. En esta etapa ocurre parte de la degradación de la materia orgánica, de la que se desprende agua y CO₂, y también la eliminación de los productos nitrogenados. El amonio, derivado del nitrógeno muy tóxico, se transforma en nitrato en una reacción llamada nitrificación. Ahora bien, el nitrato, aunque ya no es tóxico es una forma asimilable del nitrógeno y, por tanto, podría provocar una proliferación de algas y el enriquecimiento en nutrientes de las aguas en el medio receptor (eutrofización), por lo que mediante la desnitrificación este se convierte en nitrógeno y se libera a la atmósfera.

- Por el contrario, los procesos anaeróbicos se realizan en ausencia de oxígeno. En este proceso ocurren reacciones fermentativas en las que la materia orgánica se transforma en energía, metano y dióxido de carbono. (Gracia Astillero, 2018)

Entre los principales tratamientos tenemos:

- Lodos activos
- Lechos bacterianos
- Digestión anaeróbica
- Filtros verdes
- Biodiscos (Gracia Astillero, 2018)

2.2.2.4 Tratamiento Terciario (Físico-Químico-Biológico).

El tratamiento terciario nos permite disminuir o eliminar el resto de los contaminantes específicos del agua residual que no fue posible eliminar durante los tratamientos anteriores. En si este tratamiento consiste en llevar el agua a niveles adecuados, con el fin de que esta esté apta para el consumo humano. (Baeza) (Yanguas Sáenz, 2016-2017)

Los procesos de tratamiento más comunes son los siguientes:

- Filtración
- Cloración
- Humedales artificiales
- Radiación ultravioleta (Gonzales & Prado, 2018)

2.3 Lodos Residuales

2.3.1 Generalidades.

Se entiende como lodo a un sólido suspendido dentro de un volumen de agua que procede de un tratamiento de planta o provenientes de sistemas de alcantarillado (Tejeda, Villabona, & Tejeda, 2008).

Los lodos pueden provocar daño a la salud ya que contienen microorganismos patógenos y metales pesados. Los lodos productos de tratamientos de plantas de aguas residuales poseen un contenido de sólido que fluctúa entre el 0.25% al 12% de su peso.. (Idrovo, 2018)

Para cumplir con la legislación vigente los lodos deben ser tratados, espesados y estabilizados antes de su disposición final.

2.3.2 Composición General de Lodos Residuales.

Los lodos residuales contienen distintos constituyentes químicos que pueden

determinar la disposición final de estos por ejemplo se debe tener en cuenta la presencia de metales pesados o de hidrocarburos si el lodo será aplicado en el suelo o incinerado (Cardoso Vigueros & Ramírez González, 2000)

2.3.3 Caracterización de Lodos.

Al caracterizar los lodos se debe tener en cuenta factores como contenido de agua, Ph, metales pesados, nutrientes, contaminantes orgánicos y patógenos.

Tabla 3: Caracterización y composición general de lodos residuales

Parámetros	Unidades	Lodos primarios	Lodos secundarios (mezcla)	Lodos digeridos
pH	u. Ph	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7.6
Contenido de agua	%	92-96	97.5-98	94-97
SSV	%SS	70-80	80-90	55-65
Grasas	%SS	12-14	3-5	4-12
Proteínas	%SS	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos	%SS	8-10	6-8	5-8
Nitrógeno	%SS	2-5	1-6	3-7
Fósforo	%SS	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas	NMP/100ml	103-105	100-1000	10-100
Metales pesados (Zn, Cu,Pb)	%SS	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: (Gonzales & Prado, 2018)

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.3.3.1 Características Físicas.

Dentro de las características Físicas tenemos:

Tabla 4: Características Físicas de los lodos de la PTAR

Características físicas
Olor
Color
Apariencia (grasiento, gelatinoso, floculento)
Contenido de humedad
Contenido de sólidos totales, volátiles, suspendidos y sedimentables
Velocidad de sedimentación de los lodos
Densidad
Tamaño de Partículas
Comprensibilidad
Temperatura

Fuente: (Gonzales & Prado, 2018)

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.3.3.2 Características Químicas.

Dentro de las características químicas tenemos:

Tabla 5: Características Químicas de los lodos de las PTAR

Características químicas
Parámetros inorgánicos (arenas, arcilla, materia mineral)
Parámetros orgánicos (carbonos, aceites, grasas, etc.)
Metales pesados
Nutrientes
Contenido de materia orgánica (DBO, DQO, contenido de tóxicos orgánicos)
Carga superficial de la partícula y su hidratación
Conductividad eléctrica (concentración de sales)
PH

Fuente: (Gonzales & Prado, 2018)

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.3.3.3 Características Biológicas.

Dentro de las características biológicas tenemos la identificación y cuantificación de microorganismos debido a que si el lodo es sometido a un tratamiento específico para disminuir la concentración de microorganismos patógenos. (Gonzales & Prado, 2018)

2.3.3.4 Metales Pesados.

Los metales pesados pueden llegar a ser tóxicos debido a su potencial de acumularse en los tejidos humanos, los metales comunes presentes en lodos son el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr). (Morales Rojo, 2005).

Tabla 6: Valores típicos para metales en lodos residuales

Parámetro	Lodos de aguas residuales domésticas (mg / kg)	Lodos de aguas residuales domésticas + Industriales (mg / kg)
As	10 – 50	
Cd	10 – 400	90 – 240
Cr	50 – 200	260 – 2650
Cu	95 – 700	960 – 2300
Pb	200 - 500	760 – 2790
Hg	1 – 11.2	2.6 – 5
Ni	110 – 400	200 – 900
Se	10 – 180	
Zn	1000 - 1800	800 – 460

Fuente: (Morales Rojo, 2005)

Elaboración: Jácome Jorge & Marín Julio

2.3.3.5 Nutrientes.

Los lodos tienen un apreciable contenido de nitrógeno y fósforo, los que pueden ser utilizados como fertilizantes, aunque una desventaja de estos es la probabilidad de causar eutrofización en aguas superficiales y subterráneas (Morales Rojo, 2005).

Tabla 7: Rango de la presencia de N y P en lodos

Parámetro	Lodo primario
Nitrógeno (N% de ST)	1.5 - 4
Fósforo (P O5% de ST)	0.8 – 2.8

Fuente: (Morales Rojo, 2005)

Elaboración: Jácome Jorge & Marín Julio

2.3.3.6 Contaminantes Orgánicos.

Estos elementos son analizados por su potencial contaminante al medio ambiente y a la salud, los contaminantes orgánicos que se encuentran con mayor frecuencia en lodos residuales son plaguicidas, agentes tensioactivos, colorantes, plastificantes y disolventes industriales.

Patógenos

Los lodos poseen virus, bacterias, protozoarios, entre otros agentes patógenos que son una amenaza para la salud pública. Las especies de salmonella son comunes en los lodos al igual que virus causantes de enfermedades como la hepatitis, Los helmintos son otra clase de microorganismos patógenos que se encuentran en el lodo residual que causan enfermedades que llevan a la anemia y desnutrición.



Ilustración 2: Huevos de helminto encontrados, especie hymenolepis sp.

Fuente: (Pérez Ortiz, 2003)

2.3.4 Clasificación de los Lodos.

La clasificación de los lodos se relaciona con el tipo de planta, el tratamiento que lo genere, entre otros.

Según el tratamiento:

2.3.4.1 Lodo Crudo.

Es el lodo que no ha recibido ninguna clase de tratamiento, este se extrae directamente de las plantas de aguas residuales (Idrovo, 2018).

2.3.4.2 Lodo Activo.

Es un proceso biológico que busca depurar el agua residual en el cual trabajan diferentes microorganismos los cuales metabolizan contaminantes biológicos, como resultado se elimina la materia orgánica. Estos microorganismos necesitan oxígeno para llevar a cabo el proceso, el mismo que será administrado por distintos métodos como la aireación o la agitación.

2.3.4.3 Lodo Digerido.

Es producto de la digestión aeróbica y contiene entre el 45% y 60% de materia orgánica (Idrovo, 2018).

2.3.4.4 Lodo Químico.

Son los lodos en los que se utilizan productos químicos como cal y sales de hierro o aluminio para facilitar la remoción y precipitación de sólidos suspendidos u otros elementos (Cardoso Vigueros & Ramírez González, 2000).

Según el origen del agua residual:

2.3.4.5 Lodos de Origen Urbano.

Por lo regular los lodos de origen doméstico presentan el mismo contenido de

contaminantes, por lo tanto, pueden ser tratados con un esquema similar, aunque en ocasiones deberán ser adaptados a situaciones particulares propias de la ubicación de la zona urbana. (Trejos & Agudelo, 2012).

2.3.4.6 Lodos de Origen Industrial.

Al contrario de los lodos de origen doméstico, los lodos de origen industrial contienen heterogeneidad en su contenido contaminante, debido a las distintas actividades estos pueden ser catalogados como desechos peligrosos, entre las industrias que producen lodos tenemos:

- Textil
- Química y farmacéutica
- Pulpa y producción de papel
- Metalmecánica y acabado de metal
- Industria de electro galvanizado
- Electrónicas
- Procesamiento de alimentos
- Curtido del cuero, etc.

(González & Prado, 2019).

2.3.5 Tratamiento de Lodos Residuales.

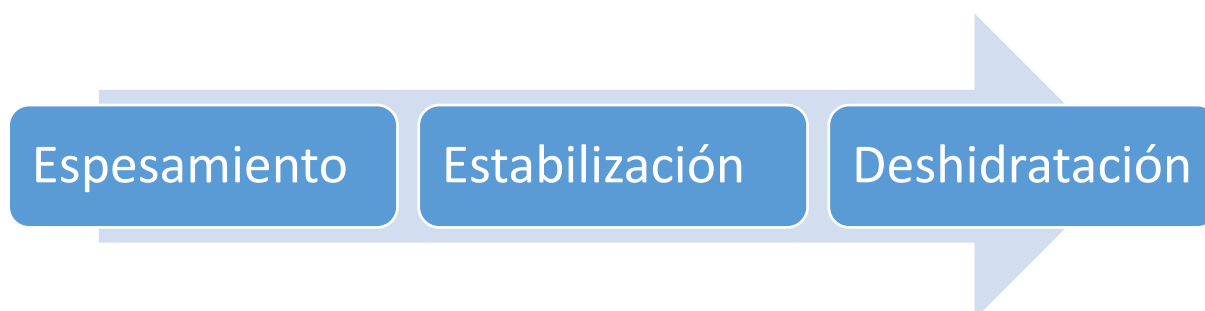


Diagrama 1: tratamiento de lodos residuales

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.3.5.1 Espesamiento.

El espesamiento es un proceso en el cual se busca incrementar la cantidad de sólidos por unidad de volumen, a fin de obtener un material con menor cantidad de líquido, lo cual puede llevarse a cabo mediante diferentes procesos (Pérez, 2016). Entre las ventajas del proceso de espesamiento de lodos se encuentra la reducción de volumen antes de su evacuación (González & Prado, 2019).

Tabla 8: Métodos de espesamiento para lodos residuales

Método	Tipo de lodo	Frecuencia de uso y éxito relativo
Gravedad	Primario crudo.	Comúnmente usado con excelentes resultados.
	Primario crudo y purga de lodos activos.	A menudo usado en pequeñas plantas con concentraciones de lodo de 4 a 6%.
	Purga de lodos activados.	Rara vez usado, concentración de sólidos (2 a 3%).
Flotación con aire disuelto	Primario sin tratamiento y purga de lodos activados.	Algunos usos limitados: resultados parecidos al espesamiento por gravedad.
	Purga de lodos activados.	Comúnmente usados; buenos resultados (3.5 a 5% de concentración de sólidos).
De canasta centrífuga	Purga de lodos activados.	Uso limitado excelentes resultados (8 a 10% de concentración de sólidos).
De tazón centrífugo	Purga de lodos activados.	Aumentando; buenos resultados (4 a 6% de concentración de sólidos).
Filtro de banda	Purga de lodos activados.	Aumentando; buenos resultados (3 a 6% de concentración de sólidos).
Tambor rotatorio	Purga de lodos activados.	Uso limitado excelentes resultados (5 a 9% de concentración de sólidos).

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003).

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.3.5.2 Espesamiento por Gravedad.

Este procedimiento es usado con mayor frecuencia en tratamiento primario de lodo crudo. El lodo se compacta en el fondo de un tanque debido a la sedimentación para luego ser enviado a los digestores o equipos de deshidratación. (Pérez, 2016).

2.3.5.3 Espesamiento por Flotación.

La flotación por aire disuelto también conocido como DAF es un proceso en el que se introduce aire en una solución con presión elevada, una vez liberado el aire formará burbujas, las que empujarán el lodo a la superficie a fin de que este forme una nata que será removida (Pérez, 2016).

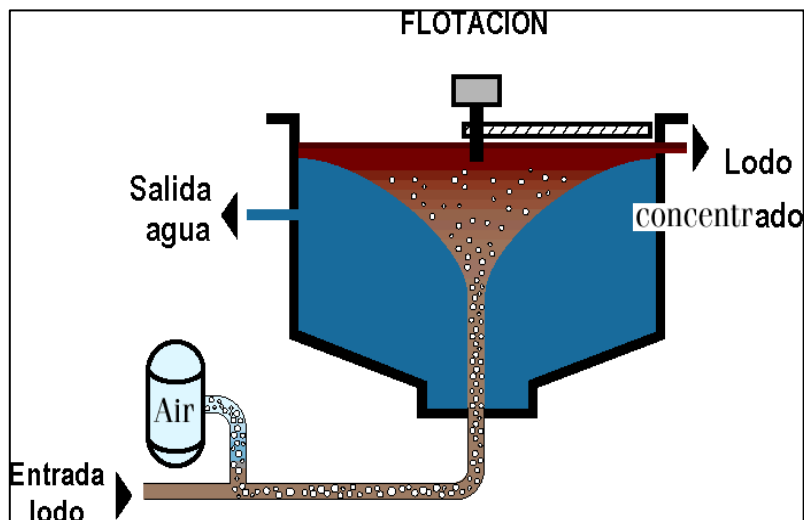


Ilustración 3: Espesamiento por Flotación

Fuente: (Ramírez, 2018)

2.3.5.4 Espesamiento por Centrifugación.

Este procedimiento es utilizado generalmente en lodos activados para su secado y espesamiento, posee un alto costo de operación y mantenimiento.

2.3.6 Estabilización de Lodos.

Con la estabilización de lodos se busca conseguir los siguientes objetivos:

- Disminuir la cantidad de microorganismos patógenos
- Prevenir la atracción de vectores
- Evitar la generación de malos olores

Existen varios métodos de estabilización de lodos, entre los más empleados se encuentran:

- Digestión aerobia
- Digestión anaerobia
- Composteo
- Adición de cal

A pesar de las ventajas que ofrecen algunos de estos procesos presentan inconvenientes como lo pueden ser el costo de inversión y operación. (Limón, 2013).

2.3.6.1 Digestión Aerobia.

Similar al proceso de activación de lodos este método, los microorganismos se alimentan de materia orgánica, una vez agotado la fuente de alimentación estos comienzan a consumir su protoplasma. Como resultado se producirá dióxido de carbono, agua y amoníaco (González & Prado, 2019).

2.3.6.2 Digestión Anaerobia.

Este procedimiento está dividido en dos fases, en la primera se forma ácidos volátiles y en la segunda bacterias en condiciones anaerobias producen principalmente dióxido de carbono, gas metano y ácido sulfhídrico a partir de dichos ácidos (Trejos & Agudelo, 2012).

2.3.6.3 Compostaje.

El compostaje puede realizarse en condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas.

Los lodos pueden ser empleados como fertilizantes y en recuperación de suelos erosionados al mejorar las condiciones del suelo aportando nutrientes a condición de que se encuentre estabilizado y no sea un residuo peligroso (Tejeda, Villabona, & Tejeda, 2008).



Ilustración 4: Compostaje

Fuente: (Ficosterra, 2018)

2.3.6.4 Adición de Cal.

La aplicación de cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), como cal viva, (CaO) es uno de los métodos más utilizados debido a su bajo costo y fácil manejo, no obstante, los biosólidos pueden volver a una condición inestable si el pH se altera, provocando la aparición de microorganismos (Limón, 2013).

Tabla 9: Dosis típicas de cal para la estabilización de lodos

Tipo de lodo	Concentración de sólidos %		Dosis de cal, Kg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / ton sólidos secos	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Valor medio
Primario	3-6	4.3	60-170	120
Exceso de fango activado	1-1.5	1.3	210-430	300
Mezcla digerida por vía aerobia	6-7	6.5	140-430	190
Líquido de fosas sépticas	1-4.5	2.7	140-250	200

Fuente: (Morales Rojo, 2005)

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

2.3.7 Deshidratación Natural de Lodos: Lechos Filtrantes.



Ilustración 5: Era de secado

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Este es el sistema más empleado a nivel mundial debido a que nos genera muchas ventajas, entre las principales están el bajo costo inicial, operacional y de mantenimiento, es un sistema muy efectivo que no necesita de Electricidad para su correcto funcionamiento. Consiste en verter lodo en lecho o era de secado, formando una capa de 20 a 30 cm máximo de espesor con el fin de facilitar su secado y drenaje.

El material drenante suele estar formado por capas de 10 cm de arena sobre una capa de grava de 20 cm, Estas capas nos servirán como filtro, de tal manera que el agua o lixiviado se deposite en la parte inferior, donde se encuentran tuberías o flautas para la extracción de dicha agua, la cual volverá a la cabecera para volver a ser tratada. Mientras tanto la capa de lodo en la parte superior del lecho estará expuesta a la energía solar para que esta se encargue de evaporar el agua y disminuir el contenido de humedad; esto dependerá del clima. (González Granados, 2015)

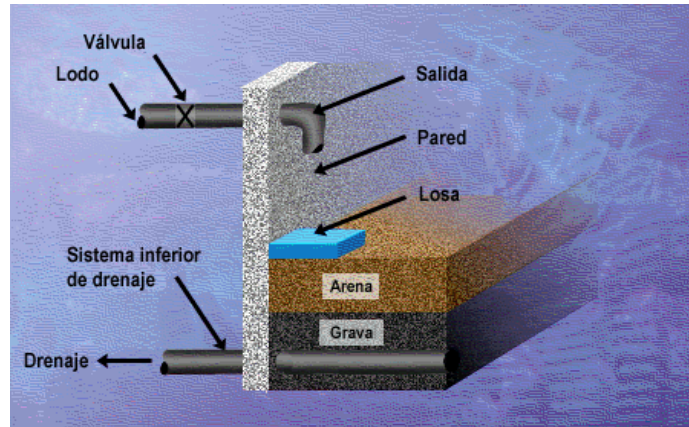


Ilustración 6: Eras de secado y sus partes

Fuente: (Usal, s.f.)

2.3.8 Disposición Final de Lodos.

Para la eliminación y destino de los lodos que se generan de manera continua, se debe partir de la idea de considerar el medio ambiente en un sentido unitario. En si a disposición final de lodos consiste en buscar un destino final seguro a los lodos resultantes de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Según la calidad y el volumen de los lodos obtenidos, es posible optar por tratamientos finales en base a incineración, aplicación al terreno, disposición en mono rellenos y disposición en rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos, así como también pueden ser usados para el uso agrícola, en la aplicación al suelo con fines de fertilización y reciclaje de los nutrientes y la materia orgánica.

Además, los lodos según sus propiedades pueden ser aprovechados como:

- Relleno de espacios afectados por actividades extractivas (con este mismo fin se puede utilizar en obras viales o en estabilidad de taludes).
- Material de construcción
- Aprovechamiento de lodos como combustible
- Obtención de carbón activado (Lodos con alto contenido de carbono)
- Fertilizante y compostaje

2.4 Marco Contextual

Los lodos con los cuales si hicieron los estudios proceden de la industria cartonera, se dedica a la producción de cartón corrugado de diferentes características, las cuales varían según los requerimientos del cliente.

El uso de tinta la cual es de tipo orgánica es un factor a considerar en el momento de tratar el agua residual de esta industria, la cual se dirigirá a una planta de tratamiento, la misma que es inspeccionada por el departamento de medio ambiente de la industria, donde se realizan pruebas del agua en cuestión y de los subproductos de esta al ser tratada.

Las aguas residuales de la industria poseen un alto contenido de colorantes y contaminantes orgánicos, los lodos de igual manera, los cuales serán utilizados como relleno sanitario una vez culminen su tratamiento.

2.5 Marco Conceptual

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

Adsorción: el proceso por el cual un fluido o sus componentes quedan adheridos superficialmente en un elemento sólido.

Agentes tensoactivos: son compuestos químicos que al contacto con el agua u otro disolvente reducen la tensión superficial, como resultado se puede formar espuma o coloides en el disolvente, un agente tensoactivo de uso cotidiano es el detergente.

Agua residual: aguas que han sido afectadas negativamente por la acción del hombre y son potencialmente contaminantes en caso de que sean vertidas en el medio sin ser tratadas. (Arriols, 2018).

Espesador de lodos: dispositivo en el que se lleva a cabo procesos de sedimentación.

Eutrofización: Es el enriquecimiento de un ecosistema acuático por nutrientes, lo que ocasiona proliferación de algas y otras plantas. (Borrás, 2018).

Lodo residual: es un fango producto de procesos de tratamiento de agua, generalmente con contenido patógeno y contaminante.

Lodo acuoso: es un lodo residual con un contenido de humedad cercano al 100% que está formado por sedimentos térreos.

Floculación: proceso en el cual se agrega un producto químico que producirá la aglomeración de coloides facilitando su decantación.

Filtración: es un proceso en el cual se separa sólidos u otros elementos del agua por medio de un dispositivo.

Tratamiento: es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que buscan remover los contaminantes del agua, también es llamado depuración.

Sedimentación: es la separación de las partículas suspendidas del agua por medio de la gravedad al poseer un mayor peso que el agua, generalmente se busca obtener un efluente clarificado.

Coagulación: proceso que facilita la precipitación de partículas al aumentar la tendencia entre ellas por medio de un producto químico o coagulante, también llamada mezcla rápida.

2.6 Marco Legal

2.6.1 Ley de Gestión Ambiental

El artículo 20 de la ley de Gestión Ambiental señala “Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva otorgada por ministerio del ramo”. Además, en el artículo 21 de esta ley señala que “los sistemas de manejo ambiental incluirán estudios de línea base; evaluación del impacto ambiental; evaluación de riesgos; planes de manejo; planes de manejo de riesgo; sistemas de monitoreo; planes de contingencia y mitigación; auditorías ambientales y planes de abandono. Una vez cumplidos estos requisitos y de conformidad con la calificación de los mismos, el Ministerio del ramo podrá otorgar o negar la licencia correspondiente.”

En su título VII del Régimen del buen Vivir, capítulo II biodiversidad y recursos naturales, sección II Ambiente Sano menciona:

Art. 396.- El estado adoptara las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptara medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por los daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicara también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes y servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

Art. 397. – En caso de daños ambientales el Estado actuara de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el estado se compromete a:

Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en material ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental material de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.

Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y manejo sustentable de los recursos naturales.

Regular la producción, importancia, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y la administración de las áreas naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

Art. 398.- Toda decisión o autorización estatal que pueda afectar al ambiente deberá ser consultada a la comunidad, a la cual se informara amplia y oportunamente. El sujeto consultante será el Estado. La ley reguladora la consulta previa, la participación ciudadana, los plazos, el sujeto consultado y los criterios de valoración y de objeción sobre la actividad sometida a la consulta.

El Estado valorara la opinión de la comunidad según los criterios establecidos en la ley de los instrumentos internacionales de derechos humanos.

Si del referido proceso de consulta resulta una oposición mayoritaria de la comunidad respectiva, la decisión de ejecutar o no el proyecto será adoptado por resolución debidamente motivada de la instancia administrativa superior correspondiente de acuerdo con la ley.

Art. 399.- el ejercicio integral de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza.

2.6.2 Ley de Aguas

El Estado Ecuatoriano mediante La Ley de Aguas determina disposiciones para regular la conservación (Título I), contaminación (Titulo II), adquisición de derechos de aprovechamiento (Titulo III), Usos (Titulo IV), concesiones y demás temas relacionados con la utilización racional del agua.

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA (TULSMA).

Sección II

De los permisos de Descargas, Emisiones y Vertidos

Art. 92.- Permiso de Descargas y Emisiones. - El permiso de descargas, emisiones y vertidos es el instrumento administrativo que faculta a la actividad del regulado a

realizar sus descargas al ambiente, siempre que éstas se encuentren dentro de los parámetros establecidos en las normas técnicas ambientales nacionales o las que se dictaren en el cantón y provincia en el que se encuentran esas actividades. El permiso de descarga, emisiones y vertidos será aplicado a los cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado, al aire y al suelo.

Art. 93.- Vigencia del Permiso.- El permiso de descarga, emisiones y vertidos tendrá una vigencia de dos (2) años. En caso de incumplimiento a las normas técnicas ambientales nacionales o las que se dictaren en el cantón y provincia en el que se encuentran esas actividades, así como a las disposiciones correspondientes, este permiso será revocado o no renovado por la entidad ambiental que lo emitió.

Art. 94.- Otorgamiento de Permisos. - Los permisos de descargas, emisiones y vertidos serán otorgados por la Autoridad Ambiental Nacional, o la institución integrante del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental en su respectivo ámbito de competencias sectoriales o por recurso natural, o la Municipalidad en cuya jurisdicción se genera la descarga, emisión o vertido, siempre que la Autoridad Ambiental Nacional haya descentralizado hacia dicho gobierno local la competencia.

2.6.3 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.

Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua marina 5.2.5.1
Se prohíbe la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a cuerpos de agua salobre y marina, sujetos a la influencia de flujo y reflujo de mareas.

Todas las descargas a cuerpos de agua estuarinos, sin excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de esta norma. Las Municipalidades deberán incluir en sus planes maestros o similares, las consideraciones para el control de la contaminación de este tipo de cuerpos

receptores, por efecto de la escorrentía pluvial urbana.

5.2.5.2 Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina, se efectuarán teniendo en cuenta la capacidad de asimilación del medio receptor y de acuerdo al uso del recurso que se haya fijado para cada zona en particular.

5.2.5.2.1 Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina para zonas del litoral

consideradas de interés turístico y donde se priorice la defensa de la calidad del agua para recreación con contacto primario, deberán ser dispuestas previo tratamiento, mediante emisarios submarinos y en estricto cumplimiento de los límites fijados en la columna B de la tabla 11 de la presente norma, cuyas concentraciones corresponden a valores medios diarios. Para la instalación de emisarios submarinos se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Se aplicará de forma obligatoria y como mínimo, un tratamiento primario antes de la cámara de carga del emisario submarino.

b) Los diseños e instalaciones de los emisarios submarinos que propongan los regulados, serán sometidos a aprobación de la Autoridad Ambiental Nacional y deberán contar con el respectivo proceso de licenciamiento ambiental.

c) Para los sujetos de control que actualmente descargan sus efluentes tratados en la línea de Playa y que por las consideraciones de la presente Norma, deban instalar emisarios submarinos, se concederá un plazo de 12 meses para presentar los respectivos proyectos e iniciar el proceso de licenciamiento ambiental. Una vez aprobado el proyecto y obtenida la Licencia Ambiental se concederá un plazo de dos años para la instalación y puesta en marcha de los mismos. Para nuevos sujetos de control, los proyectos de diseño e instalación de emisarios submarinos deberán contemplarse como parte integral del proceso de obtención de la licencia ambiental

con los plazos que la Autoridad Ambiental Nacional fije en el respectivo Plan de Manejo.

5.2.5.2.2 Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina para sectores no considerados en el artículo 5.2.5.2.1, deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la columna A de la tabla 11 de la presente Norma, cuyas concentraciones corresponden a valores medios diarios.

5.2.5.3 Se prohíbe la descarga en zonas de playa, de aguas de desecho de eviscerado y de todo desecho sólido proveniente de actividades de transformación de peces y mariscos, sean a nivel artesanal o industrial. Las vísceras, conchas y demás residuos sólidos deberán disponerse como tal y las aguas residuales deberán tratarse y disponerse según lo dispuesto en la presente Norma.

5.2.5.4 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos no tratados, provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, hacia los sistemas de alcantarillado, o cuerpos receptores. Se observarán las disposiciones en las normas correspondientes.

5.2.5.5 Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos sólidos y líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte, registrados por la Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos.

2.6.3 Acuerdo Ministerial 068 Reforma de TULSMA.

2.6.4 Acuerdo Ministerial 026 – Registro de Generadores de Desechos Peligrosos, Gestión y Transporte.

2.6.5 Acuerdo Ministerial 142 - Listado de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales.

Capítulo III

Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

El presente trabajo se lo realizó de una manera ordenada, en la cual empleamos teoría, práctica y ganamos experiencia; a través de pruebas y análisis en el equipo piloto.

Para el respectivo análisis del lodo residual, usamos muestras que contienen materia orgánica con un alto porcentaje de humedad debido a la actividad industrial que la genera.

Las muestras fueron tomadas antes de ingresar al sistema de tratamiento de aguas residuales de la Industria.

La metodología que aplicamos en el presente estudio es la siguiente:

- Toma de muestras procedentes del tratamiento Físico - Químico
- Uso del equipo piloto (Espesador de lodos residuales) para las respectivas muestras.
- Determinación de parámetros mediante equipos de laboratorio.
- Análisis de los resultados obtenidos.

3.1.1 Tipos de Enfoques Metodológicos.

Nos enfocamos en realizar pruebas de forma experimental e investigativa, ya que buscamos que este equipo nos otorgue ventajas como reducción de tiempo y costos tanto en el análisis, espesamiento y secado de estos lodos residuales.

3.2 Descripción del Equipo

El equipo utilizado en este estudio fue elaborado de tal manera que permita la visualización del proceso de espesamiento del lodo y la evaluación de este por medio de pruebas de laboratorio. Una ventaja del equipo piloto es su fácil movilización ya que es desmontable.

El equipo está conformado por un tanque acrílico en donde se espesarán los lodos y otro recipiente que recepa el agua clarificada el lodo espesado es descargado a uno eras de secado.

Hay que mencionar además que el equipo posee una propela que mezcla el lodo con el producto químico y un motor que permite su movimiento; por otra parte, el equipo consta de un módulo de control que permite regular la velocidad del motor y el encendido de luces led que facilitarán una mejor apreciación del lodo en el proceso de espesamiento.

3.3 Características del Equipo

Tanque espesador: Este se encarga del proceso de espesamiento y estabilización de lodos gracias a la mezcla de coagulante, floculante, y cal.

La mezcla se realizará por medio de una propela instalada en la parte superior la cual girará gracias a un motor de velocidad regulable.

Este posee una forma cúbica en la parte superior y en su parte inferior piramidal invertida, lo que permite la recolección de los lodos espesados en el fondo de este.

Características del motor:

- Voltaje 110 V
- Revoluciones por minuto 0 – 100 (Regulable)
- Potencia de 0.5 HP



Ilustración 7: Motor rotatorio

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Módulo de control: es un equipo electrónico encargado de regular la velocidad del motor (RPM) y del funcionamiento de las luces led.



Ilustración 8: Módulo de Control

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

3.3.1 Materiales.

Hoja acrílica: es un polímero plástico que se ablanda a altas temperaturas y se endurece a bajas, esto permite darle una forma conveniente, es incoloro, de múltiples usos gracias a su resistencia a impactos y efectos del medio.

Debido a sus diversas propiedades el acrílico es utilizado en cunas, deflectores, acristalamiento, ventanas para barcos entre otras. Entre sus ventajas tenemos:

- Resistencia a la intemperie
- Mayor resistencia al impacto que el vidrio no templado
- No se degrada por efecto de rayos UV
- Permite la transmisión de la luz
- Material liviano (50% el peso del vidrio)
- Fácil limpieza

Cabe mencionar que el acrílico tiene una resistencia limitada a la gasolina, al cloroformo, al ácido acético, entre otros químicos y no resiste el alcohol etílico, la acetona, el ácido sulfúrico, el ácido nítrico, el alcohol metílico, el benceno y el ácido crómico.



Ilustración 9: Recipiente de acrílico para el agua clarificada

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Pegamento de resina: es uno de los pegamentos más fuertes y efectivos en el mercado, es utilizado por la industria debido a su adherencia a diversos materiales como el plástico, el vidrio, el metal, el acrílico, etc. La resina resiste altas temperaturas (hasta 200 °C).

Policarbonato: Este material lo utilizamos para base que sostendrá nuestro equipo piloto, en cuyos bordes tendrá una protección de aluminio.

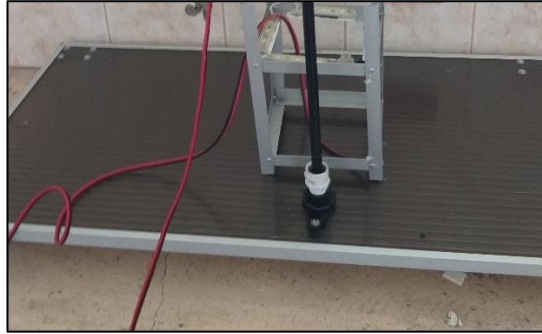


Ilustración 10: Base de Policarbonato

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Tubería pvc de $\varnothing 1\frac{1}{2}$ " : es una pieza cilíndrica que permite transportar fluidos./

Neplo de $\varnothing 1\frac{1}{2}$ ": son piezas cilíndricas con extremos de rosca, utilizadas para la unión de tuberías generalmente del mismo material.

Cinta teflón: es un polímero usado en la gasfitería para impermeabilizar las uniones de tuberías.

Base de aluminio: se utilizará para apoyar el recipiente en donde se espesa el lodo y que este gane altura.



Ilustración 11: Base de Aluminio para el tanque espesador

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Propela de acero: es una pieza formada por álabes montados en forma concéntrica, en el equipo es utilizada para mezclar el lodo con los productos químicos.

Varilla: elemento de hierro utilizado como base para el motor y la propela.



Ilustración 12: Varilla

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Luces Led: elemento de luz blanca que permitirá la iluminación en el tanque para una mejor observación del espesamiento.



Ilustración 13: Luces led

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Malla de aluminio: es una lámina maleable y ligera con pequeñas aberturas que será utilizada en el lecho de secado.

3.4 Costo del Equipo

Tabla 10: Costo del equipo piloto

Materiales	Costo (dólares)
Láminas de Acrílico	60
Pegamento de Resina	10
Tubería Ø½"	2
Codos	1
Neplo de Ø½"	1
Uniones	1
Llaves de paso	4
Cinta Teflón	1
Acero	3
Motor	50
Luces Led	2
Módulo de control	150
Base de Aluminio	1
Malla de aluminio	1
Plancha de Policarbonato	40
Total	\$ 327

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

3.5 Elaboración del equipo

- Se cortan y pegan las láminas acrílicas con resina para formar el recipiente en el cual se llevará a cabo el proceso de mezcla del lodo con el producto químico, así como también se hacen los otros recipientes de la misma manera.

La capacidad del recipiente acrílico será de 4 litros de muestra, sin embargo, en la prueba se utilizaron muestras de 3 litros, es decir el 75% de su máxima capacidad.

- Del mismo modo se elaborará el recipiente que contendrá el agua clarificada, que estará conectado mediante una tubería al recipiente acrílico que contendrá el lodo.

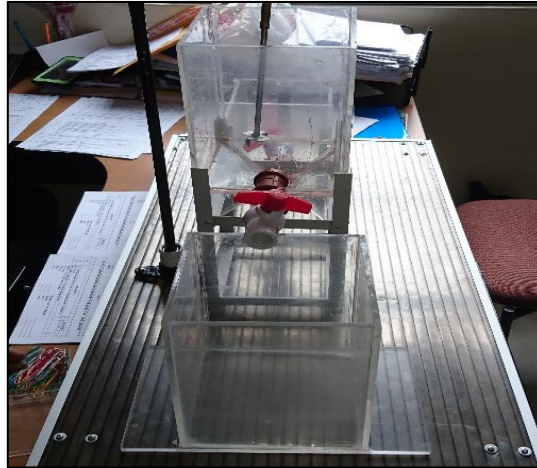


Ilustración 14: Recipientes de acrílico

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

- Se perfora la lámina acrílica para colocar las tuberías y válvulas en los distintos recipientes.



Ilustración 15: Elaboración del lecho de secado

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Para elaborar la era de secado, se colocó capas de arena y grava las cuales fueron divididas por una malla, en el fondo de este recipiente se encuentra una tubería de

media pulgada de diámetro la cual fue perforada para emular la flauta que se encuentra en el fondo de un lecho de secado convencional cuya función es recoger los lixiviados producto del lodo.



Ilustración 16: Colocación del material en la era de secado

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

- Se atornilla la varilla a la base del equipo para colocar el motor y la propela junto al recipiente donde se espesará el lodo residual.



Ilustración 17: Base de la varilla atornillada a la base de policarbonato

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

- Las luces Led se colocan en el borde interno de la base en la que está apoyado el recipiente espesador, las luces fueron impermeabilizadas con resina.

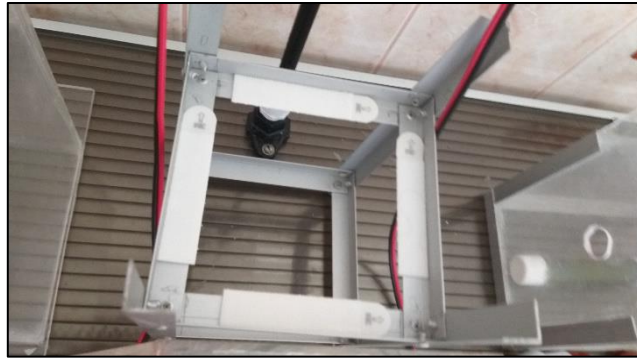


Ilustración 18: Colocación de las luces led.

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

- Se realizan las respectivas conexiones del motor y las luces Led al módulo de control.



Ilustración 19: Conexiones

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

3.6 Equipos de laboratorio y materiales empleados

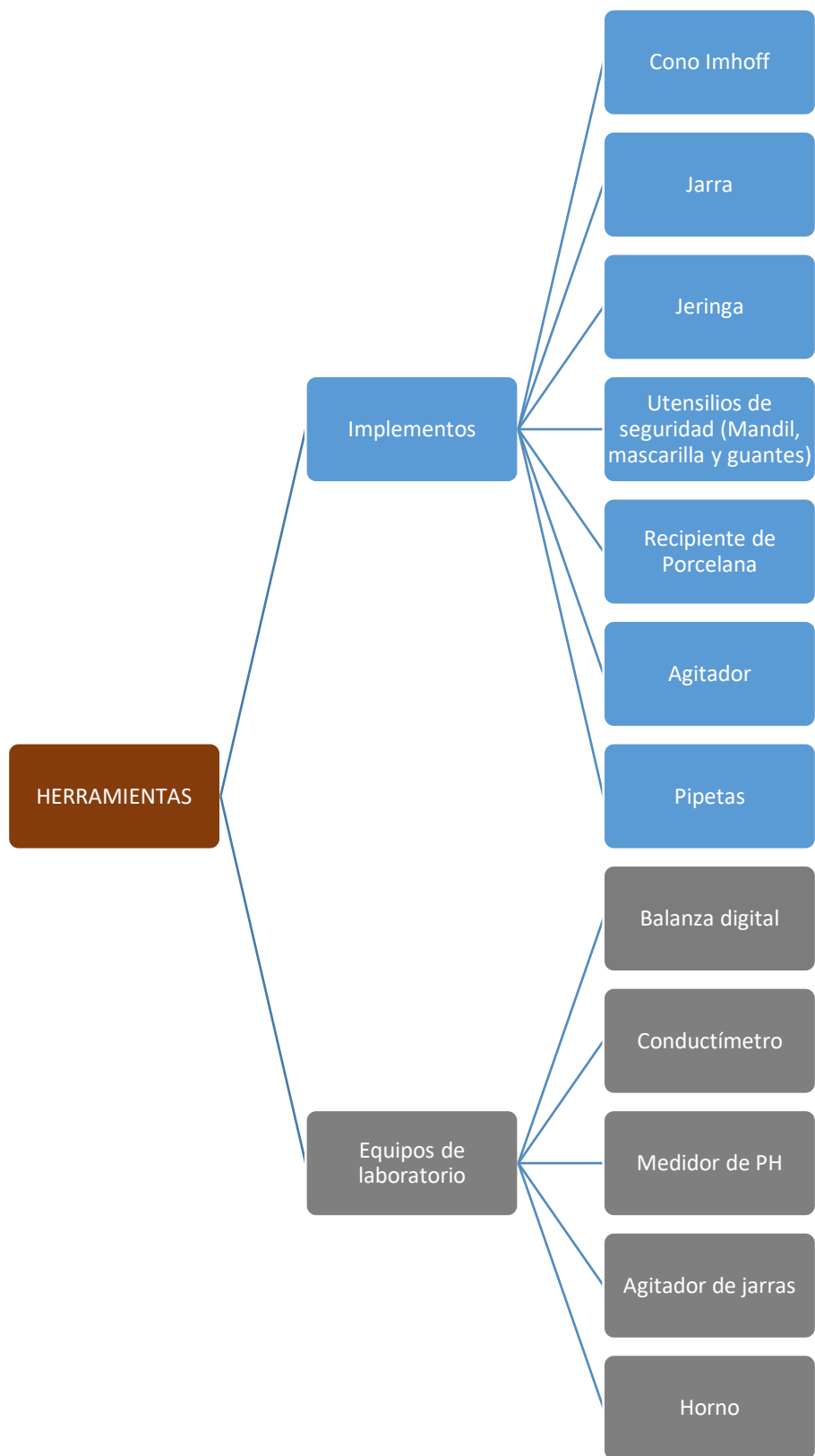


Diagrama 2: Implementos y equipos de laboratorio

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Equipos



Ilustración 20: Medidor de PH

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio



Ilustración 21: Balanza

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio



Ilustración 22: Conductímetro

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio



Ilustración 23: Cono Imhoff
Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio



Ilustración 24: Mufla
Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

3.7 Toma de muestra de Lodos Residuales

La toma de muestras proviene del tratamiento físico – químico, del sedimentador.

3.8 Test de Jarras.

Para realizar el test de Jarras, procedimos a preparar las soluciones de Sulfato de Aluminio, cal y floculante.

Dosificación:

- Sulfato de aluminio 900 ppm
- Cal 900 ppm
- Floculante 20 ppm

Una vez que tengamos las mezclas y el floculante, procedemos a realizar el test de jarras que consiste en encontrar la dosificación necesaria para un óptimo funcionamiento, asimilando el proceso de floculación y coagulación; esta dosis la iremos encontrando vertiendo cantidades de las mezclas y floculantes en 1 litro de muestra.

3.9 Parámetros Determinados

Los parámetros o pruebas que vamos a determinar para la caracterización del lodo van a ser los siguientes:

- Sólidos sedimentables
- Sólidos totales
- Sólidos Volátiles
- pH
- Contenido de humedad.

3.10 Operación del Equipo

- Se coloca la muestra en el espesados capacidad 3 litros. Se aplica las dosis de Coagulante, floculante y cal, a fin de facilitar la precipitación de los sólidos y estabilizar la muestra.

- Se enciende el motor y se regula la velocidad de giro de la propela, con la finalidad de que se presenten las condiciones de mezcla rápida y lenta que se necesitan para el proceso de coagulación y floculación.
- Una vez formados los flóculos se apaga el motor con el objetivo de que estos se asienten en el fondo del recipiente.
- Se abre la llave de paso a fin de conducir el lodo al lecho de secado.
- Se abre la segunda llave de paso con el propósito de conducir el agua clarificada al recipiente que se encuentra junto al del lodo.
- Por último, se abre la tercera llave de paso que se encuentra conectada a la era de secado a fin de recolectar el lixiviado que resulta de la filtración del agua contenida en el lodo a través del lecho.

Capítulo IV

Resultados

4.1 Análisis de Resultados

Para este análisis de resultados tendremos 2 muestras, la muestra #1 será tomada del esperador sin producto químico, es decir el lodo crudo, la muestra #2 será tomada del sedimentador con producto químico.

Los parámetros a evaluarse fueron:

4.1.1 Sólidos Sedimentables.

Los resultados fueron obtenidos mediante el cono en forma Imhoff en el laboratorio.

Muestra # 1



Ilustración 25: Cono en forma Imhoff con la muestra #1

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

Sólidos sedimentables = 800 ml / L

Muestra #2**Ilustración 26:** Cono en forma Imhoff con la muestra #2**Elaboración:** Jácome Jorge - Marín Julio**Sólidos sedimentables = 450 ml / L**

Observación: Se puede observar claramente como el volumen de los sólidos sedimentables se reducen a 350 ml/ L en la segunda muestra.

4.1.2 Sólidos Totales.**Muestra #1****Datos****Peso Cápsula Vacía = 114,2 g = 114200 mg****Peso Cáps. + muestra (103 °C – 105 °C) = 146,7 g = 142600 mg****Volumen de muestra = 185 ml**

$$\text{Sólidos Totales} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-B)}{\text{Vol.Muestra}}$$

$$ST = \frac{(142600 - 114200)}{185}$$

$$ST = 153, 513 \text{ mg/L}$$

Muestra #2**Datos**

Peso Cápsula Vacía = 114,2 g = 114200 mg

Peso Cáp. + muestra (103 °C – 105 °C) = 146,7 g = 146700 mg

Volumen de muestra = 185 ml

$$\text{Sólidos Totales (mg/L)} = \frac{(A-B)}{\text{Vol.Muestra}}$$

$$ST = \frac{(146700-114200)}{185}$$

$$ST = 175,675 \text{ mg/L}$$

Observación: Los sólidos totales de la muestra # 1 sin químico es de 153,513 gr/l y la muestra # 2 con químico es de 175,675 gr/l, lo que nos indica que hay mayor porcentaje de remoción de agua con químico.

4.1.3 Sólidos Volátiles.

Para ello metemos la muestra a la Mufla durante aproximadamente 30 minutos a una temperatura entre (550 °C – 600 °C). y luego se hace el respectivo cálculo.

Muestra #1



Ilustración 27: Cápsula con muestra #2 para sólidos volátiles

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

Datos

Peso muestra después de (550 °C – 600 °C) = 117,4 g = 117400 mg

Peso Cáps. + muestra (103 °C – 105 °C) = 142,6 g = 142600 mg = **Peso Seco**

Volumen de muestra = 185 ml

$$\text{Sólidos Volátiles} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-C)}{\text{Vol.Muestra}}$$

$$SV = \frac{(142600 - 117400)}{185}$$

$$SV = 136,216 \text{ mg/L}$$

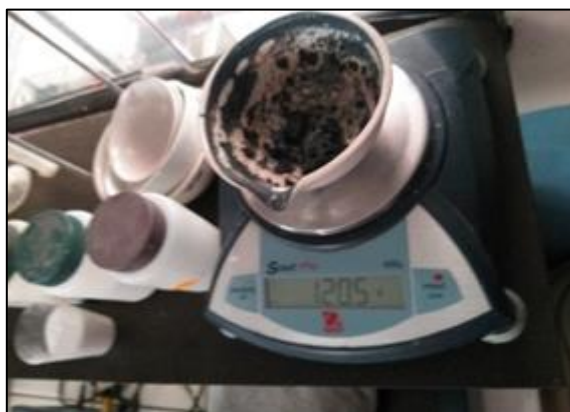
Muestra #2

Ilustración 28: Cápsula con muestra #1 para sólidos volátiles

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

Datos

Peso muestra después de (550 °C – 600 °C) = 120,5 g = 120500 mg

Peso Cáp. + muestra (103 °C – 105 °C) = 146,7 g = 146700 mg = **Peso Seco**

Volumen de muestra = 185 ml

$$\text{Sólidos Volátiles} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-C)}{\text{Vol.Muestra}}$$

$$SV = \frac{(146700 - 120500)}{185}$$

$$SV = 141,621 \text{ mg/L}$$

Observación: a igual manera que los sólidos totales, los sólidos volátiles también aumentaron en la muestra 2.

4.1.4 Contenido de Humedad.

Muestra #1

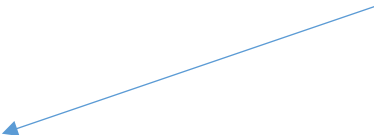
Datos

Peso Cápsula Vacía = 114,2 g A

Peso Cáp. + muestra húmeda = 243,3 g B

Peso Cáp. + muestra seca= 180,2 g C

$$W = \frac{B - C}{C - A} \times 100$$



$$W = \frac{243,3 - 180,2}{180,2 - 114,2} \times 100$$

$$W = 95,61 \%$$

Muestra #2

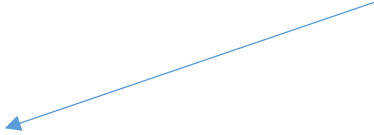
Datos

Peso Cápsula Vacía = 114,2 g A

Peso Cáp. + muestra húmeda = 245,5 g B

Peso Cáp. + muestra seca= 200,9 g C

$$W = \frac{B - C}{C - A} \times 100$$



$$W = \frac{245,5 - 200,9}{200,9 - 114,2} \times 100$$

$$W = 51,44 \%$$

Observación: En la muestra #2 podemos observar menos contenido de humedad que en la muestra #1, pero de igual manera sigue siendo un lodo muy acuoso.

4.1.5 Determinación del PH.

Muestra #1



Ilustración 29: Medidor de PH con la muestra #1

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

En esta muestra obtuvimos el valor por medio de un medidor de PH, se muestra estable.

pH = 6,72

Muestra #2



Ilustración 30: Tiras reactivas para medir el PH de la muestra #2

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

PH= 8

Observación: El pH aumentó un poco debido a la adición de cal que usamos.

Tabla 11:Resultados de los ensayos realizados

	Muestra #1	Muestra #2
Sólidos Sedimentables (ml/L)	800	450
Sólidos Totales (g/L)	153, 513	175,675
Sólidos Volátiles (g/L)	136,216	141,621
Contenido de Humedad %	95,61	51,44
Ph	6,78	8

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

4.1.6 Dosificación del Test de Jarras.

Tabla 12: Test de jarra

JARRA	Sulfato ppm	Cal ppm	Floculante ml
# 1	100	100	10
# 2	200	200	15
# 3	300	300	20

Elaboración: Jácome Jorge - Marín Julio

Observación: En la Jarra # 3 encontramos la dosis óptima para 1 litro de la muestra de lodo, esta dosis deberá ser proyectada para el volumen con el que trabajaremos

en nuestro equipo piloto, en este caso trabajamos con 3 litros, por lo que utilizaremos:

$$\text{Sulfato} = 3\text{ml} \times 3 = 9 \text{ ml}$$

$$\text{Cal} = 3\text{ml} \times 3 = 9 \text{ ml}$$

$$\text{Floculante} = 20 \times 3 = 60 \text{ ml}$$

4.2 Dimensionamiento de un Espesador para 10 m³

Dimensionamiento del tanque espesador con relación al volumen de 10m³

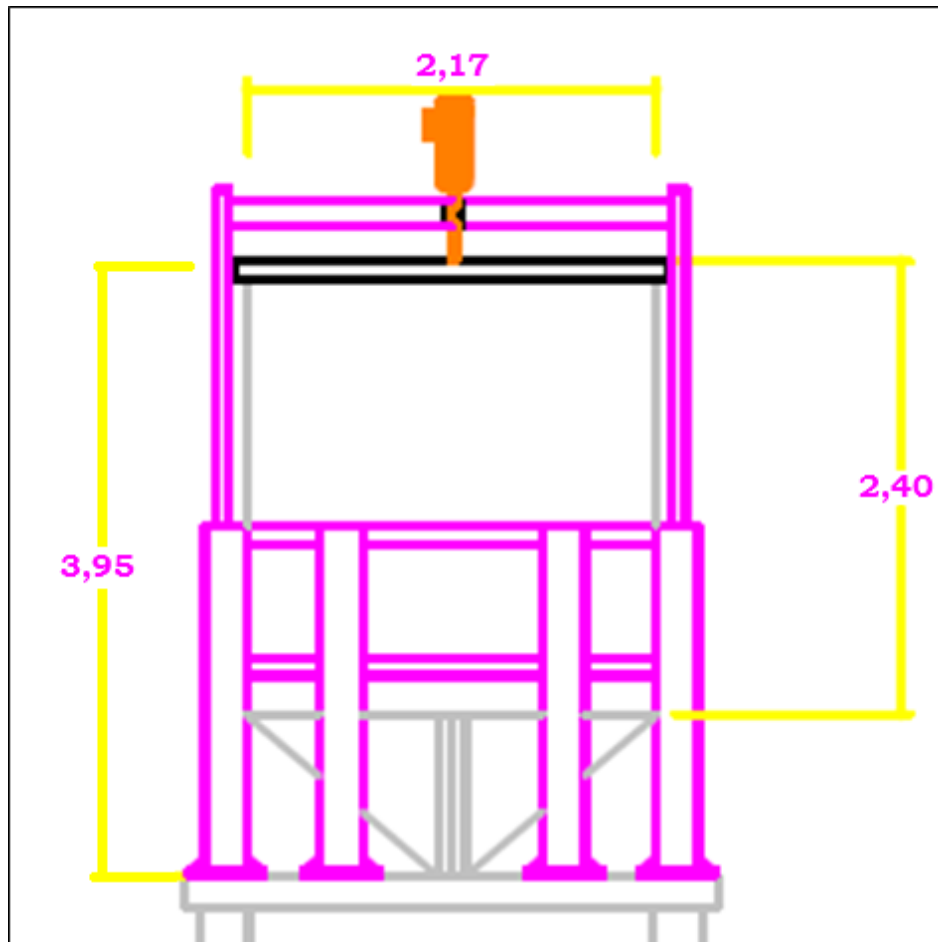


Ilustración 31: Dimensionamiento del tanque espesador

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Volumen del cilindro

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi (1,08) (2,40)$$

$$V = 8,1 \text{ m}^3$$

Volumen del cono

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$V = \frac{1}{3} \pi (1,09)^2 (1,55)$$

$$V = 1,9 \text{ m}^3$$

Sumando los 2 Volúmenes

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = (8,1+1,9) \text{ m}^3$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 10\text{m}^3$$

Este espesador de lodos estará situado en una base metálica de tal manera que la parte superior del tanque quede a 5 metros de altura, para facilitar el conducto de los lodos por las tuberías por medio de la gravedad.

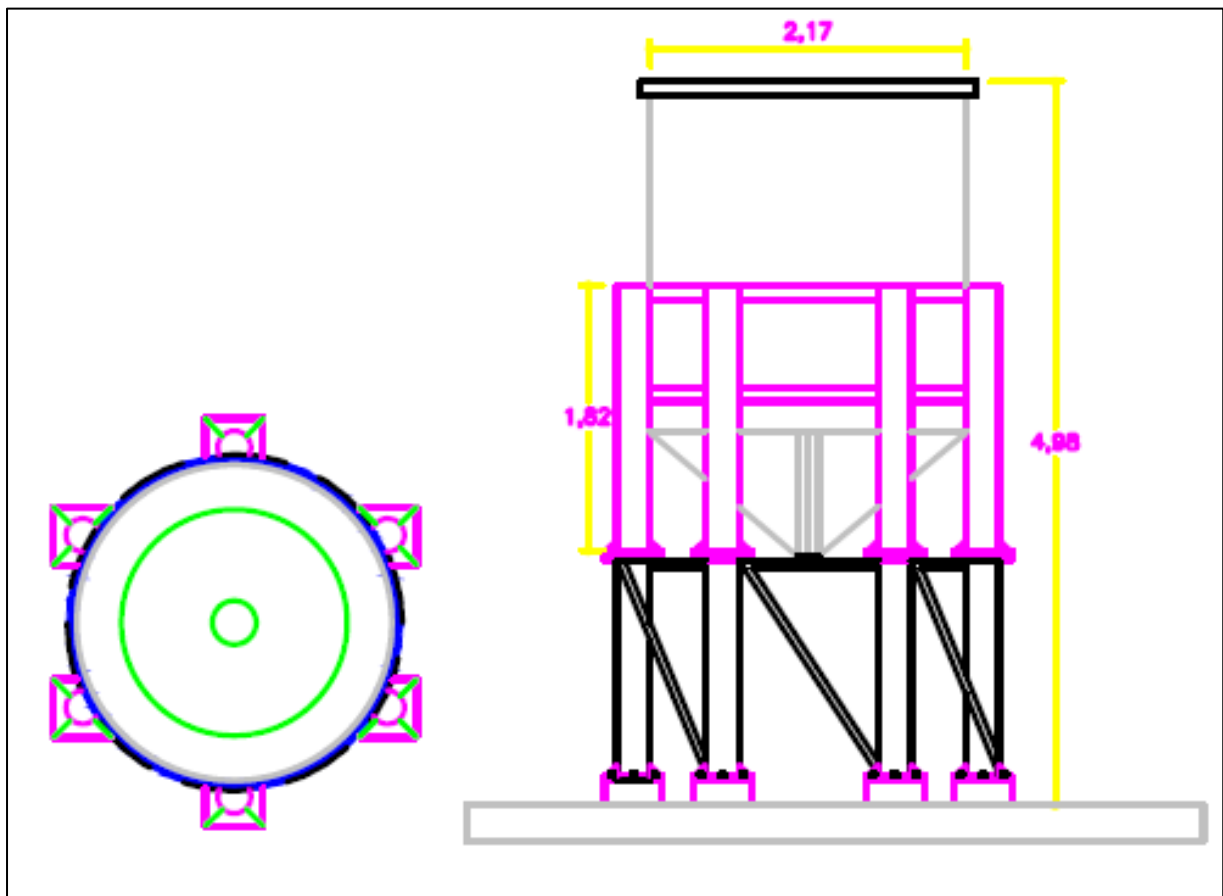


Ilustración 32: Estructura Metálica

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Lechos de secado.

Para el dimensionamiento del lecho filtrante se escogió valores de la norma para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales de la secretaría del agua del Ecuador.

Lecho Filtrante:**Capa de grava:**

- Altura = 0.2 m
- Granulometría: graduada entre 1,6 mm y 51 mm (1/16" – 2").

Capa de arena:

- Altura: 0.16 m
- Granulometría:

Tamaño efectivo: 0.3 mm – 1.3 mm

Coeficiente de uniformidad ≤ 5

Capa del Material Filtrante = 0,20 m Grava + 0,16 m de arena

Capa del Material Filtrante = 0,36m

Espesor de fango líquido: 0,10 – 0,30 m $\leq$ 0.25 m

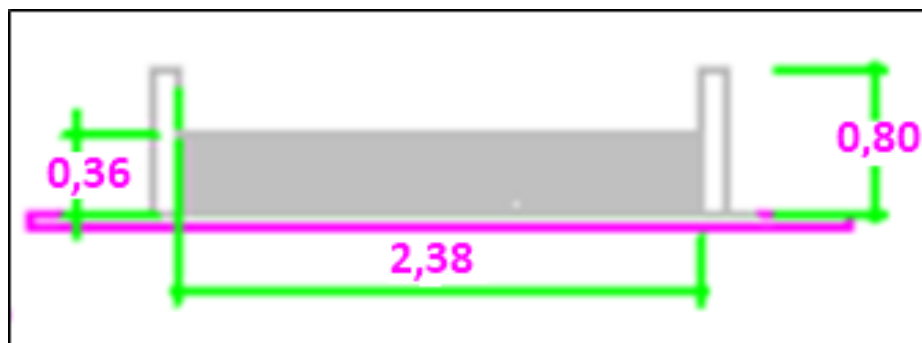


Ilustración 33: Alturas de la Era de Secado

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Dimensionamiento

Para poder abastecer todo el lodo generado, debemos usar 3 lechos o eras de secado cuyas dimensiones son las siguientes:

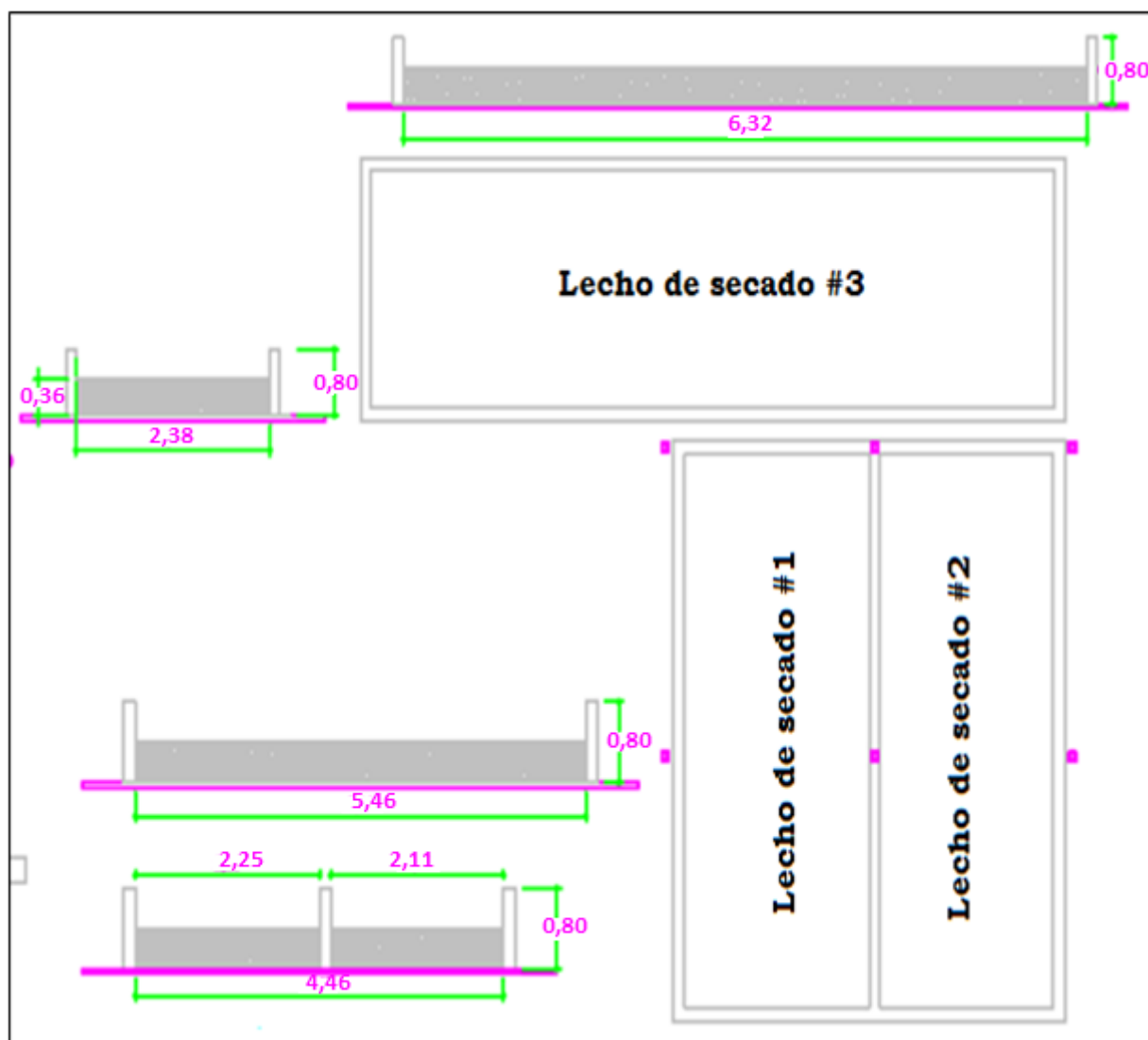


Ilustración 34: Dimensionamiento de los lechos o eras de secado.

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Volumen total de lodo acuoso:

70% = 0,25 m de espesor

100% = X

X = 0,36 m Espesor total.

Área del lecho de secado #1

$A_1 = 2,25 \times 5,46$

$A_1 = 12,285 \text{ m}^2$

Volumen de lodo depositado en el lecho de secado #1

$$V1 = A1 \times 0,36 \text{ m}$$

$$V1 = 12,285 \times 0,36$$

$$V1 = 4,42 \text{ m}^3$$

Área del lecho de secado #2

$$A2 = 2,11 \times 5,46$$

$$A2 = 11,52 \text{ m}^2$$

Volumen de lodo depositado en el lecho de secado #2

$$V2 = A2 \times 0,36 \text{ m}$$

$$V2 = 11,52 \times 0,36$$

$$V2 = 4,15 \text{ m}^3$$

Área del lecho de secado #3

$$A3 = 2,38 \times 6,32$$

$$A3 = 15,042 \text{ m}^2$$

Volumen de lodo depositado en el lecho de secado #3

$$V3 = A3 \times 0,36 \text{ m}$$

$$V3 = 15,04 \times 0,36$$

$$V3 = 5,42 \text{ m}^3$$

La suma de Volúmenes de lodos depositados en los lechos.

$$V1 + V2 + V3 = 14 \text{ m}^3 \text{ (capacidad máxima de lechos de secado).}$$

Altura Total de lecho de secado

H de material filtrante + H de espesor de lodo + 0,09 (Factor de seguridad para evitar rebosamiento)

$$0,36 \text{ m} + 0,35 \text{ m} + 0,09 \text{ m} = 0,8 \text{ m.}$$

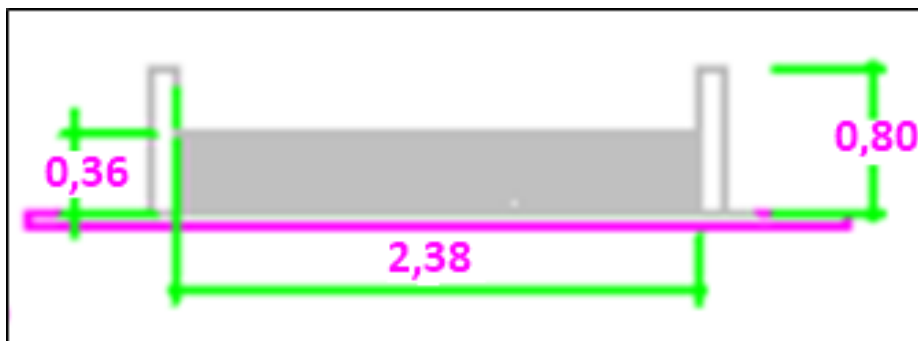


Ilustración 35: Altura final del lecho

Elaboración: Jácome Jorge – Marín Julio

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

De las pruebas realizadas con el equipo espesador piloto de lodos residuales podemos concluir:

- Se determinó el aumento de pH del lodo antes y después de la aplicación de la dosis de químicos.
- En las pruebas realizadas en el equipo piloto se determinó que puede llegar a extraer del 40% al 45% de agua contenida en los lodos residuales en un proceso de 15 a 20 minutos de duración.
- Una vez realizado el dimensionamiento para 10m³, se determinó que la cantidad de lodo a verter en los lechos de secado es del 55% y el 45% es agua.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda determinar la dosis óptima del producto para un mejor espesamiento. Realizar pruebas con otro tipo de producto químico para aumentar su porcentaje de remoción.
- Proyectar este modelo piloto para un sistema de 10 toneladas de lodo acuoso y determinar su funcionabilidad.
- Una vez utilizado el equipo se recomienda separar y limpiar cada una de sus partes para evitar la degradación de este, también se debe evitar el contacto del agua o lodo con el módulo de control.

Bibliografía

- Arriols, E. (6 de Agosto de 2018). Ecología verde. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Arriols, E. (6 de Agosto de 2018). Ecología Verde. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Baeza, J. (s.f.). REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/jaume-baeza.pdf>
- Barba Ho, L. E. (2002). CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. Santiago de Cali.
- Borrás, C. (30 de Julio de 2018). Ecología verde. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/>
- Builes Blandon, S. (2010). TRATAMIENTO Y ADECUADA DISPOSICION DE LODOS DOMESTICOS E INDUSTRIALES. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1835/62839B932.pdf?sequence=1>
- Cardoso Vigueros, L., & Ramírez González, A. (2000). Serie autodidáctica de la medición de la calidad del agua, segunda parte, identificación de sistemas de tratamiento de lodos residuales. México. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-lodos/>
- Chamorro, J. (s.f.). iagua. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/depuracion-principiantes-ix-ii-deshidratacion-fangos-filtros-banda>
- Farias de Marquez, B. (12 de Septiembre de 2016). iagua. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- Ficosterra. (23 de Abril de 2018). Obtenido de <https://www.ficosterra.com/novedades/compostaje-de-lodos-en-depuradoras>

- Garcés Arancibia, F., Díaz Aguirre, J. C., & Dellepiane Navarro, O. M. (2009). ACONDICIONAMIENTO DE LODOS PRODUCIDOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. Santiago - Chile. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>
- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). Ingeniería Ambiental. México.
- Gonzales, G., & Prado, L. (2018). ELABORACION DE EQUIPO PILOTO A ESCALA PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y LA EFICIENCIA DEL METODO. Guayaquil.
- González Granados, I. (2015). GENERACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LODOS DE EDAR (Tesis Doctoral). Córdoba. Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13199/2016000001232.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- González, G. A., & Prado, L. (2019). Elaboración de equipo piloto escala para el tratamiento de lodos residuales para determinar el porcentaje de humedad y la eficiencia del método (Tesis). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Gracia Astillero, A. (6 de Agosto de 2018). Ecología Verde. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-1448.html>
- Idrovo, M. A. (2018). Estudio de tratabilidad de los lodos residuales de la industria cartonera (Tesis). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Industry, D. (s.f.). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/ertelalsop/product-69798-561120.html>
- Limón, J. G. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Guadalajara, Jalisco.
- Morales Rojo, P. M. (2005). Digestión anaerobia de lodos de plantas de tratamiento de aguas y su aprovechamiento (Tesis). Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla.
- Pérez, M. E. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB) (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Quiminet. (30 de Enero de 2008). Quiminet.com. Obtenido de

<https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm>

R.S., r. (1990).

Rivas Romero, S., & Rómulo Rodríguez, A. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. 173-183. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq02217.pdf>

S.A.S., F. y. (Octubre de 2018). Fibras y Normas de Colombia S.A.S. Obtenido de <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/aguas-residuales-clasificacion-y-caracteristicas/>

Tejeda, L., Villabona, A., & Tejada, C. (2008). Aprovechamiento de lodos de aguas residuales. TEKNOS, 5-10.

Trejos, M., & Agudelo, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa "comestibles la rosa" como alternativa para la generación de biosólidos (Tesis). Universidad tecnológica de Pereira, Pereira.

Usal, C. (s.f.). Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/CURSO/UNI_08/u8c5s8.htm

Yanguas Sáenz, J. (2016-2017). Optimización en el proceso de depuración de aguas Residuales (Tesis). Universidad de la Rioja, Logroño. Obtenido de https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002773.pdf

ANEXOS

ANEXOS A: TANQUE DE TINTA



ANEXOS B: LECHOS DE SECADO



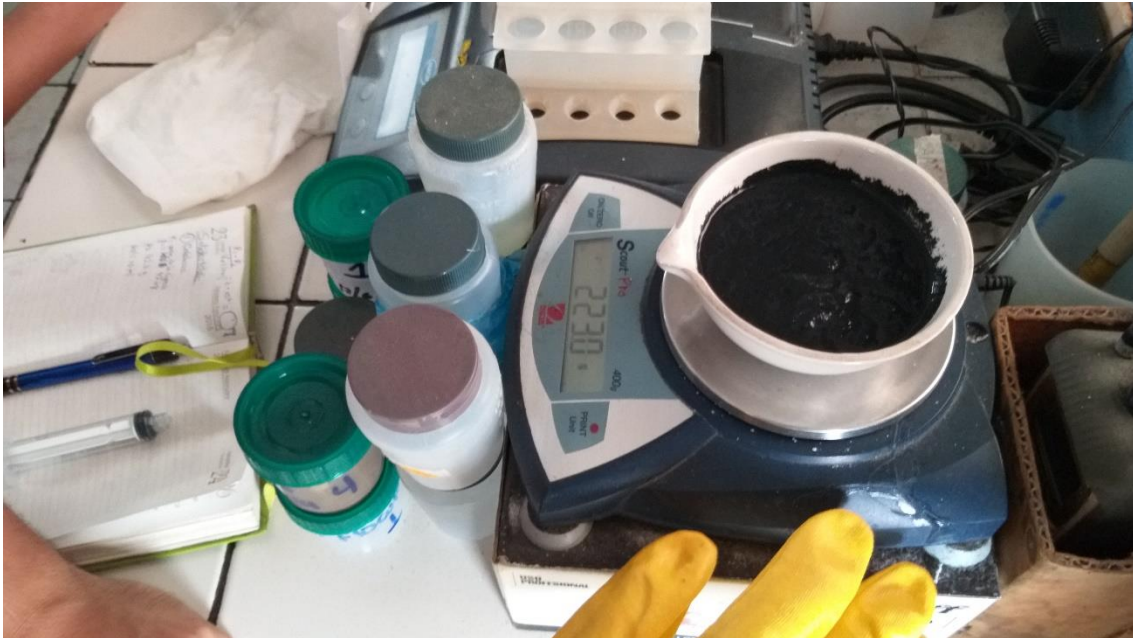


ANEXOS C: CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO PILOTO





ANEXOS D: PREPARACION DE MUESTRA DE LODO



ANEXOS E: COAGULANTE, FLOCULANTE Y CAL AGREGADOS AL LODO



ANEXOS F: MEDICION DE PH



ANEXOS G: TEST DE JARRA



ANEXOS H: MUESTRA DE LODO INGRESADA A LA MUFLA



ANEXOS H: MUESTRA RESULTANTE DE LA MUFLA



ANEXOS I: EQUIPO ESPESADOR PILOTO EN FUNCIONAMIENTO



ANEXOS J: RESULTADOS DE PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN CRETIB DE LODOS RESIDUALES.

Tabla 1. PARÁMETROS EN EXTRACCIÓN ACUOSA

Parámetros	Unidades	Resultados	U k=2 ±	**Límite máximo permisible	Método de análisis
Potencial de Hidrógeno	U pH	7,7	5%	>2 <12,5	PEE/LABPSI/75
Velocidad de Corrosion (Corrosividad) *	mm/año	No corrosivo	10%	6,35	NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT- 2005

Tabla 2. REACTIVIDAD

Reaccion con Acido (Reactividad) *	---	No reacciona	---	No reacciona	NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT- 2005,
Reaccion con agua (Reactividad) *	---	No reacciona	---	No reacciona	
Reaccion con Alkali (Reactividad) *	---	No reacciona	---	No reacciona	
Generacion de H2S (Reactividad) *	mg/Kg	No reacciona	---	500 H ₂ S	
Generacion con HCN (Reactividad) *	mg/Kg	No reacciona	---	250 HCN	

Los ensayos marcados con () no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. (a) Fuera del rango de acreditación. U: Incertidumbre.

**Límites permisibles para análisis de lodos provenientes de plantas de tratamiento residuales industriales. Matriz de reporte anual de Monitoreos Ambientales.

Tabla 3. INFLAMABILIDAD

Parámetros	Unidades	Resultados	U k=2 ±	**Límite máximo permisible	Método de análisis
Punto de inflamacion si es liquido (Inflamabilidad) ♦	°C	No Inflamable	---	>60	EPA 1010

Tabla 4. TOXICIDAD

Metales en Lixiviados

Arsénico °	mg/l	<0,005	28%	5	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Bario °	mg/l	0,35	28%	100	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Cadmio °	mg/l	<0,001	28%	1	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Mercurio °	mg/l	<0,001	28%	0,2	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Niquel °	mg/l	<0,01	28%	5	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Plata °	mg/l	<0,001	28%	5	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Plomo °	mg/l	<0,005	28%	5	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Selenio °	mg/l	<0,01	28%	1	EPA 60220 B/MM-AG/S-39
Cromo Hexavalente °	mg/l	<0,02	30%	5	EPA 3060 A/7196 A/MM- AG-38

Los ensayos marcados con () no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. (a) Fuera del rango de acreditación. U: Incertidumbre.

**Límites permisibles para análisis de lodos provenientes de plantas de tratamiento residuales industriales. Matriz de reporte anual de Monitoreos Ambientales.

Tabla 5. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Parámetros		Unidades	Resultados	U k=2 ±	**Límite máximo permisible	Método de análisis
Coliformes Fecales	++	NMP/g	920	---	<2 x10 ⁶	INSP-LAB-SOP-107/SM 9221B
Huevos parásitos (cuantitativos)	ooo	----	Ausencia/g	---	15/g	Método Richie
Salmonellas	ooo	---	No Detectable/ 25g	---	1000/g	BAM 2018 - CAPÍTULO 5

Tabla 6. PESTICIDAS ORGANOCLORADOS

a-BHC	°	mg/l	<0,0001	22%	0,13	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
a-Chlordane	°	mg/l	<0,0001	22%	0,03	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
b-BHC	°	mg/l	<0,0001	22%	0,13	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
d-BHC	°	mg/l	<0,0001	22%	0,13	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
Endrin	°	mg/l	<0,0001	22%	0,02	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27

Los ensayos marcados con () no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. (a) Fuera del rango de acreditación. U: Incertidumbre.

**Límites permisibles para análisis de lodos provenientes de plantas de tratamiento residuales industriales. Matriz de reporte anual de Monitoreos Ambientales.

Tabla 6. PESTICIDAS ORGANOCLORADOS

Parámetros		Unidades	Resultados	U k=2 ±	**Límite máximo permisible	Método de análisis
g-BHC	°	mg/l	<0,0001	22%	0,4	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
g-Chlordane	°	mg/l	<0,0001	22%	0,03	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
Heptaclor	°	mg/l	<0,0001	22%	0,008	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
Heptaclor epoxido	°	mg/l	<0,0001	22%	0,008	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27
Methoxychlor	°	mg/l	<0,0001	22%	10	EPA 8270 D/MM-AG/S/EG-27

Los ensayos marcados con () no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. (a) Fuera del rango de acreditación. U: Incertidumbre.

**Límites permisibles para análisis de lodos provenientes de plantas de tratamiento residuales industriales. Matriz de reporte anual de Monitoreos Ambientales.

◆ Los resultados marcados no forman parte del alcance de acreditación de OAE LE 2C 05-007, su competencia para la ejecución del este ensayo ha sido evaluado mediante el procedimiento interno MC 5.3.1 de LAB PSI

ooo Los resultados marcados no forman parte del alcance de acreditación de OAE LE C 08-001, su competencia para la ejecución del este ensayo ha sido evaluado mediante el procedimiento interno MC 5.3.1 de LAB PSI

++ Los resultados marcados no forman parte del alcance de acreditación de OAE LE C 07-006, su competencia para la ejecución del este ensayo ha sido evaluado mediante el procedimiento interno MC 5.3.1 de LAB PSI

⁽¹⁾ **Interpretación de Resultados:** De acuerdo a lo establecido en la normativa ambiental vigente en el país, los resultados de la muestra analizada "Cumple" con los límites máximos permisibles.

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS / TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Construcción de un Espesador Piloto de Lodos Residuales a Escala		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Jácome Arévalo Jorge Emanuel Marín Riquero Julio César		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Armando Saltos , M.Sc Ing. Judith Chalén Medina, M.Sc		
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:			
FECHA DE PUBLICACIÓN:	2019	No. DE PÁGINAS:	64
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tratamiento de lodos Industriales		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	<LODOS RESIDUALES – ESPESADOR – EQUIPO – LECHOS FILTRANTES>		
RESUMEN/ABSTRACT: Los lodos residuales son residuos, producto de los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales en las plantas de tratamiento. A fin de mitigar el impacto ambiental en la actualidad; se busca reducir y depurar estos desechos sólidos buscando una alternativa económica y de fácil manejo, cabe señalar, que los lodos residuales son desechos que deben ser estabilizados y secados antes de su disposición final. En el presente trabajo se analiza el proceso de espesado de lodos por medio de un equipo piloto construido con fines didácticos, el cual permitirá evidenciar la reducción del volumen de agua en los lodos. A su vez el equipo permitirá analizar la eficiencia del método y las características del lodo antes y después del espesado a partir de indicadores como el pH, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos volátiles, y contenido de humedad. Los datos resultantes fueron confrontados con parámetros establecidos en las normas vigentes y según las características CRETIB que están dadas en el apartado 261 de la EPA o en la normativa de residuos peligrosos de México. De esta manera se determina si el lodo es o no un residuo peligroso.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0994732301 0960780797		E-mail: joriare_litio@hotmail.com juliocse-96@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS Teléfono: 2-283348 E-mail: fcmf@ug.edu.ec		

Quito: Av. Whymper E7-37 y Alpallana, edificio Delfos, teléfonos (593-2) 2505660/ 1; y en la Av. 9 de octubre 624 y Carrión, Edificio Prometeo, teléfonos 2569898/ 9. Fax: (593 2) 2509054