



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE LA CELDA EMERGENTE DE PORLÓN DEL CANTÓN RIOBAMBA”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: LUPE CECILIA GUALANCAÑAY GUALANCAÑAY

DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba - Ecuador

2019

©2019, Lupe Cecilia Gualancañay Gualancañay.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de los Autores.

Yo, LUPE CECILIA GUALANCAÑAY GUALANCAÑAY, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor (a) asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de junio de 2019

LUPE CECILIA GUALANCAÑAY GUALANCAÑAY

160042033-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación tipo proyecto técnico: “**Optimización del sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de Porlón del Cantón Riobamba**”, de responsabilidad de la señorita **Lupe Cecilia Gualancañay Gualancañay**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedada autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Le doy gracias a Dios por la: vida, salud, mi familia y amigos; por estar conmigo en todo momento de mi vida. Dedico el presente trabajo con todo el cariño y el más profundo respeto a mis queridos y amados padres: Ángel y Juana. Quienes supieron apoyarme positivamente a base de sacrificio y esfuerzo, hasta la culminación de este trabajo. A mis queridas hermanas: Transito, Luz, Ana y Victoria, por sus motivaciones desmedidas. En especial a mi apreciado hermano Adolfo, que nuestro Padre Dios lo tenga en su presencia, en honor a su memoria: “Lo he cumplido, querido hermano”.

Lupe Cecilia Gualancañay Gualancañay

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo. Al departamento de GESTIÓN AMBIENTAL SALUBRIDAD E HIGIENE DEL GADMR por permitirme realizar mi trabajo de titulación en sus instalaciones. A la Dr. Gina Álvarez por: el apoyo, conocimiento, paciencia y tiempo, empleado en el desarrollo del tema. Especialmente a la ingeniera. Mayra Zambrano, mi Directora, quién supo brindarme orientación en el tiempo de realización de mi tesis. De igual manera al ingeniero Marco Chuiza que gracias a apoyo, pude culminar con el presente trabajo.

Lupe Cecilia Gualancañay Gualancañay

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 Identificación del problema	3
1.2 Justificación del proyecto	4
1.3 Línea base del proyecto	5
<i>1.3.1 Marco conceptual</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1.1 Celda emergente</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1.2 Lixiviado</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1.3 Sistema de tratamiento de agua</i>	<i>7</i>
<i>1.3.1.4 Biodegradabilidad de agua contaminada</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.5 Reconocimiento del lugar de investigación</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.6 Estado del proceso</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.7 Normativas y técnicas</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.8 Métodos de caracterización agua residual</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.9 Medidas de caudal y otros parámetros</i>	<i>13</i>
<i>1.3.1.10 Dimensiones de instalaciones de tratamiento</i>	<i>14</i>
<i>1.3.1.11 Proceso de optimización</i>	<i>14</i>
1.4 Beneficios directos e indirectos	14
<i>1.4.1 Directos</i>	<i>14</i>
<i>1.4.2 Indirectos</i>	<i>14</i>
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
2.1 Objetivo General	15
2.2 Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO	16
3.1 Localización del proyecto	16
3.2 Ingeniería del proyecto	16
<i>3.2.1 Tipo de estudio</i>	<i>16</i>

3.2.2	<i>Metodología</i>	17
3.2.3	<i>Métodos y técnicas</i>	18
3.2.3.1	<i>Métodos</i>	18
3.2.3.2	<i>Técnicas</i>	18
3.2.4	<i>Estudio del funcionamiento del proceso</i>	26
3.2.4.1	<i>Esquema operativo de la planta</i>	26
3.2.4.2	<i>Operación de sedimentación</i>	30
3.2.4.3	<i>Operación de digestión anaerobia</i>	38
3.2.4.4	<i>Operación de biodigestión aerobia</i>	39
3.2.4.5	<i>Operación de fitorremediación</i>	41
3.2.4.6	<i>Estudio de la operación de pos tratamiento</i>	42
3.2.5	<i>Análisis experimental del proceso</i>	43
3.2.5.1	<i>Planteamiento de propuesta de mejora para tratamiento primario</i>	43
3.2.5.2	<i>Planteamiento de propuesta de mejora para tratamiento biológico aerobio</i>	57
3.2.5.3	<i>Planteamiento de método para la reducción de DQO.</i>	60
3.2.5.4	<i>Resumen del procedimiento experimental</i>	63
3.2.6	<i>Propuesta para optimización</i>	66
3.2.6.1	<i>Esquema de planta</i>	66
3.2.6.2	<i>Diseño de laguna de aireación (EP-001)</i>	68
3.2.6.3	<i>Dimensionamiento de tanques mezcladores (EP-002, EP-003, EP-004)</i>	70
3.2.6.4	<i>Dimensionamiento de Floculador (EP-005)</i>	71
3.2.6.5	<i>Dimensionamiento de sedimentador (EP-006)</i>	73
3.2.6.6	<i>Dimensionamiento de filtro (EP-011)</i>	74
3.2.7	<i>Análisis de costo/beneficio del proyecto</i>	78
3.2.7.1	<i>Financiamiento de la propuesta</i>	78
3.2.7.2	<i>Financiamiento del proyecto de tesis</i>	80
3.2.8	<i>Cronograma de actividades</i>	81
3.2.9	<i>Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria</i>	82
3.3	Análisis de resultados	83
3.3.1	<i>Análisis de resultados experimentales</i>	83
3.3.2	<i>Análisis de resultados de dimensionamiento</i>	86
	CONCLUSIONES	88
	RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Diferencias entre lixiviado joven y viejo.	7
Tabla 2-1	Fechas de muestreo.	10
Tabla 3-1	Parámetros físicos comunes en análisis de agua.	11
Tabla 4-1	Parámetros químicos comunes en análisis de agua.	11
Tabla 5-1	Parámetros químicos relacionados con la carga orgánica en agua residual.	12
Tabla 6-1	Parámetros biológicos comunes en análisis de agua.	13
Tabla 1-3	Procedimiento para muestreo de lixiviado.	19
Tabla 2-3	Procedimiento para determinación de perfil de sólidos.	20-21
Tabla 3-3	Procedimiento para determinación de DQO.	22
Tabla 4-3	Procedimiento para determinación de DBO ₅ .	23
Tabla 5-3	Procedimiento para determinación de pH, conductividad, sólidos disueltos.	24
Tabla 6-3	Procedimiento para determinación de color, sólidos suspendidos.	25
Tabla 7-3	Procedimiento para determinación de turbidez.	26
Tabla 8-3	Clasificación de las operaciones instaladas en bloques de operaciones estándar.	30
Tabla 9-3	Datos de caudal tomados por el personal, del período Mayo-Octubre 2018.	33
Tabla 10-3	Resultados de análisis de datos con ImageJ .	37
Tabla 11-3	Resultados de análisis de sólidos para entrada (E) y salida (S) del efluente del sedimentador.	39
Tabla 12-3	Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato férrico.	45
Tabla 13-3	Resultados de análisis de laboratorio para Cloruro férrico.	46
Tabla 14-3	Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato de aluminio.	47
Tabla 15-3	Resultados de análisis de laboratorio para Poli cloruro de aluminio.	48
Tabla 16-3	Resultados de análisis de laboratorio para mezclas PAC/Sulfato de aluminio.	48
Tabla 17-3	Resultados de análisis de laboratorio para mezclas 20/20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.	49
Tabla 18-3	Resultados de análisis del efecto del pH, V=10 mL.	53
Tabla 19-3	Resultados de análisis del efecto del pH, V= (4:2:10) mL.	53
Tabla 20-3	Resultados de análisis del efecto del pH, V= (10:5:25) mL.	54

Tabla 21-3	Resultados de análisis de prueba combinada 10/10 PAC/ASL	55
Tabla 22-3	Resultados de análisis de prueba combinada 10/10 PAC/ASL	61
Tabla 23-3	Resultados de dimensionamiento de laguna de aireación.	70
Tabla 24-3	Resultados de dimensionamiento de tanques mezcladores de reactivos.	71
Tabla 25-3	Resultados de dimensionamiento de filtro descendente.	76
Tabla 26-3	Presupuesto por compra de reactivos anual.	79
Tabla 27-3	Presupuesto para equipos y maquinaria.	79
Tabla 28-3	Presupuesto para obra civil y adecuación de instalaciones.	80
Tabla 29-3	Presupuesto para mano de obra.	80
Tabla 30-3	Balance general de la propuesta.	80
Tabla 31-3	Presupuesto del proyecto de tesis.	81
Tabla 32-3	Resumen del presupuesto	81
Tabla 33-3	Cronograma del proyecto.	82
Tabla 34-3	Materiales, equipos y reactivos usados en el análisis de laboratorio del lixiviado crudo y tratado.	83
Tabla 35-3	Reactivos utilizados para el tratamiento del lixiviado por procedimiento realizado.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3	Diagrama de diseño propuesta inicial para la planta de tratamiento de lixiviados.	27
Figura 2-3	Diagrama de proceso modificado por GADM Riobamba de la planta de tratamiento de lixiviados.	28
Figura 3-3	Diagrama del proceso en funcionamiento de la planta de tratamiento de lixiviados.	28
Figura 4-3	Diagrama de operaciones instaladas en la planta de tratamiento de lixiviados.	29
Figura 5-3	Sedimentador de la planta de tratamiento de lixiviados, según planos de diseño.	32
Figura 6-3	Plano de sedimentador con cotas medidas en (mm).	32
Figura 7-3	Vista de corte de plano de sedimentador.	34
Figura 8-3	Fotografías e imágenes procesadas por ImageJ.	36-37
Figura 9-3	Resultados de cálculo iterativo de velocidad de sedimentación, Microsoft Excel.	38
Figura 10-3	Resultados de análisis de laboratorio para efluentes y afluentes del proceso de biodigestión anaerobia.	41
Figura 11-3	Planos para laguna de aireación propuesta por el estudio de diseño.	41
Figura 12-3	Esquema de alternativa 1 y 2, propuestas para optimizar los parámetros de calidad de los lixiviados tratados.	44
Figura 13-3	Esquema de las alternativas planteadas para el tratamiento de sólidos del lixiviado de la planta “El Porlón”.	52
Figura 14-3	Esquema con resultados de laboratorio para alternativa 1 de tratamiento primario.	55
Figura 15-3	Esquema con resultados de laboratorio para alternativa 2 de tratamiento primario.	56
Figura 16-3	Esquema con resultados de balance de masa y económico para alternativa 1 de tratamiento primario.	57
Figura 17-3	Esquema con resultados de balance de masa y económico para alternativa 2 de tratamiento primario.	58
Figura 18-3	Esquemas de las alternativas 2 y 3.	62
Figura 19-3	Esquema con resultados de la alternativa 3.	62
Figura 20-3	Esquema con resultados del segundo tratamiento de sedimentación química.	63
Figura 21-3	Esquema con resultados del tratamiento de fitorremediación.	63
Figura 22-3	Esquema con resultados del tercer tratamiento de fitorremediación.	64
Figura 23-3	Esquema con resultados del tercer tratamiento de filtración.	64
Figura 24-3	Esquema del procedimiento realizado para el tratamiento del lixiviado.	65
Figura 25-3	Esquema de la propuesta de tratamiento para optimización del proceso.	66
Figura 26-3	Diagrama de proceso de propuesta de optimización del tratamiento de lixiviado.	68
Figura 27-3	Diagrama de variables para diseño de laguna de aireación.	69
Figura 28-3	Diagrama de planta completa planteada para mejorar parámetros del lixiviado.	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato férrico.	46
Gráfico 2-3	Resultados de análisis de laboratorio para Cloruro férrico.	46
Gráfico 3-3	Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato de aluminio.	47
Gráfico 4-3	Resultados de análisis de laboratorio para Poli cloruro de aluminio.	48
Gráfico 5-3	Resultados de análisis de laboratorio combinadas PAC/ASL.	49
Gráfico 6-3	Resultados de análisis de laboratorio para Turbidez, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.	50
Gráfico 7-3	Resultados de análisis de laboratorio para SST, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.	50
Gráfico 8-3	Resultados de análisis de laboratorio para Color, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de Ph	51
Gráfico 9-3	Resultados de análisis de laboratorio para DQO, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.	51
Gráfico 10-3	Resultados de análisis de laboratorio para efectos del pH para dosificación de $Al_2(SO_4)_3$, $V=10mL$.	53
Gráfico 11-3	Resultados de análisis de laboratorio para efectos del pH para dosificación de $Al_2(SO_4)_3$, $V= (4:2:10) mL$.	54
Gráfico 12-3	Resultados de análisis de laboratorio para efectos del pH para dosificación de $Al_2(SO_4)_3$, $V= (10:5:25) mL$.	54

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-3	Localización del proyecto.	16
Fotografía 2-3	Tanque decantador.	31
Fotografía 3-3	Piscina de aireación, tratamiento biológico del sistema de tratamiento de lixiviados del celda emergente “El Porlón”.	40
Fotografía 4-3	Disposición de lagunas de fitorremediación.	43
Fotografía 5-3	Aireación para muestra cruda de lixiviado, sin tratamiento previo de eliminación de sólido.	59
Fotografía 6-3	Aireación para muestra cruda de lixiviado, para realizar prueba de tratamiento de sólidos “alternativa 2”.	60
Fotografía 7-3	Aireación para muestra cruda de lixiviado, con tratamiento de sólidos “alternativa 1”.	60

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Fotografías de las lagunas de aireación, tormenta y fitorremediación.
ANEXO B	Fotografías de laguna de aireación y fitorremediación en mantenimiento.
ANEXO C	Proceso de toma de muestras.
ANEXO D	Análisis de sólidos sedimentables.
ANEXO E	Análisis de sólidos y pruebas de jarras.
ANEXO F	Pruebas de trazabilidad clarificación.
ANEXO G	Aireación primaria primera prueba.
ANEXO H	Aireación secundaria primera prueba.
ANEXO I	Aireación secundaria resultados.
ANEXO J	Aireación secundaria sin ajuste de pH.
ANEXO K	Prototipo para fitorremediación.
ANEXO L	Crecimiento de totoras.
ANEXO M	Nutrientes para plantas acuáticas.
ANEXO N	Proceso de filtración.
ANEXO O	Plano de laguna de aireación.
ANEXO P	Planos de tanques de dosificación y mezclado.
ANEXO Q	Plano floculador.
ANEXO R	Plano sedimentador y filtro.
ANEXO S	Resultados de análisis de laboratorio lixiviado crudo.
ANEXO T	Resultados de análisis de laboratorio lixiviado tratado
ANEXO U	Cotización de reactivos químicos
ANEXO V	Selección de compresor de catálogo
ANEXO W	Tablas para diseño de floculador y sedimentador. Kerry J Howe. Principios de tratamiento de agua.

RESUMEN

El estudio para Optimizar el sistema de tratamiento de lixiviados en la celda emergente de Porlón del Cantón Riobamba, se realizó en tres etapas. La primera fue el análisis del sistema de tratamiento, sus operaciones y procesos, evidenciándose que no tiene un proceso de tratamiento de lodos y tratamiento primario químico para remoción de sólidos, también se realizó una recirculación del lixiviado. La segunda fue la caracterización físico-químico y microbiológico del lixiviado, dando como resultado la DQO en un rango de 12000 – 15000 mg/L; DBO5 en el rango de 5000-6000 mg/L; Sólidos disueltos de 17000 mg/L y totales de 19000 mg/L; y turbidez de 450 a 600 NTU. Se aplicó tres tratamientos diferentes teniendo el mejor resultado la alternativa tres: Aireación, coagulación –floculación, aireación con nutriente (Alfa Pobs), fitorremediación y filtración. Los resultados del lixiviado tratado fueron: DQO de 1552 mg/L, DBO5 de 540 mg/L, sólidos suspendidos de 6 mg/L, sólidos totales de 8764 mg/L y turbidez de 5,9 NTU. De los resultados se determinó que el porcentaje de remoción de DQO es de 89,78%, DBO5 de 89,2%, sólidos totales de 60,16% y turbidez de 99,01%. La tercera etapa fue el esquema final de la propuesta, agregando operaciones de tratamiento biológico y remoción química de sólidos, antes de entrar a la etapa de aireación existente. En conclusión, el sistema de tratamiento de lixiviado requiere las siguientes operaciones diseñadas: Laguna de aireación con un volumen de 70 m³, sistema de dosificación de químicos con tres tanques de almacenamiento de reactivos e inyectores, un floculador con un volumen de 1,87 m³, un sedimentador con capacidad para 7,5 m³ y un filtro descendente. Se recomienda un nuevo estudio que empleen tratamientos biológicos como la digestión anaerobia (biorreactores) u otros procesos como separación con membranas (ósmosis inversa), para obtener los límites establecidos en la normativa ambiental.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <MEDIO AMBIENTE>, <TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS>, <CARACTERIZACIÓN>, <OPTIMIZACIÓN>, <ANÁLISIS EXPERIMENTAL>, <TRATABILIDAD>, <HUMEDAL ARTIFICIAL>, <AIREACIÓN>.

ABSTRACT

A study was developed to optimize the leachate treatment system in the emerging cell of Porlón, Riobamba Canton was carried out in three stages. The first was the analysis of the treatment system, its operations, and processes, all of this demonstrated that it does not have a sludge treatment process and primary chemical treatment for solid removal, recirculation of the leachate was carried out also. The second was the physical-chemical and microbiological characterization of the leachate, resulting in the OQD in a range of 12000 - 15000 mg / L; BOD5 in the range of 5000-6000 mg / L; Dissolved solids of 17,000 mg / L and totals of 19,000 mg / L; and turbidity of 450 to 600 NTU. Three different treatments were applied, with the best alternative three: Aeration, coagulation-flocculation, nutrient aeration (Alpha Pobs), phytoremediation and filtration. The results of the treated leachate were: OQD of 1552 mg / L, BOD5 of 540 mg / L, suspended solids of 6 mg / L, and total solids of 8764 mg / L and turbidity of 5.9 NTU. From the results, it was determined that the percentage of OQD removal is 89.78%, BOD5 of 89.2%, total solids of 60.16% and turbidity of 99.01%. The third stage was the final scheme of the proposal, adding operations of biological treatment and chemical removal of solids, before entering the existing aeration stage. In conclusion, the leachate treatment system requires the following designed operations: Aeration lagoon with a volume of 70 m³, chemical dosing system with three reagent storage tanks and injectors, a flocculator with a volume of 1.87 m³, sediment with a capacity of 7.5 m³ and a falling filter. A new study is recommended that employs biological treatments such as anaerobic digestion (bioreactors) or other processes such as separation with membranes (reverse osmosis), to obtain within the limits established in environmental regulations.

KEY WORDS: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ENVIRONMENT>, <LIXIVIATE TREATMENT>, <CHARACTERIZATION>, <OPTIMIZATION>, <EXPERIMENTAL ANALYSIS>, <TRATABILITY>, <ARTIFICIAL WETLAND>, <AIREATION>.

INTRODUCCIÓN

La manipulación de los residuos sólidos en el Ecuador no cumple con las exigencias y los esquemas mínimos necesarios para disminuir los riesgos que afectan directamente a la salud y el ambiente. Los procesos para el manejo de los residuos sólidos son limitados a una recolección básica, habitualmente no cubre al 100 % las necesidades de la población; siendo transitoria su disposición final. Los recursos económicos de muchas ciudades no son encaminados a la solución de este problema, generando depósitos a cielo abierto en terrenos inapropiados como: quebradas, lechos de ríos o en sus laderas inundables, lo que genera daños irreparables en el ambiente y aumenta el riesgo de proliferación enfermedades en los habitantes de las zonas circundantes.

El vertedero de basura “Porlón” funcionó a cielo abierto por casi veinte años, pasando a ser una celda emergente en el 2017. Para lograr el cierre técnico del botadero de basura se realizó la construcción de una nueva celda emergente para el depósito de residuos domiciliarios y un sistema para el tratamiento de lixiviados y desechos hospitalarios. Este proyecto tuvo su origen como una propuesta técnica para disminuir los impactos ambientales negativos causados por: la generación, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. Sin embargo, es necesario realizar la optimización del sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de Porlón del cantón Riobamba, puesto que el sistema no genera un efluente con las características necesarias para su reutilización (riego). Para ser específicos, el presente trabajo busca analizar y comprobar la factibilidad del proceso de optimización, y de ser posible plantear una solución al problema que presenta el sistema de tratamiento actual.

La tarea de optimización del proceso de tratamiento de los lixiviados requirió varios estudios, entre los análisis realizados están: Análisis del esquema de operaciones de la planta, estudio de las operaciones de la planta, generación y optimización del modelo de la planta, análisis de laboratorio del lixiviado, pruebas de tratabilidad, etc. Para cada estudio se realizaron distintas tareas como: estudios teóricos y bibliográficos, análisis de laboratorio, entre otros. Como punto final se plantearon esquemas alternativos (propuestas de mejora) que podrían solucionar el problema de la incapacidad en la tratabilidad de los efluentes, al encontrar que el esquema actual dista de cumplir los parámetros de calidad de los lixiviados tratados.

ANTECEDENTES

La celda emergente de Porlón, se encuentra ubicada en el sector de San Gerónimo de Porlón, cerca de Cerro Negro, a tres kilómetros de la capital de Chimborazo. Este lugar es el centro de acopio para los residuos sólidos urbanos que provienen de los 225741 hogares de la capital provincial y desechos hospitalarios. A pesar del cierre técnico, las condiciones de mitigación y disminución de factores que contaminen al ambiente. Los rellenos sanitarios generan de forma continua gas metano y lixiviados como resultado de la descomposición de desechos orgánicos, además las precipitaciones y procesos de filtración aumentan la cantidad del lixiviado. Según registros del Departamento de Higiene y Salubridad de la Municipalidad de Riobamba, en la urbe se producen de 105 a 110 toneladas diarias de desechos. El tratamiento técnico y ambiental, evita que los lixiviados filtren a las fuentes hídricas contaminándolas, los gases contaminen el aire y por lo tanto también se contamine el suelo, además evita las enfermedades de la piel y problemas respiratorios. La autoridad ambiental solicita el funcionamiento adecuado de una celda emergente y la aplicación de buenas prácticas en el manejo de los desechos sólidos por lo que se propone la “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE LA CELDA EMERGENTE DE PORLÓN DEL CANTÓN RIOBAMBA”, cumpliendo con las exigencias que hacen los organismos de regulación, y acatando los parámetros a las normas exigidas por el Acuerdo Ministerial 097-A LIBRO VI, DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, ANEXO 1, TABLA 9. Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del miércoles 4 de noviembre del 2015.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

En la actualidad los residuos sólidos se han convertido en un problema social y sobre todo en una afección directa para el ambiente. Debido que estos son depositados en botaderos de basura a cielo abierto, en las cuales no se tiene sistema de tratamiento de lixiviados ni tampoco un manejo eficiente de los gases metano producidos. Los lixiviados son generados a partir de la descomposición de los sólidos y la percolación de aguas pluviales a través del suelo de cobertura del relleno. Estos al no ser tratados son fuente de proliferación de vectores (ratas, cucarachas, moscas, entre otras) las cuales pueden transmitir enfermedades infecciosas, también se ve afectado el aire por los malos olores. Los efectos nocivos son visibles también en sobre las formas de vida acuáticas, ya que estos lixiviados son vaciados en su mayor parte en ríos. El lixiviado de una celda emergente se genera por múltiples factores, como lo son: la descomposición de la basura, la edad del relleno, el diseño y la operación de la celda emergente, la solubilidad de los desechos, los procesos de conversión microbiológica y la interacción del lixiviado con el ambiente.” (Mañunga, Rodríguez-Victoria y Torres-Lozada, 2012)

“Factores importantes que describen un flujo de lixiviado, como: el caudal, la composición y su factibilidad de tratamiento varían de acuerdo con el estado del lixiviado, el tipo de operación y el tiempo de vida de la celda emergente.” (Mañunga, Rodríguez-Victoria y Torres-Lozada, 2012) “Todos estos factores descritos conllevan, por tanto, a una gran complejidad en su tratamiento, ya que provocan fuertes cargas orgánicas, altos contenidos de nitrógeno y presencia de metales pesados.” (Guevara, et al., 2014). El problema que presenta la celda emergente afecta al ambiente y por lo tanto la Dirección de Salubridad e Higiene GADM-RIOBAMBA, no se encuentra conforme con el funcionamiento actual del tratamiento de lixiviados de la celda emergente de Porlón del cantón Riobamba. Está no cumple con los parámetros establecidos por la autoridad de control ambiental, una acción establecida por el GAD municipal de Riobamba es la de recircular el efluente, lo que provoca que la misma supere su capacidad de diseño. El presente trabajo de final de carrera tiene como objetivo encontrar un tratamiento idóneo para los lixiviados generados de la celda emergente.

1.2 Justificación del proyecto

Riobamba genera entre 110 y 115 toneladas diarias de basura que son llevadas a la celda emergente, ubicada en el sector de Cerro Negro, a 3 kilómetros de la urbe (sur de la ciudad). (Telégrafo, 2014) La celda emergente de Porlón está ubicada al sur-este de la ciudad de Riobamba aproximadamente a treinta minutos de la Av. Circunvalación con un recorrido promedio de 10 km (por carretera). Los terrenos del botadero de Porlón ocupan un área de 10 hectáreas. Esta celda emergente a pesar de ser reciente tiene problemas con el lixiviado generado, este podría ser una fuente de enfermedades, ya que, contienen sustancias nocivas y tóxicas las cuales están afectando a los habitantes de la comunidad San Gerónimo de Porlón, lugar aledaño al botadero de basura, así como a la flora y fauna existente en el lugar. Por lo que estos lixiviados requieren un tratamiento físico-químico y microbiológico para su depuración antes de ser devueltos al ambiente. Lo cual no se está cumpliendo en su totalidad en el sistema de tratamiento actual de lixiviados. Debido a la inadecuada tratabilidad y bajo rendimiento en las diferentes operaciones que integran el sistema existente. El lixiviado producido de la basura, causaría serios problemas al ser descargados directamente a un cuerpo de agua dulce más cercano (Río Chambo), causando daño a la única fuente hídrica superficial del Cantón. Por consiguiente, provocaría la muerte de especies acuáticas propias del río; además constituye un importante peligro para la salud pública. Teniendo en cuenta el bienestar del ecosistema y de las poblaciones aledañas, nos vemos en la necesidad de incrementar una alternativa de tratamiento acorde al problema.

Por lo antes mencionado se propone la “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE LA CELDA EMERGENTE DE PORLÓN DEL CANTÓN RIOBAMBA”, cumpliendo con las expectativas dispuestas por las autoridades competentes de la municipalidad del cantón Riobamba y las exigencias de las autoridades ambientales nacionales, acatando los parámetros exigidas en el Acuerdo Ministerial 097-A del LIBRO VI, DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, ANEXO 1, TABLA 9 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del miércoles 4 de noviembre del 2015.

1.3 Línea base del proyecto

1.3.1 Marco conceptual

1.3.1.1 Celda emergente

Se define a una celda emergente como: un depósito diseñado por métodos ingenieriles para ser implantado en la tierra, de tal manera que la contaminación y dispersión de agentes infecciosos sea prevenida; facilitando la restauración del terreno para otros posibles usos. (Reinhart, 2002, p. 26) Lamentablemente hay una gran cantidad de subproductos contaminantes fruto del uso de este método de disposición de desechos. La cantidad de contaminante y sus peligros inherentes dependen del tipo de desechos que se disponen en el relleno. Por ejemplo, los principales subproductos contaminantes de una celda emergente son: los gases y los lixiviados. Estos, dependiendo del tiempo de operación del relleno, pueden tener diferente composición y en consecuencia deben tener diferente tratamiento. Dependiendo de los principios en los que se basa el diseño de los rellenos, se puede diferenciar tres tipos que se describen a continuación.

- Rellenos basados en el principio de “dilución y dispersión”

Estos rellenos sanitarios eran los más usados hasta la década de los setenta del siglo pasado, aún son implementados en algunas partes del mundo. Pero las nuevas normas ambientales están mermando su uso, por su poco desempeño en el control de emisiones. Estos rellenos se basan en la idea de dispersar los desechos sólidos por campos sin limitaciones, con el objetivo de reducir el efecto de estos contaminantes; es lo mismo para los lixiviados y gases. Por la necesidad de grandes extensiones de tierra y el poco control de las emisiones, las modernas leyes ambientales y otros diseños le van ganando terreno.

Uno de los principales problemas de este tipo de relleno es la filtración del lixiviado a los estratos subterráneos del suelo. Este lixiviado al final termina en contacto con efluentes subterráneos, o se acumula en estas capas; si el suelo es impermeable. Un factor importante a tomar en cuenta en la implementación de este tipo de rellenos, es el uso de las fuentes hídricas subterráneas. Si estas están destinadas al consumo humano, pues eso inhabilita a la implementación de este diseño.

- Rellenos basados en el principio de contención.

El modelo de relleno de contención tiene muchos más estudios de ingeniería. En estos mitiga el poco control que tienen los rellenos por dispersión. En este sistema los desechos son almacenados en celdas delimitadas e impermeabilizadas que reducen significativamente la filtración de lixiviados. Estos lixiviados acumulados son canalizados y tratados en un sistema posterior. Otra ventaja es el uso reducido de espacio en comparación del método por dispersión.

- Rellenos basados en el principio de entierro.

Estos rellenos son usados para materiales tóxicos como: los desechos radiactivos, patógenos o químicos altamente tóxicos. Para ello, dependiendo de las emisiones generadas por estos, se puede tener celdas de entierro con paredes de concreto o solamente tierra. Una variante de estos son los depósitos de sepultura por inundación comúnmente utilizados para material radiactivo.

1.3.1.2 Lixiviado

Se define como lixiviado al líquido que escurre de un sustrato sólido, bien sea este generado por descomposición química o como resultado de infiltración de un flujo líquido a través del sólido. En rellenos sanitarios existen dos posibles fuentes de lixiviados: la primera son los líquidos generados por la descomposición de la materia orgánica y algunas inorgánicas; y la segunda por la presencia de lluvia. Este flujo líquido tiene una composición variada, que depende del material de desecho, pero comúnmente está compuesto de: Agua principalmente, compuestos orgánicos, sólidos solubles e insolubles en agua, sales inorgánicas y microorganismos. Dependiendo del tiempo que estos estén almacenados se pueden definir como: lixiviados jóvenes o viejos, no existe un consenso sobre el tiempo mínimo para definir a un lixiviado como joven, pero se suele establecer un límite de 5 años.

- Lixiviado joven

Se define como el lixiviado con una vida inferior a los 5 años, sea almacenado en depósitos o recirculados. Sus valores de DQO y DBO suelen ser altos en el rango de: 10000-30000 ppm y 1000-15000 ppm, respectivamente. (Torres-Lozada et al., 2014, p. 247) Su coloración suele estar entre negro y marrón oscuro.

- Lixiviado Intermedio

Un lixiviado intermedio tiene un tiempo de vida de entre 5 y 10 años. Por el tiempo la concentración de DQO y DBO se ve disminuida. Normalmente están en el rango de 3000 – 7000 ppm y 400-1500 ppm, respectivamente. Su coloración cambia y suelen estar en el rango de coloración marón – naranja.

- Lixiviados viejos

Los lixiviados viejos suelen tener un tiempo de vida mayor a los 10 años, las concentraciones de los contaminantes en este tipo de lixiviado son bajas a comparación de un lixiviado joven. Los valores de DQO y DBO, fluctúan en u rangos de 1000 -2500 ppm y 70-170 ppm, respectivamente.

Tabla 1-1: Diferencias entre lixiviado joven y viejo.

Característica	Lixiviado joven	Lixiviado viejo
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoniaco	Muy alto	Alto
Fosforo	Usualmente deficiente	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
Detergentes	Muy altos	Bajos
Sales disueltas	Muy altas	Bajas
Agentes incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy altos	Bajos
Metales	Muy altos	Bajos

Fuente: GADMR, 2018

Realizado por: Cecilia Gualancañay, 2018

1.3.1.3 Sistema de tratamiento de agua.

Se define como sistema de tratamiento de agua al conjunto de procesos que permiten cambiar las propiedades del agua, usando métodos físicos o químicos. Existen distintos tipos de diseño de sistemas de tratamiento de agua, que dependen de las condiciones de entrada y también la uso que se dará al agua tratada. Tienen diferentes esquemas una planta para agua potable, aguas residuales, e incluso lodo.

1.3.1.4 Biodegradabilidad de agua contaminada.

Para el tratamiento de las aguas residuales es importante la capacidad de biodegradabilidad del agua, entre ellos esta: el índice de carbono orgánico, DQO, DBO, sólidos, etc. Un indicativo muy usado en diseño de plantas de tratamiento de aguas es el cociente DBO/DQO, que en teoría determina que fracción de los compuestos orgánicos totales, corresponden a los biodegradables. Pero este parámetro a grandes rasgos da una visión no muy precisa de la biodegradabilidad. De ahí que se aconseje usar también el índice de carbono orgánico y cantidad de amoníaco como indicadores de actividad microbiana.

$$k_b = \frac{DBO_5}{DQO} \quad \text{Ecuación 1}$$

Por lo general con valores k_b por debajo de 0,2 se consideran poco degradables. Para valores entre 0,2 y 0,4 se considera medianamente degradables y superiores a 0,4 se consideran biodegradables. Para flujos poco degradables se debe emplear métodos químicos para oxidar el carbono orgánico, de igual forma para los medianamente degradables, pero con procesos menos agresivos.

1.3.1.5 Reconocimiento del lugar de investigación

Para la realización de este proyecto se realizaron seis visitas técnicas, con la compañía del técnico responsable de la celda emergente de Porlón. Donde se evidenciaron las falencias en las etapas del sistema de tratamiento de lixiviados, al momento de las visitas no se estaba aplicando un tratamiento para descargar las aguas residuales solo se hacía una recirculación de los lixiviados. Además, se realizó el análisis y constatación de la distribución física presentada en los planos, que es clave para la identificación de los puntos críticos para la acción de la optimización.

1.3.1.6 Estado del proceso

El sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de Porlón y del cierre técnico del botadero del cantón Riobamba, tiene cinco etapas: La primera es la recolección del lixiviado de la celda emergente, la segunda es la mezcla de estos caudales, previo a la entrada al proceso de tratamiento. La siguiente etapa es una de reducción de velocidad de flujo, donde también se mide el caudal (canal parshall). A continuación, pasa a un sedimentador donde solo se retira sólidos por gravedad, luego pasa por dos fosas sépticas. El agua que sale de los dos tanques subterráneos pasa a la laguna de aireación donde se nutre con ALFA POBs (bioactivador para tratamiento de aguas residuales y suelos contaminados) y oxigenación con el objetivo de activar los

microorganismos y reducir la carga de DQO y DBO. El período de aireación es de 3 horas diarias con dosificación de (ALFA POBs). El siguiente tratamiento son los humedales artificiales, usando como filtro una base compuesta de algunos materiales sobre los que se coloca totora (*Schoenoplectus californicus*). El último tratamiento es el de cloración y luego se descarga. En este momento dados los parámetros del lixiviado a la salida se recircula el lixiviado hacia la celda emergente.

1.3.1.7 Normativas y técnicas

Acuerdo Ministerial 097-A del LIBRO VI, DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, ANEXO 1, TABLA 9 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del miércoles 4 de noviembre del 2015.

1.3.1.8 Métodos de caracterización agua residual

- Muestreo

Ecuador tiene un clima tropical que varía con la altitud y las regiones. El clima puede ser muy variable en el mismo día, hay principalmente dos temporadas, aunque con el cambio climático las estaciones están menos definidas. El invierno corresponde a los meses de diciembre a mayo, cuando el clima es cálido y lluvioso. Verano corresponde a los meses de agosto a noviembre siendo una temporada seca, con temperaturas más frescas.

Fue necesario establecer días de muestreo por temporadas semejantes al invierno y verano, con la ayuda de los conocimientos y conversaciones verbales de los trabajadores y responsables del sistema de tratamiento en los meses de actividad se efectuaron un total de seis muestreos, tres entre el lapso de la época invierno y el resto en verano. El cronograma se muestra en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Fechas de muestreo.

No. Muestra	Fecha	Temporada/clima
1	21-mayo-2018	Invierno
2	4-junio-2018	Invierno
3	27-julio-2018	Invierno
4	1-agosto-2018	Verano
5	3-septiembre-2018	Verano
6	1-octubre-2018	Verano

Fuente: GADMR,2018

Realizado por: Cecilia Gualancañay,2018

- Localización puntos de muestreo

Se escogió como puntos de muestreo las entradas y salidas de cada una de los procesos de tratamiento, el proceso consta de cinco operaciones, por tanto, se tienen 6 puntos de muestreo compuesto.

- Características físico-químicas

Entre las características físicas que se requiere determinar, para comprender el funcionamiento de un proceso de tratamiento de agua, se encuentran los siguientes: Perfil de sólidos, esto ayudan a determinar la clase de pretratamiento que se debe realizar o el rendimiento de un proceso de remoción de sólidos, ya en operación. Distribución de partículas por su tamaño, permite evaluar el desempeño del tratamiento preliminar. Turbiedad y color permiten determinar la calidad y condición de un agua residual, una es cuantitativa y otra cualitativa. Transmitancia, útil para saber si el efluente tratado permite el uso de desinfección UV. Olor, forma cualitativa de determinar el grado de descomposición de la materia orgánica. Temperatura, requerido para el diseño y evaluación del desempeño de operaciones de tratamiento biológicos.

Las características químicas de interés, recomendadas para el estudio del desempeño del proceso de tratamiento son las siguientes: Amonio libres, nitrógeno Kjeldahl, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, Fosforo total, pH, alcalinidad, cloruros, sulfatos, metales, y compuestos específicos como: oxígeno, dióxido de carbono, metano, etc. En procesos de tratamiento de aguas residuales, se requiere del análisis de parámetros que permitan medir la cantidad de carga orgánica en los efluentes de las operaciones. Estos parámetros son: la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno. Ambos miden de forma indirecta la materia orgánica presente en el agua.

(Exworthy, 2008) Otro parámetro necesario es el carbono orgánico total, otra forma de medir la materia orgánica presente.

Tabla 3-1: Parámetros físicos comunes en análisis de agua.

Parámetro	Abreviatura	Unidades
Sólidos totales	ST	mg/L
Sólidos volátiles totales	SVT	mg/L
Sólidos fijos totales	SFT	mg/L
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L
Sólidos suspendidos volátiles	SSV	mg/L
Sólidos suspendidos fijos	SSF	mg/L
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/L
Sólidos disueltos volátiles	SDV	mg/L
Sólidos disueltos fijos totales	SDF	mg/L
Sólidos sedimentables	SS	mL/L
Distribución de partículas por tamaño	DPT	µm
Turbiedad		UNT
Color		Café, gris, negro, etc.
Transmitancia	Tr	%T
Olor		NUO
Temperatura	T	°C, °F ° K
Densidad	P	Kg/m ³ , g/L
Conductividad	Ce	mS/m

Fuente: Crites, Tratamiento Aguas Residuales.

Realizado por: Gualancañay C., 2018.

Tabla 4-1: Parámetros químicos comunes en análisis de agua.

Parámetro	Abreviatura	Unidades
Amonio libre	NH ₄ ⁺	mg/L
Nitrógeno orgánico	N _{org}	mg/L
Nitrógeno total Kjeldahl	NTK	mg/L
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/L
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/L
Fosforo inorgánico	P _{inorg}	mg/L
Fosforo total	FT	mg/L
Fosforo orgánico	P _{org}	mg/L

pH	pH	—
Alcalinidad	HCO ₃ ⁻ +dev.	mg/L
Cloruros	Cl ⁻	mg/L
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L
Metales	As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Pb, Mg, Hg, Mo, Ni, Se, Na, Zn	mg/L
Compuestos orgánicos esp.		mg/L
Gases	O ₂ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, CH ₄	mg/L

Fuente: Crites, Tratamiento Aguas Residuales.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Tabla 5-1: Parámetros químicos relacionados con la carga orgánica en agua residual.

Parámetro	Abreviatura	Unidades
Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea	DBOC ₅	mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno ultima	DBOU/DBO _U	mg/L
Demanda de oxígeno nitrogenácea	DON	mg/L
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L
Carbono orgánico total	COT	mg/L
Compuestos específicos (aromáticos, ciclos, etc.)		mg/L

Fuente: Crites, Tratamiento Aguas Residuales.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

- Características biológicas

Las características biológicas comunes analizadas en aguas residuales son: el conteo de coliformes, otros microorganismos (protozoos, bacterias, virus, etc.) y la toxicidad. La toxicidad es un parámetro importante en el proceso de diseño y evaluación del desempeño de un sistema de tratamiento de agua residual, permitiendo determinar que operaciones serían necesarias para reducir esa toxicidad.

Tabla 6-1: Parámetros biológicos comunes en análisis de agua.

Parámetro	Abreviatura	Unidades
Organismos coliformes	NMP	Unidades
Microorganismos esp.	Bacterias, protozoos, etc.	Unidades
Toxicidad	Aguda/Crónica	UT _A /UT _C

Fuente: Crites, Tratamiento Aguas Residuales.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

Estos parámetros se medirán una sola vez, durante el estudio del funcionamiento del proceso de tratamiento de lixiviados.

- Métodos de análisis del proceso de tratamiento

Para poder realizar una optimización a las operaciones del proceso de tratamiento de lixiviados, primero hay que conocer: el diseño, construcción (instalaciones) y su situación actual operativa. Para ello, se debe remitir a los estudios técnicos de implementación de la celda emergente, realizado por la empresa COLSULTORACAV LTDA y el Ministerio del Ambiente. En donde como parte del diseño de la celda emergente, consta la justificación del esquema de la planta y las dimensiones de las instalaciones donde se llevan a cabo las operaciones de tratamiento de lixiviados.

- Estudio preliminar del diseño

Como primer paso es necesario revisar cuales fueron las causas, para concluir, sí el esquema de la planta (distribuciones de operaciones y procesos) es el idóneo para el tratamiento de los efluentes provenientes de la celda emergente. A este punto, se deberá comparar el esquema básico funcional de una planta de tratamiento de lixiviados “estándar”, con la de la planta de la celda emergente de Porlón. De esta forma se comprueba que tiene las operaciones y procesos mínimos necesarios para operar y cumplir con la normativa para reutilización de los efluentes.

1.3.1.9 Medidas de caudal y otros parámetros

Los técnicos y operadores de la celda emergente de Porlón llevan a cabo el sondeo de algunas de los parámetros para comprobar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de lixiviados. En este punto se estudiará los datos proporcionados por el personal.

1.3.1.10 Dimensiones de instalaciones de tratamiento

Como parte final se tomarán las dimensiones de los tanques, piscinas y canales, bien sea de los planos o directamente de las instalaciones. Con el objetivo de medir parámetros como tiempos de retención, volúmenes operativos, entre otros.

1.3.1.11 Proceso de optimización

- Análisis de operaciones

Como se anticipó, existen cinco operaciones en el proceso de tratamiento de lixiviado, seis si tomamos en cuenta la piscina de tormentas, que cumple de función de reservorio de emergencia en caso de sobrepaso del aforo del resto de lagunas.

- Objetivos de la optimización

Como objetivo de la optimización se plantea la remoción de sólidos y el material orgánico de los efluentes del proceso, tomando en cuenta la variación de los parámetros de diseño del proceso como tiempos de retención y dosificaciones de reactivos. O en su defecto de no ser posible realizar una optimización, se planteará una alternativa de rediseño.

1.4 Beneficios directos e indirectos

1.4.1 Directos

La comunidad San Gerónimo de Porlón que se encuentra cerca de la planta de tratamiento de lixiviados. La zona agrícola aledaña, debido a la disminución de contaminantes del efluente que utilizan para riego de sus cultivos.

1.4.2 Indirectos

Dirección de Salubridad e Higiene GADM-RIOBAMBA, celda emergente de San Gerónimo de Porlón.

El río Chambo, quien recibe los lixiviados generados en la celda emergente.

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

Optimizar el sistema de tratamiento de lixiviados en la celda emergente de Porlón. del Cantón Riobamba

2.2 Objetivos Específicos

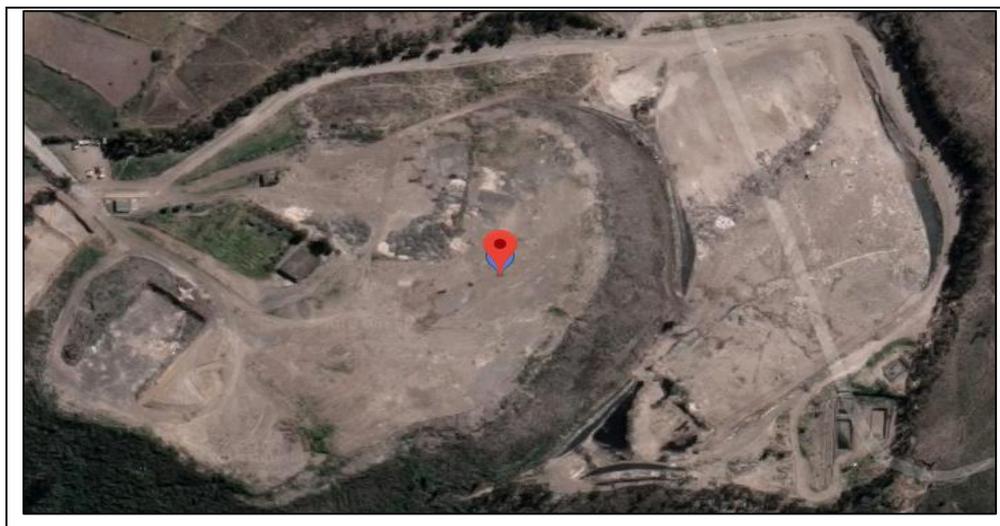
- Realizar el diagnóstico situacional al actual Sistema de Tratamiento de Lixiviados en la celda emergente de Porlón del Cantón Riobamba.
- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del efluente generado en el actual Sistema de Tratamiento de Lixiviados en la celda emergente de Porlón del Cantón Riobamba, conforme al Acuerdo Ministerial 097-A del LIBRO VI, DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, ANEXO 1, TABLA 9 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del miércoles 4 de noviembre del 2015.
- Realizar las pruebas de tratabilidad para los parámetros fuera de norma del lixiviado generado en el actual sistema de tratamiento.
- Plantear las alternativas de mejora para el sistema de tratamiento de lixiviados.

CAPÍTULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

La celda emergente de Porlón, se encuentra ubicado el sector de San Gerónimo de Porlón aproximadamente a treinta minutos de la Av. Circunvalación con una distancia de 10 km de la ciudad de Riobamba, en la provincia de Chimborazo. Su geo-referenciación es $1^{\circ}39'54.5''S$ $78^{\circ}35'35.1''W$. Su: latitud es -1.6667 y longitud -78.6167. El clima oscila de 10 a 30 ° C.



Fotografía 1-3: Localización del proyecto.
Realizado por: Gualancañay C., 2018.

3.2 Ingeniería del proyecto

3.2.1 Tipo de estudio

El estudio del proyecto para la optimización del sistema de tratamiento de lixiviados de la parroquia San Gerónimo de Porlón del cantón Riobamba, fue de tipo experimental de carácter analítico. Para completarlo se requirió de análisis de laboratorio, que permitieron obtener las características del lixiviado en cada etapa del proceso de tratamiento. El objetivo del estudio es

mejorar los parámetros de salida del lixiviado y de ser posible permitir su descarga a un efluente receptor.

3.2.2 Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos por el proyecto, primero se recopiló información de fuentes bibliográficas que permitieron dar claridad sobre el proceso a seguir. Se utilizó los Standard Methods para el análisis físico químico de las muestras de agua, y libros sobre diseño de sistemas de tratamiento de aguas.

Siguiendo los procedimientos establecidos se tomó las muestras en base a la norma NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO, y fueron tratadas en el laboratorio de calidad de agua. Cuyo objetivo era realizar la tratabilidad que permitiera cumplir con los parámetros establecidos en la normativa ambiental, se procedió a realizar 3 pruebas con diferentes tratamientos siguiendo los esquemas planteados, para ello se usaron muestras de 15 L. Las operaciones tratadas serán: tratamiento primario (sedimentación química), tratamiento biológico (aireación) y tratamiento posterior (filtración). La primera prueba fue ajuste de pH con ácido Sulfúrico concentrado al 37%, seguidamente se aplicó una sedimentación química con coagulantes (Sulfato de Aluminio y Poli cloruro de Aluminio) y Floculante (No iónico), luego una aireación continua de 3 días con Alfa Pobs (bioactivador con alta actividad para el tratamiento de aguas residuales y suelos contaminados). La segunda prueba fue aireación por 24 horas, se ajustó el pH con ácido sulfúrico, sedimentación química coagulantes y floculantes (Sulfato de Aluminio, Policloruro de Aluminio y No iónico), aireación continua por 3 días con Alfa Pobs. La tercera Prueba fue aireación de 24 horas, sedimentación química con coagulantes y floculante (Sulfato de Aluminio, Policloruro de Aluminio y No iónico), aireación continua de 3 días con Alfa Pobs, fitorremediación (humedal con plantas de totoras) y una Filtración descendente. La validación de la secuencia de operaciones se realizó mediante el análisis del lixiviado tratado final.

Luego de encontrar la mejor alternativa (con los mejores resultados), procedemos a presentar una propuesta de diseño.

3.2.3 *Métodos y técnicas*

3.2.3.1 *Métodos*

Para facilitar el estudio y desarrollo del proyecto de optimización del sistema de tratamiento de lixiviados, se usaron tres métodos: inductivo, deductivo y experimental.

- Método inductivo

Este método permitió partir del problema central del sistema de tratamiento de lixiviados, y generalizar, a partir del esquema planteado con mejores resultados, una propuesta general que permitiría obtener las características deseadas a la salida del sistema.

- Método deductivo

Se usó este método para lograr una descripción de la situación operativa de cada proceso en el sistema de tratamiento. Con base a datos experimentales se dedujo su idoneidad para la consecución del objetivo del sistema de tratamiento, que es lograr las características de salida de los lixiviados, que permitan su uso como agua de riego. Al igual que determinar cuáles eran los factores que influían en gran manera a la reducción de la DQO, DBO y sólidos totales.

- Método experimental

Siguiendo las pautas del planteamiento de hipótesis, su confirmación o negación, sobre la base de los resultados experimentales, es necesario para encontrar la solución al problema que afronta el sistema de tratamiento de lixiviados de San Gerónimo de Porlón.

3.2.3.2 *Técnicas*

Técnica empleada para el muestro de los lixiviados

Tabla 1-3: Procedimiento para muestreo de lixiviado.

	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
MUESTREO DE AGUA RESIDUAL (LIXIVIADO)	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Canastilla o cooler. ○ Recipientes plásticos ámbar. ○ Recipiente de 20L plástico. ○ Recipiente medidor. ○ Etiquetas. <p>REACTIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Ninguno <p>INDUMENTARIA</p> <p>Overol de trabajo. Botas de caucho. Guantes de nitrilo.</p>	MUESTREO DE AGUA RESIDUAL (LIXIVIADO)	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar los recipientes ámbar esterilizados, para tomar muestras para realizar los análisis. • Tomar muestras de la entrada y salida de cada operación del sistema de tratamiento. • Tomar en el recipiente de 25 L un volumen de 10 a 20 L, para estudio de esquemas de tratamiento. • Limpiar y desinfectar los recipientes para evitar la contaminación con patógenos. • Etiquetar las muestras de los recipientes ámbar y el recipiente de 25 L, usando el formato establecido. FECHA, LUGAR, CÓDIGO Y DESCRIPCIÓN. 	NO EXISTEN CÁLCULOS EN ESTE PROCEDIMIENTO.

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Técnicas empleadas para caracterización de los lixiviados

Tabla 2-3: Procedimiento para determinación de perfil de sólidos.

Determinación de perfil de sólidos estándar methods 2540.	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS Y MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Balanza analítica ○ Crisoles y capsulas (>50mL) ○ Canastilla de aluminio ○ Kitasato ○ Mangueras ○ Bomba de vacío ○ Embudo Buchner con corcho. ○ Pinzas para crisol. ○ Libreta. ○ Estufa ○ Mufla. <p>REACTIVOS E INSUMOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Papel filtro fibra de vidrio. 	<p>DETERMINACIÓN DE PERFIL DE SÓLIDOS</p>	<p>Perfil de sólidos suspendidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secar y pesar hasta peso constante las capsulas (>50mL). • Tomar un volumen de 50 mL de agua residual y colocarlos en una capsula de porcelana. • Dejar secar por 24h a una temperatura de 105°C. • Pesar las capsulas secas, y realizar los cálculos para obtener sólidos: suspendidos totales. • Tomar la capsula con el material seco y colocar en una mufla a 500°C por una o dos horas. • Dejar enfriar hasta temperatura ambiente y pesar. • Realizar los cálculos para determinar los sólidos fijos totales. <p>Perfiles sólidos solubles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tomar una muestra de 50mL, y pasarla a través de un filtro de fibra de vidrio. • El líquido filtrado colocarlo en una capsula y dejar secar en una estufa a 105°C por 24h. • Dejar enfriar y pesar, luego calcular la cantidad de sólidos disueltos totales. • Llevar la capsula a una mufla a 500°C por una hora. • Dejar enfriar y pesar, luego calcule la cantidad de sólidos solubles fijos. 	$ST = SDT + SST$ $SDT = SDV + SDF$ $SST = SSV + SSF$ <p>ST= Sólidos totales. [mg/L] SDT= Sólidos disueltos totales. [mg/L] SST= Sólidos solubles totales. [mg/L] SDV= Sólidos disueltos volátiles. [mg/L] SDF= Sólidos disueltos fijos. [mg/L] SSV= Sólidos suspendidos volátiles. [mg/L] SSF= Sólidos suspendidos fijos. [mg/L]</p>

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 3-3: Procedimiento para determinación de DQO.

DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (MÉTODO REFLUJO CERRADO FOTOMÉTRICO) STANDARD METHODS 5220D	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS Y MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Equipo para digestión DQO. ○ Fotómetro. ○ Tubo patrón para DQO fotometría. ○ Tubos de ensayo de 20mL, para digestor DQO. <p>REACTIVOS E INSUMOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Solución de dicromato de potasio 0,25N. ○ Solución ácido sulfúrico (22g Ag₂SO₄/4kg de H₂SO₄). ○ Ácido sulfúrico concentrado. ○ Indicador de Ferroín. ○ Sulfato de plata, cristal. ○ Sulfato mercuríco. ○ Ácido sulfámico. ○ Solución patrón de ftalato acido de potasio. 	<p>DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO</p>	<p>DQO superior a 50 ppm.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diluir en un matraz de 100mL, 10 mL de muestra. De la dilución tomar 5 mL y colocarlos en un tubo para medir DQO. • Agregar 2 mL solución de ácido sulfúrico y Sulfato de plata. • Agregar dicromato de potasio 3 mL. • Cerrar el tubo de ensayo y colocar en el digestor de DQO por dos horas. • Usando el patrón fotométrico de DQO, calibrar el fotómetro. • Tomar la medida de DQO con el fotómetro. 	<p>Solo se requiere saber el factor de dilución para luego multiplicarlo por el valor indicado por el fotómetro. En el ejemplo el factor es 10. Se puede hacer más diluciones si la concentración es mayor 2000 ppm.</p>

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 4-3: Procedimiento para determinación de DBO₅.

DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (MÉTODO RESPIROMÉTRICO) STANDARD METHODS 5210D	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS Y MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Botellas de incubación (300mL). ○ Baño termostático para incubación y respirometría. <p>REACTIVOS E INSUMOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Solución buffer de fosfato. ○ Solución de Sulfato de magnesio. ○ Solución de Cloruro de calcio. ○ Solución de Cloruro férrico. ○ Soluciones diluidas de ácido y base. ○ Solución de sulfito de sodio. ○ Inhibidor de nitrificación. ○ Solución acida de glucosa glutámica. ○ Solución de Cloruro de amonio. ○ Agua destilada para solución de DBO. 	<p>DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar la solución para DBO. • Ajustar la temperatura en el equipo de respiro métrico. (20 °C) • Agregar la muestra problema a la botella de incubación, si el DBO se presume muy alto se debe realizar diluciones y calcular el factor de dilución. • Luego agregar la solución de DBO. • Agregar inhibidor de nitrificación. • Cargar el barómetro con hidróxido de sodio como desecante. • Correr el programa para 5 días. • Anotar último valor dado por el respiro metro en el quinto día. • Para obtener el DQO multiplicar el resultado del respiro metro por el factor de dilución. 	<p>Solo se requiere saber el factor de dilución para luego multiplicarlo por el valor indicado por respiro metro.</p>

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 5-3: Procedimiento para determinación de pH, conductividad, sólidos disueltos.

DETERMINACIÓN DE PH(SM 9040C), CONDUCTIVIDAD (2510B), SÓLIDOS DISUELTOS (5210C)	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS Y MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Medidor multi-parámetro. ○ Vaso de precipitados. <p>REACTIVOS E INSUMOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Ninguno 	<p>DETERMINACIÓN DE PH, CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar una muestra (diluir la si es necesario) en un vaso de precipitados. • Lavar el electrodo con agua destilada, • Colocar los electrodos en la muestra de agua. • Esperar hasta que la medida se estabilice y anotar los valores de los parámetros de pH, conductividad, sólidos disueltos. 	<p>Solo se requiere saber el factor de dilución para luego multiplicarlo por el valor indicado por multi-parámetro.</p>

Realizado por: Gualancañay C., 2018.

Tabla 6-3: Procedimiento para determinación de color, sólidos suspendidos.

DETERMINACIÓN DE COLOR Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS (COLORIMETRÍA) STANDARD METHODS 2120	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Fotómetro (colorímetro) ○ Cubas de vidrio o celdas. ○ Vaso de precipitados. <p>REACTIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Agua destilada. 	<p>DETERMINACIÓN DE COLOR Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar las muestras por dilución y anotar el factor de dilución. • Calibrar el fotómetro con una muestra de agua destilada. • Medir los parámetros de color (PtCo) y sólidos suspendidos. • Anotar los valores arrojados por el equipo. 	<p>Solo se requiere saber el factor de dilución para luego multiplicarlo por el valor indicado por colorímetro.</p>

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 7-3: Procedimiento para determinación de turbidez.

DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD (MÉTODO NEFELOMETRÍA) STANDARD METHODS 2130	Equipos/ materiales/ reactivos	Sustancia a analizar	Procedimiento	Cálculos e interpretación de resultados
	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Balanza térmica para humedad ○ Canastilla de aluminio <p>REACTIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Ninguno 	<p>DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lavar el tubo de medida con agua destilada. • Colocar 25mL de muestra en el tubo de medida del Turbidímetro. • Colocar la escala requerida para realizar la medida. • Anotar el valor de turbidez. 	<p>Solo se requiere saber el factor de dilución para luego multiplicarlo por el valor indicado por Turbidímetro.</p>

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

3.2.4 Estudio del funcionamiento del proceso

3.2.4.1 Esquema operativo de la planta

La planta de tratamiento de lixiviados tiene varios esquemas que describen las operaciones que fueron planificadas por el estudio de la empresa CONSULTORACAV. LTDA., instaladas por el GADM de Riobamba y las que se encuentran funcionando en este momento. En la figura 1-3, se muestra el esquema operativo planteado e instalado por el MAE-CONSULTORACAV S.A, según su estudio. En este esquema observamos que el diseño se enfoca en el tratamiento biológico, con dos etapas: biodigestión aerobia (oxidación) y fitorremediación. Existe una etapa de tratamiento preliminar, con un proceso combinado de ajuste de caudal y clarificación-sedimentación, y al final una etapa de post-tratamiento donde se desinfecta el agua usando cloro. En teoría, la planta debe funcionar con las operaciones instaladas, pero no se cumple con las concentraciones de DBO y sólidos suspendidos; planificados para el tiempo que la planta lleva funcionando.

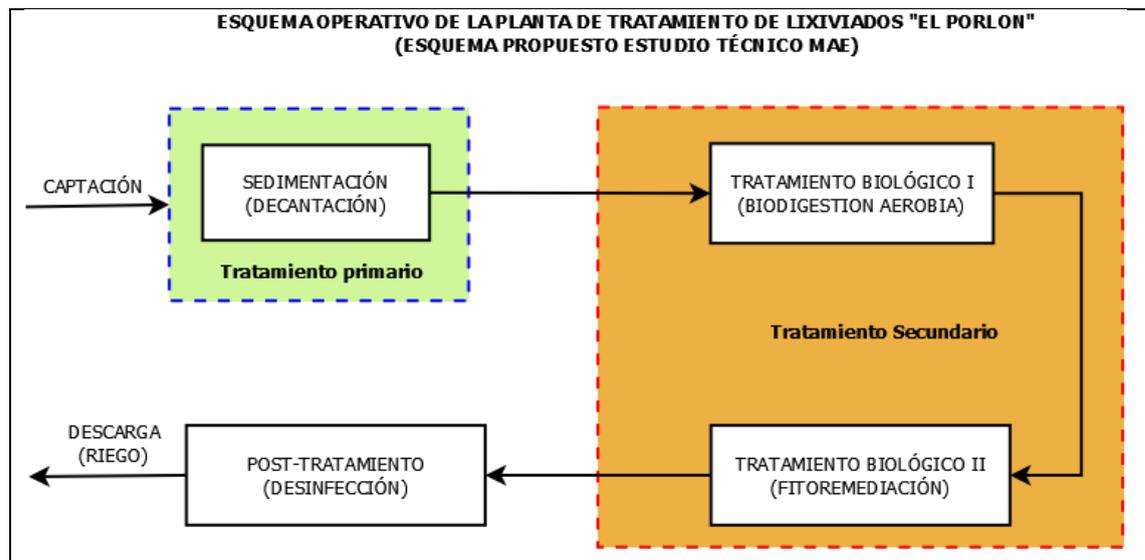


Figura 1-3: Diagrama de diseño propuesta inicial para el sistema de tratamiento de lixiviados.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Existe una diferencia entre el esquema diseñado por la empresa CONSULTORACAV S. A y el esquema de la planta actual. De manera ideal la planta tiene que funcionar de la forma descrita en la figura 2-3, donde el efluente del proceso se destina a actividades de riego. Un bloque de operación ha sido agregado; este es el tratamiento biológico anaerobio. Este bloque lo conforman dos biodigestores tipo fosa séptica, que digieren parte de la carga orgánica, y sirven como filtro para sólidos, extrayendo lodos del proceso. Se mantienen las demás operaciones del proceso sin cambios estructurales.

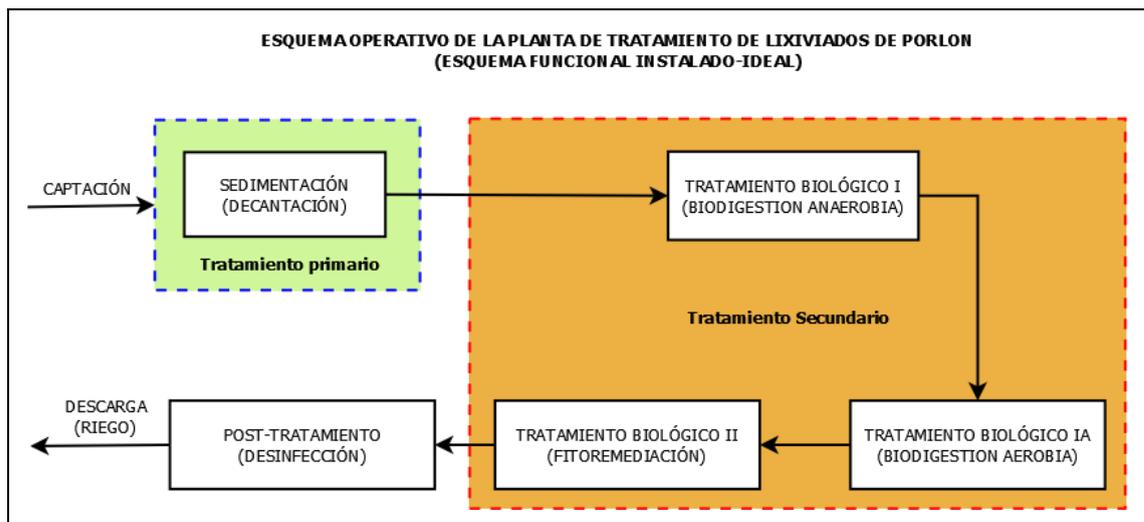


Figura 2-3: Diagrama de proceso modificado por GADM Riobamba del sistema de tratamiento de lixiviados.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Debido a que los parámetros del efluente de salida no cumplen con la norma establecida por el organismo de control, la planta se encuentra recirculando el efluente de lixiviado a la celda emergente. Lo que causa a su vez, un mayor arrastre de componentes orgánicos, sólidos y otros contaminantes. Esto ha provocado que el contenido de estos componentes no se ha reducido en razón del tiempo, como planifiqué el estudio. Este estimaba que la DBO_5 en el arranque de la planta sería de 10000 mg/L, y en un tiempo medio de un año, se reduciría a 1000 mg/L. El DQO actual de lixiviado que entra al proceso está alrededor de 12000-15000 mg/L y una DBO_5 5000-6000 mg/L; habiendo estado en funcionamiento por más de un año.

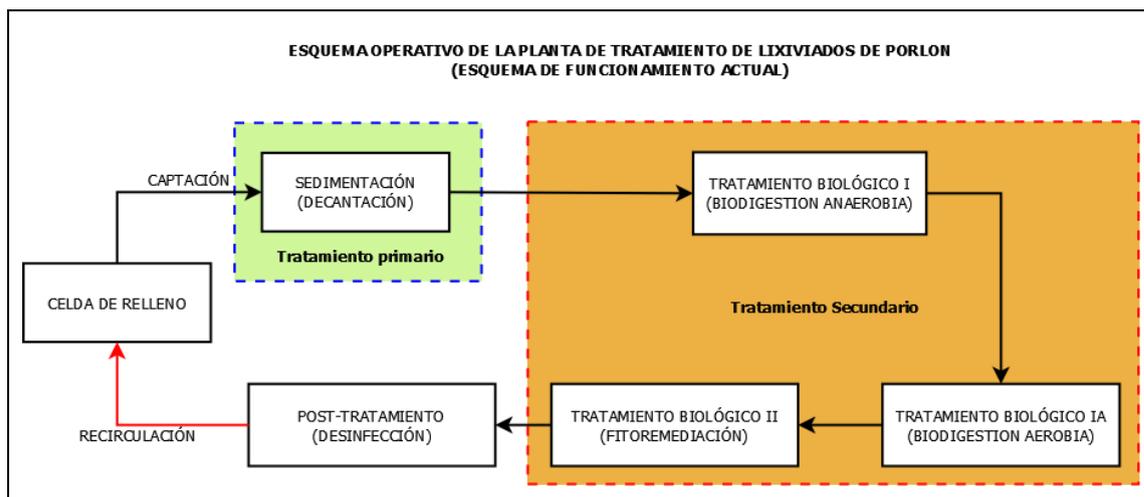


Figura 3-3: Diagrama del proceso en funcionamiento sistema de tratamiento de lixiviados.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

En la figura 3-3, se muestra el esquema funcional actual del proceso. En él se observa que no se está extrayendo el efluente del proceso, sino que se recircula. En algún momento la capacidad del

proceso se verá superada, por la cantidad de fluido que ingresa, y será necesario evacuar de forma inadecuada hacia el suelo, el exceso; con objeto de evitar el desborde de las lagunas de tratamiento.

Por la incapacidad del proceso de reducir la carga orgánica y los sólidos, que en su mayoría son sólidos disueltos (agua color negro), las operaciones de fitorremediación se han visto afectadas. Las especies vegetales encargadas de realizar la degradación de la materia orgánica, retiro de metales y otros componentes tóxicos; “han muerto”, y se han replantado varias veces durante el período de operación. Al momento de realizar este estudio, las lagunas de fitorremediación (humedales) se encontraban fuera de funcionamiento, por resiembra de Totora (*Schoenoplectus californicus*). Las operaciones instaladas en cada etapa del proceso son en total 12. Entre ellas se encuentran: un decantador (sedimentador), dos fosas sépticas (biodigestores anaerobios), una laguna de tratamiento biológico (biodigestor aerobio), dos divisores de corriente, dos mezcladores, dos lagunas de fitorremediación, una laguna de tormentas y una laguna de desinfección. No se tomó en cuenta como operación separada el tanque de regulación y medida de caudal, por estar en la misma estructura que el tanque decantador.

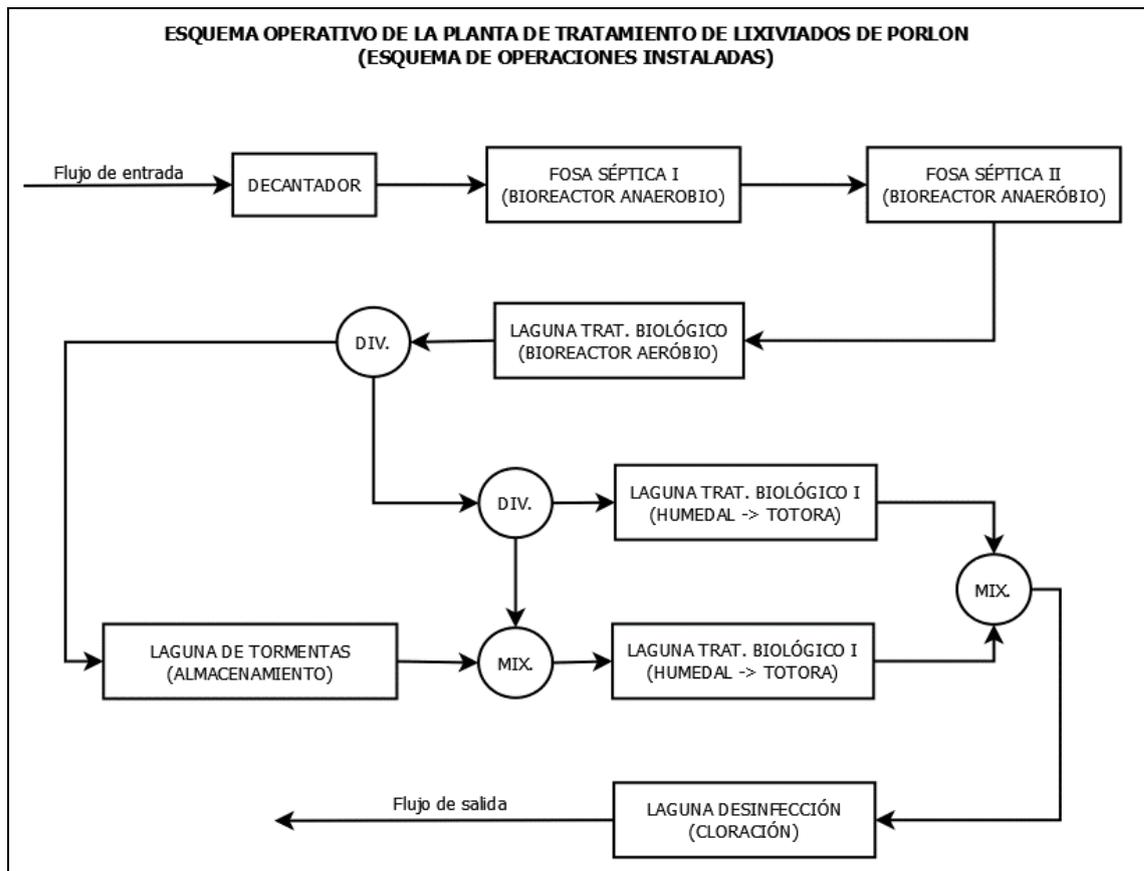


Figura 4-3: Diagrama de operaciones instaladas en el sistema de tratamiento de lixiviados.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

En la figura 4-3, se observa el esquema de conexión entre las distintas operaciones. En esta figura se observa que existen bloques de tratamiento primario, que incluirían los pozos sépticos, al tomarlos como clarificadores; al retirar una porción de los sólidos suspendidos. Luego, el efluente pasa a una piscina de tratamiento biológico, después de tratarse por el tiempo de retención de diseño, se divide el caudal pasando parte a la piscina de tormentas y parte a otro divisor de corriente. En este divisor de corriente se obtiene dos flujos: uno pasa a la primera piscina de fitorremediación y el último se mezcla con el flujo proveniente de la piscina de tormentas, y pasa a la segunda piscina de fitorremediación. Los flujos de salida de la fitorremediación se mezclan y pasan a una piscina de desinfección, para eliminar la carga biológica activa y poder disponer del efluente final. Con excepción de los biodigestores anaerobios, en ninguna parte del proceso se extrae los lodos producidos. Tampoco se tienen operaciones para su tratamiento, no consta en el estudio del MAE nada sobre al tratamiento de lodos. Sugieren limpiar las lagunas/piscinas al menos una vez al año.

Es necesario hacer una comparación del proceso de tratamiento de lixiviados instalado en la celda emergente de Porlón, para ver si cumple con las operaciones básicas para su correcto funcionamiento. Normalmente, existen cuatro bloques de operaciones que son necesarias para el tratamiento de aguas residuales. El primer bloque comprende las operaciones primarias o preliminares, estas incluyen: tamices, correctores de caudal, dilaceración, homogenización, remoción de arena, sedimentación, remoción de grasas, control de olores, etc.

Tabla 8-3: Clasificación de las operaciones instaladas en bloques de operaciones estándar.

OPERACIONES PRELIMINARES	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador (sedimentador) • Fosa séptica
OPERACIONES BIOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Laguna de biotratamiento aerobio • Laguna de fitorremediación
OPERACIONES DE POST-TRATAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Laguna de desinfección
OPERACIONES TRATAMIENTO DE LODOS	<ul style="list-style-type: none"> • No existe operación de tratamientos de lodos.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

El segundo bloque comprende las operaciones de tratamiento biológico del agua residual, diferenciándolo del tratamiento de lodos que corresponde a otro bloque. Entre estas operaciones tenemos dos grupos los procesos aerobios y anaerobios. De estos derivan un gran número de diseños de biorreactores y biodigestores. También podemos clasificar los procesos por la forma

en que se disponen los microorganismos dentro del reactor, de esto derivan dos tipos: los de película adherida y los de crecimiento en suspensión. (Crites y Tchobanoglous, 1998)

En todos los bloques de operaciones existe al menos una operación instalada en la planta, con excepción del tratamiento de lodos. Como se explicó anteriormente, no existe tratamiento para los lodos subproducto del proceso, como se observa en la tabla 8-3.

3.2.4.2 Operación de sedimentación

La primera operación en el proceso de tratamiento de los lixiviados, es un decantador combinado con un tanque de ajuste de caudal. El tanque de ajuste de caudal tiene un vertedero triangular con el que se mide el caudal de entrada, y a la vez sirve como reductor de velocidad. En la fotografía 2-3, se observa el decantador instalado. Como se puede apreciar, este está compuesto por dos tanques. El primero de ellos, es un tanque de ajuste de velocidad y sirve como decantador en primera etapa y el segundo es una cámara de decantación. En esta misma sección se calcula: tiempo de retención, eficiencia como clarificador, y otros parámetros.



Fotografía 2-3: Tanque decantador.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

El primer parámetro a calcularse es el volumen total y el utilizado. Para ello, primero dividiremos el equipo en tres cámaras, la primera que será la de captación y ajuste de velocidad (A), la segunda

será la primera etapa de sedimentación (B) y la tercera será la segunda etapa de sedimentación (C). En la figura 5-3, se observa las secciones etiquetadas con las letras indicadas.

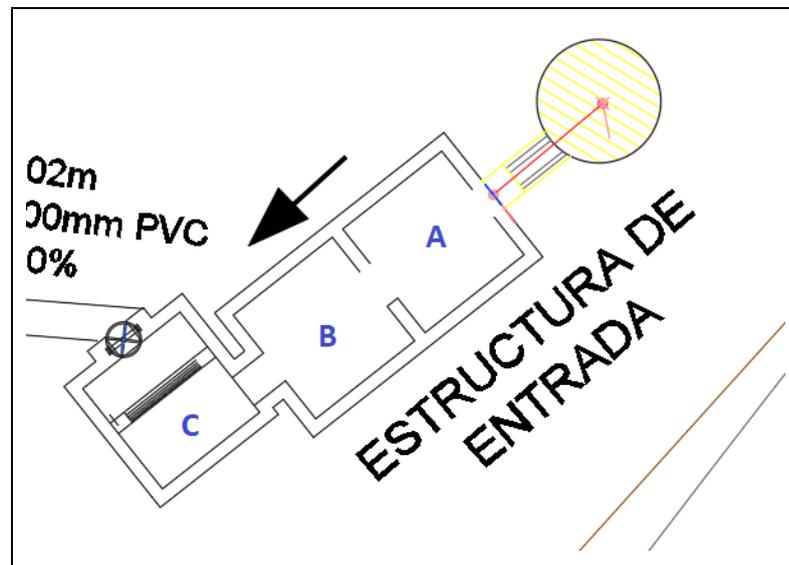


Figura 5-3: Sedimentador de la planta de tratamiento de lixiviados, según planos de diseño.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

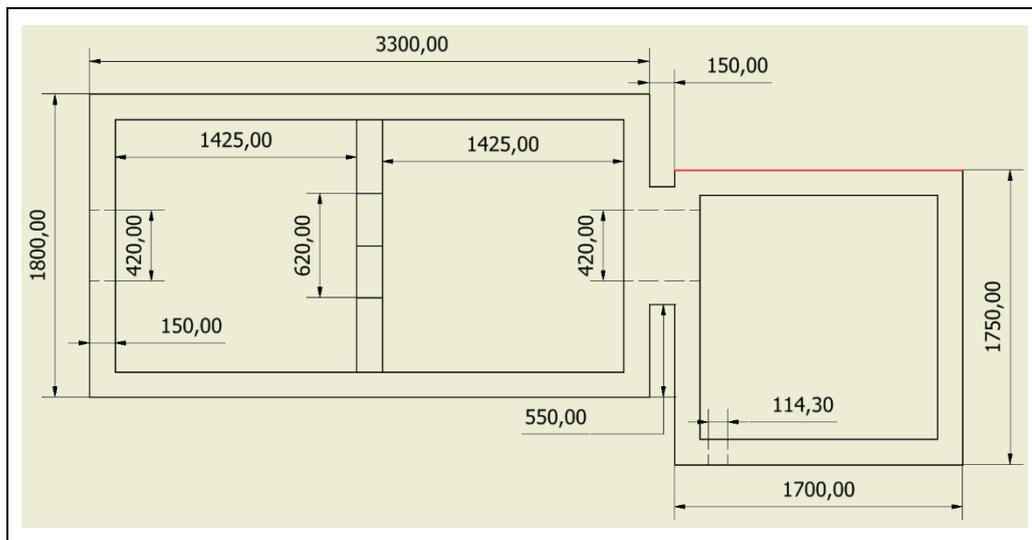


Figura 6-3: Plano de sedimentador con cotas medidas en (mm).
Realizado por: Gualancañay C.,2018

En la figura 6-3, se muestra el plano del sedimentador con las medidas en milímetros, estas servirán para determinar los volúmenes totales de las secciones del sedimentador. A continuación, calcularemos los volúmenes totales de las secciones:

$$V_s^i = l_{s1}^i \cdot l_{s2}^i \cdot l_{s3}^i$$

$$V_s^A = V_s^B = (1,800 - (2)(0,15))(1,425)(1,40) = 2,9925m^3 \approx 3m^3$$

$$V_s^C = (1,7 - (2)(0,15))(1,75 - (2)(0,15))(1,40) = 2,8420m^3$$

Ecuación 1

$$V_s^T = \sum_{i=A}^C V_s^i \quad \text{Ecuación 2}$$

$$V_s^T = (2)(2,9925) + (2,8420) = 8,8270m^3$$

Dónde:

V_s^i Volumen de la sección i del sedimentador. [m³]

$l_{s1}^i l_{s2}^i l_{s3}^i$ Ancho, longitud y alto de la sección del sedimentador i. [m]

V_s^T Volumen total del sedimentador. [m³]

Conocida la capacidad volumétrica total, ahora calcularemos el volumen medio útil del equipo, para ello necesitaremos datos de caudal medio de entrada al sedimentador, producto de la toma de datos periódicos en un tiempo determinado. Para ello, usaremos datos proporcionados por el personal de la planta, mismos que se muestran en la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Datos de caudal tomados por el personal, del período Mayo-Octubre 2018.

Ensayos	A (L/s)	B (L/s)	C (L/s)	Promedio (L/s)
Mayo	1,3454	1,3245	1,3465	1,3388
Junio	1,4425	1,3452	1,2354	1,3410
Julio	1,4452	1,2360	1,3254	1,3355
Agosto	0,2879	0,2977	0,2847	0,2901
Septiembre	0,2671	0,2714	0,2904	0,2763
Octubre	0,2731	0,2789	0,2701	0,2740
Promedio				0,8093

Realizado por: Gualancañay C.,2018

También requerimos las dimensiones del vertedero triangular, con el objetivo de encontrar la altura de carga, y determinar la altura media del fluido en el tanque decantador. En la figura 7-3, se muestra un plano de corte de la figura 6-3, en el que se muestra (con giro de 90° a la izquierda) las dimensiones del vertedero triangular. La ecuación que se requiere para determinar la altura de fluido media es:

$$\bar{h}_l = l_{s4} + \bar{h}_{\text{exp}} = l_{s4} + \sqrt[5]{\frac{\bar{q}_i}{\frac{8}{15} c \sqrt{2g} \tan\left(\frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{l_{s5}}{2l_{s4}}\right)\right)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Asumiendo que el valor de la altura del líquido experimental se encuentra entre 0,05 m y 0,25 m, según Thomson, $c=0,596$, se tiene:

$$\bar{h}_l = (1,35 - 0,37 - 0,15) + \sqrt[3]{\frac{0,8093 \times 10^{-3}}{\frac{8}{15}(0,593)\sqrt{2g} \tan\left(\frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{0,62}{2(0,37)}\right)\right)}} = 0,85093 \text{ m}$$

Dónde:

- \bar{h}_l Altura media del lixiviado en el decantador [m]
- l_{s4} Altura del vertedero triangular [m] (0,15 ancho del piso del sedimentador)
- \bar{h}_{exp} Altura media de fluido sobre el vértice del vertedero. [m]
- C Coeficiente de caudal del vertedero. [adm]
- \bar{q}_i Caudal de lixiviado medio. [m³/s]
- l_{s5} Ancho del vertedero triangular. [m]

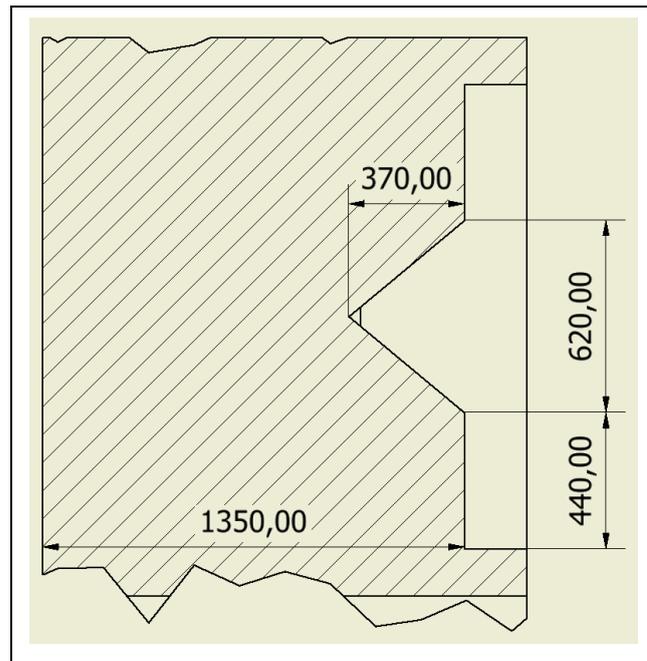


Figura 7-3: Vista de corte de plano de sedimentador.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

Para calcular el volumen promedio utilizado del sedimentador usamos la ecuación 1, cambiando la altura de diseño del sedimentador por la altura media del fluido.

$$V_{su}^i = l_{s1}^i l_{s2}^i \bar{h}_l$$

$$V_{su}^A = V_{su}^B = (1,800 - (2)(0,15))(1,425)(0,85093) = 1,8188 \text{ m}^3$$

$$V_{su}^C = (1,7 - (2)(0,15))(1,75 - (2)(0,15))(0,85093) = 1,7273 \text{ m}^3$$

Ecuación 4

$$V_{su}^T = \sum_{i=A}^C V_{su}^i \quad \text{Ecuación 5}$$

$$V_s^T = (2)(1,8188) + (1,7273) = 5,3649 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{su}^T Volumen medio total de decantador usado. [m³]

El porcentaje medio de volumen utilizado del sedimentador, se calcula dividiendo el volumen promedio utilizado y el volumen total del decantador.

$$\%V = \frac{V_{su}^T}{V_s^T} 10^2 = \frac{5,3649}{8,8270} 10^2 = 60,77\% \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\%V = \frac{V_{su}^T}{V_s^T f_s} 10^2 = \frac{5,3649}{8,8270(0,9)} 10^2 = 67,53\% \quad \text{Ecuación 7}$$

Esto muestra que en promedio el equipo no se encuentra operando a todo el volumen del decantador durante el período estudiado. Como resultado se tiene que el equipo tiene las dimensiones necesarias para tratar el flujo de lixiviado que ingresa. Aun agregando límite de seguridad para el volumen de 90% del total, se encuentra en un rango manejable.

Ahora calcularemos otros parámetros hidráulicos. El siguiente parámetro es el tiempo de retención, para ello usaremos la siguiente ecuación:

$$\theta_s = \frac{V_{su}^T}{q_i} = \frac{5,3649}{0,8096 \times 10^{-3} (3600)} = 1,84 \text{ h} \quad \text{Ecuación 8}$$

El tiempo de retención recomendado para clarificadores-decantadores es de 2 horas, con un rango que va desde 1,5 a 2,5 horas (WEF, 2006). Los siguientes parámetros a calcular son: la velocidad horizontal del fluido y la velocidad media de sedimentación. Usando la siguiente ecuación calculamos la velocidad horizontal del fluido:

$$v_h = \frac{q_i}{A_{ts}} = \frac{q_i}{\bar{h} l_{s1}} = \frac{0,8093 \times 10^{-3}}{(0,85093)(1,5)} = 6,3405 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \text{Ecuación 9}$$

Ahora determinaremos el diámetro promedio de las partículas, así como su factor de forma. Con el objeto de calcular la velocidad de precipitación de la partícula. Para calcular el tamaño de partícula usaremos la aplicación ImageJ, que procesa imágenes usando reconocimiento de

patrones. Las imágenes de microscopía fueron tomadas con distintos tipos de lentes en un microscopio normal para estudios de microbiología. En la figura 8-3, se observa las fotografías tomadas de muestras de agua a la entrada del sedimentador, junto está el resultado del procesamiento del software ImageJ, para el reconocimiento de partículas con forma esférica, en ellas se ha eliminado el fondo y los elementos no reconocidos como sólidos.

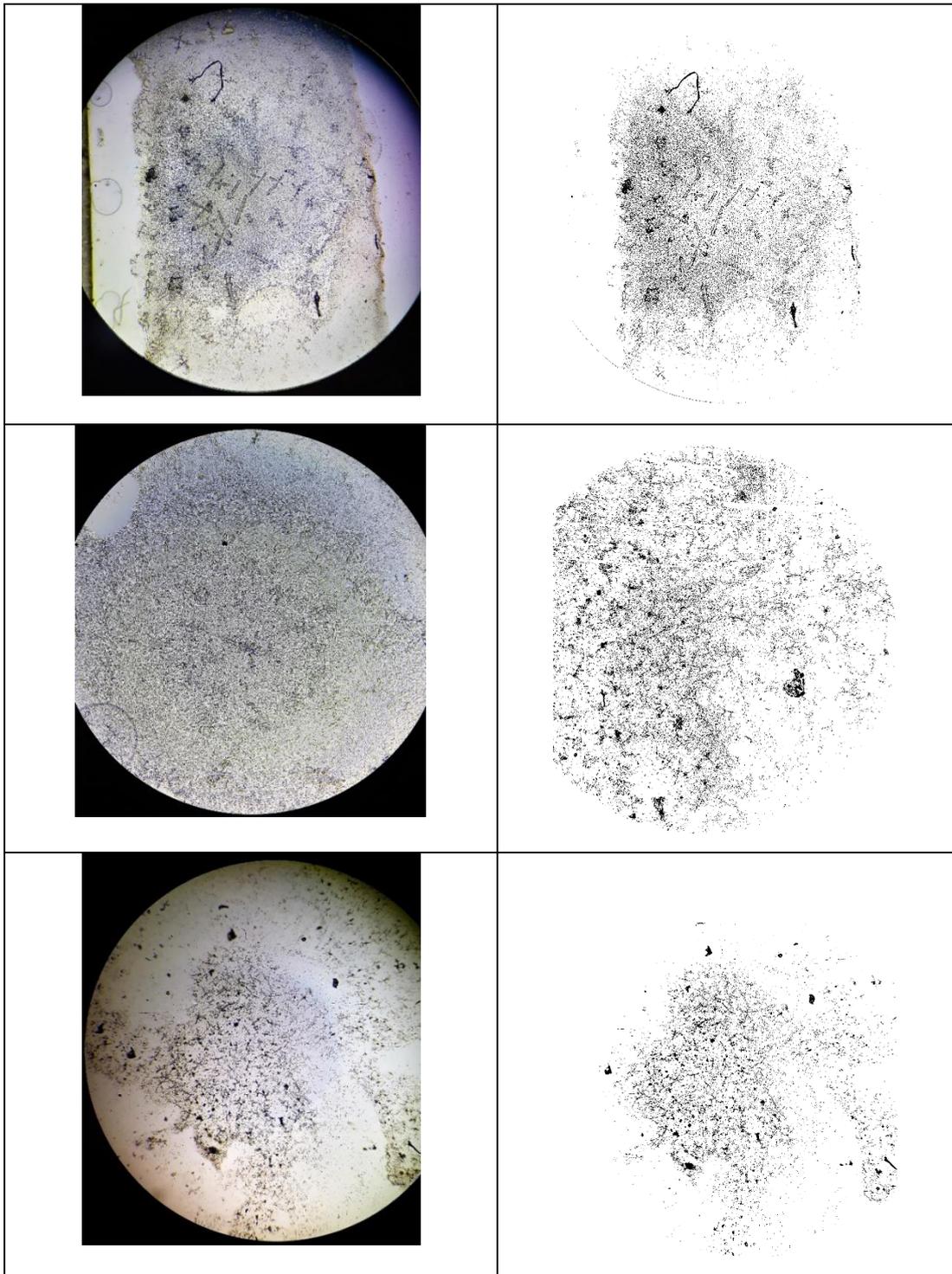


Figura 8-3: Fotografías e imágenes procesadas por ImageJ.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

Las fotografías de la figura 8-3, fueron tomadas con un microscopio para microbiología, usando un lente número 10 y 4. Como referencia para el software se usó el diámetro aproximado del campo visual de una lente número 10 de 1,7mm. Para el lente número 4 es 4.5mm. Los resultados para un total de 7 análisis con un total de 255430 datos, se muestran en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Resultados de análisis de datos con ImageJ .

Ensayo	Diámetro (mm)	Facto de forma
4-1	0,00449	0,7878
4-2	0,00442	0,7778
4-3	0,00448	0,7750
4-4	0,00489	0,8057
10-1	0,00815	0,7944
10-2	0,00062	0,7753
10-3	0,00181	0,7891
Media	0,00412	0,7865

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Los resultados muestran que el diámetro de partícula promedio de los 7 ensayos es de 4,12 micrómetros y el factor de forma de la partícula es de 0,7865. Con estos datos podemos calcular la velocidad de sedimentación. Para ello, usaremos la ecuación 12, ecuación para régimen turbulento. Para establecer que ecuación utilizar para el cálculo de la velocidad de sedimentación debemos determinar el número de Reynolds para el flujo de las partículas. Para ello, definimos que la temperatura del fluido es de 20°C, la densidad es igual a $998,4 \text{ kg/m}^3$ y la viscosidad dinámica es $1,003 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}$, suponiendo casi todo el flujo está compuesto por agua, podemos usar sus propiedades como líquido puro, como aproximación. La velocidad de sedimentación será calculada usando un proceso iterativo, como sigue: 1) Especificamos una velocidad supuesta de sedimentación, 2) Con la velocidad de sedimentación calculamos el número de Reynolds y el coeficiente de arrastre, 3) Recalculamos la velocidad de sedimentación usando la ecuación de Newton para la sedimentación, 4) Calculamos el error de aproximación como la diferencia entre el valor recalculado y el supuesto de la velocidad de sedimentación. Para esto usaremos el sol ver de Excel, las ecuaciones a ser usadas son:

$$\text{Re} = \frac{\rho v_s L}{\mu} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$C_d = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Re}}} + 0,34 \quad \text{Ecuación 11}$$

$$v_s = \sqrt{3,33g \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) d_p} = \sqrt{3,33g (sg_p - 1) d_p} \quad \text{Ecuación 12}$$

En la resolución se estima que el peso específico de las partículas se aproxima al peso de la arcilla esquillosa, con valores entre 1,8 a 2,5. (Waddell, Dobrowolski y Pérez Castellanos, 1997) El resultado de velocidad de sedimentación es $0,07893 \text{ m/s}$, mostrando que la velocidad de sedimentación de los sólidos suspendidos precipitables es mayor a la velocidad del fluido (velocidad horizontal). Esto garantiza la separación de los sólidos sedimentables, pero no dice nada aun de los demás sólidos, como: los solubles suspendidos, solubles volátiles y solubles fijos. Podremos estimar que los sólidos que tenderán a precipitar serán los sólidos fijos en mayor parte. En la figura 9-3 se muestran los resultados de la aplicación de ajuste por métodos numéricos para el modelo de sedimentación.

Cálculo de velocidad de sedimentación			
Parámetros	vs	0,078938907	[m/s]
	dp	4,12114E-06	[m]
	f_f	0,7865	[NA]
	μ	1,00E-03	[kg/ms]
	ρ	998,4	[kg/m ³]
	sgp	2,15	[NA]
Variables	Re	0,25	[NA]
	Cd	100,52	[NA]
	vs2	0,078938907	[m/s]
Objetivo	Error aprox.	1,24142E-10	[NA]

Figura 9-3: Resultados de cálculo iterativo de velocidad de sedimentación, Microsoft Excel.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

Para poder determinar la eficiencia en retiro de sólidos del decantador, es necesario tomar muestras de la entrada y salida. Aplicando análisis de laboratorio sobre el perfil de sólidos, los valores a determinar son: sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), sólidos fijos totales (SFT), sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos fijos (SDF) y los sólidos sedimentables. Para ello se usarán los procedimientos que se muestran en la tabla 2-3.

Tabla 11-3: Resultados de análisis de sólidos para entrada (E) y salida (S) del efluente del sedimentador.

	E (g/L)	S (g/L)	E (%)	S (%)
ST	19,0411	18,4489	100,00	100,00
SDT	17,4422	17,9044	91,60	97,05
SDF	13,0844	13,71	68,72	74,30
SDV	4,3578	4,20	22,89	22,75

SST	1,5989	0,5444	8,40	2,95
SSF	0,1522	0,0444	0,80	0,24
SSV	1,4467	0,5000	7,60	2,71
SVT	5,8044	4,6978	30,4837	25,4637
SFT	13,2367	13,7511	69,5163	74,5363

Realizado por: Gualancañay C., 2018

En la tabla 11-3, se muestran los resultados de los análisis de sólidos realizados a muestras de agua tomadas de la entrada y salida del proceso de sedimentación por gravedad. Si observamos los resultados muestran un aumento ligero de la cantidad de sólidos disueltos y una disminución considerable de los sólidos suspendidos, que al final llevan a disminuir la carga de sólidos. Pero la operación de retiro es ineficiente, dadas las características de la composición de los sólidos del efluente. Los porcentajes de sólidos disueltos rondan el 90% de los sólidos totales, en ambos casos. Pero se calculó el retiro de sólidos tanto disueltos y suspendidos:

$$\alpha_{SDT} = \frac{m_{SDT}^E - m_{SDT}^S}{m_{SDT}^E} \times 10^2 = \frac{17,4422 - 17,9044}{17,4422} \times 10^2 = -2,64\% \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\alpha_{SST} = \frac{m_{SST}^E - m_{SST}^S}{m_{SST}^E} \times 10^2 = \frac{1,5989 - 0,5444}{1,5989} \times 10^2 = 65,95\% \quad \text{Ecuación 14}$$

Los resultados de la eficiencia en remoción de sólidos disueltos y suspendidos totales, muestran un aumento de la carga de sólidos disueltos en 2,64%, mientras que existe una remoción de 66% de sólidos suspendidos. Cumple su función como decantador, al tener una eficiencia moderada en la remoción de partículas con tamaño, que permite su sedimentación (SST). De esto, podemos concluir que: **“Es necesario un proceso químico que permita sedimentar la carga de sólidos disueltos presentes en el afluente; que representan el 90% de la carga de sólidos”**.

3.2.4.3 Operación de digestión anaerobia

En la planta existen dos tanques enterrados que no se encuentran presentes en el diseño del MAE-CONSULTORACAV. LTDA., por tanto, se considera que fueron agregados posteriormente. Se analizó el agua entrante y saliente de estos equipos. Los resultados de laboratorio muestran que estos equipos inciden poco en el mejoramiento de las características del lixiviado. De hecho, el lixiviado aumenta su concentración de sólidos disueltos. En el caso de la DQO y DBO₅, estos parámetros son prácticamente los mismos. La remoción de sólidos suspendidos es baja en torno al 6%, de lo que se obtiene lodos, que según el personal del sistema de tratamiento se retira una vez al año.

3.2.4.4 Operación de biodigestión aerobia

El proceso aerobio se realiza en una laguna aireada, con ayuda de un compresor. La aireación no es continua, se realiza por un período de 4 horas diarias, según sugerencia de los constructores. Pero como se observa en la fotografía 3-3 y al compararla con la fotografía 2-3, no existe diferencia alguna entre el lixiviado de la operación de sedimentación y la operación de aireación. Sigue teniendo las mismas características. Con análisis se obtuvo que la carga de sólidos solubles, la DQO y DBO5 eran prácticamente iguales entre estos dos puntos de muestreo. Por tanto, establecemos que existe un factor que impide el proceso de degradación biológica. En la figura 10-3, se muestran los valores resultados del análisis de laboratorio de muestras tomadas de la piscina de aireación.



Fotografía 3-3: Piscina de aireación, tratamiento biológico del sistema de tratamiento de lixiviados.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

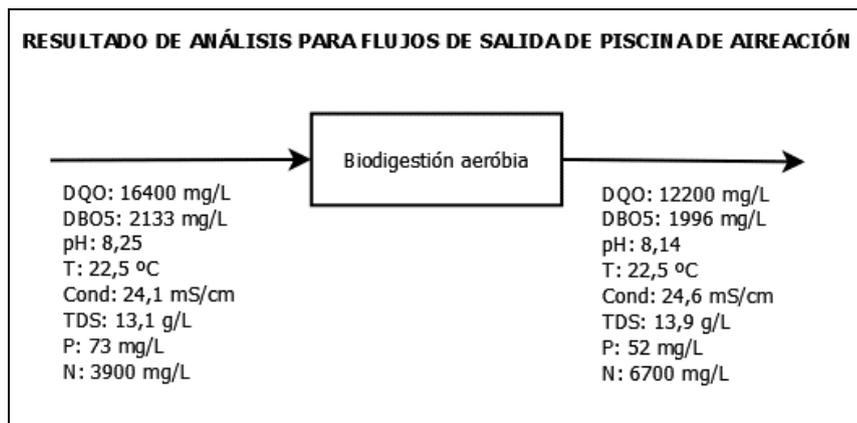


Figura.10-3: Resultados de análisis de laboratorio para efluentes y afluentes del proceso de biodigestión aerobia.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Calcularemos el tiempo de retención del lixiviado en esta piscina para poder replicarlo en ensayos de aireación en laboratorio. Para ello, se revisó los planos de diseño de la piscina presentes en el

estudio de diseño. Las dimensiones se presentan en la figura 11-3, donde se muestra un extracto de los planos mencionados.

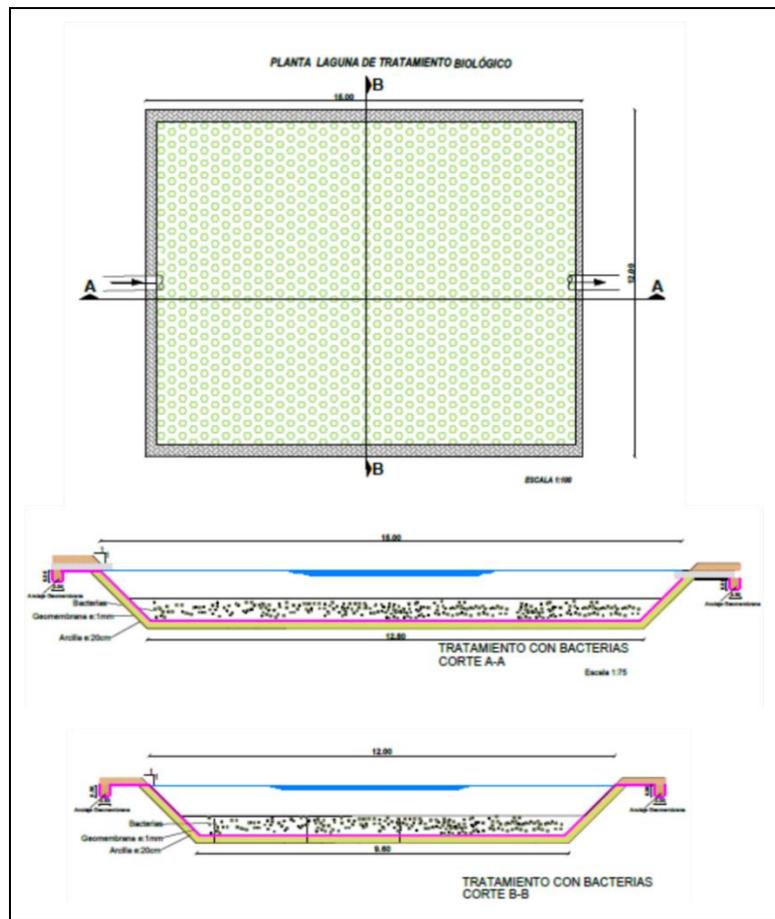


Figura 11-3: Planos para laguna de aireación propuesta por el estudio de diseño.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Para calcular el tiempo de retención del lixiviado en la piscina se hace uso de la ecuación 15, en la que se establece que:

$$\tau = \frac{V}{q} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- τ Tiempo de retención [h]
- V Volumen de la piscina de biotratamiento. [m³]
- q Caudal de entrada a la piscina. [m³/h]

Primero se calculará el volumen de la piscina de aireación o biotratamiento, para ello usaremos las medidas presentadas en la figura 11-3, y derivando una ecuación que permita obtener el volumen geométrico del espacio que ocupa el líquido, dada la forma de la piscina se obtiene:

$$V_T = l_{b2}l_{b3}l_{b5} - l_{b1}l_{b3}(l_{b2} - l_{b4})$$

$$l_{b1} = 12; l_{b2} = 15; l_{b3} = 1,3; l_{b4} = 12,8; l_{b5} = 9,6$$

$$V_T = (15)(1,3)(9,6) - (12)(1,3)(15 - 12,8) = 152,88m^3$$

Ecuación 16

Aplicando el principio de conservación de la masa, se puede estimar que la cantidad de masa que entra en la piscina es igual a la cantidad de masa que entra en el proceso. Es decir, el caudal de entrada es de 0,8093 L/s. El resultado es el siguiente:

$$\tau = \frac{152,88}{0,8093 \frac{3600}{1000}} = 52,47h \rightarrow 2,18día$$

Ecuación 17

3.2.4.5 Operación de fitorremediación

Luego del tratamiento biológico el lixiviado tratado pasa a las lagunas de fitorremediación que se muestran en la fotografía 4-3, que corresponden a la piscina lateral izquierda y al fondo a la derecha; la laguna en la posición delantera derecha es la laguna de tormentas. Un reservorio que se usa en momentos donde el caudal supera la capacidad de todas las piscinas del sistema de tratamiento. De esta laguna no se pudo obtener muestras de lixiviado, porque en el momento de realizar este trabajo se encontraban en mantenimiento. En el momento de la toma de la foto y las múltiples veces que se tomaron muestras del lixiviado, las piscinas se encontraban en etapa de drenado y resiembra. Por tanto, no se pudo realizar estudios de laboratorio a muestras de las corrientes de entradas y salidas del proceso. Como se presentó anteriormente, las plantas utilizadas en el proceso son las totoras, las cuales tienen algunas características que las vuelven idóneas para el tratamiento de lixivios, entre ellas están: su resistencia a la variación del pH (4-9), resistencia a condiciones de saturación de humedad y bajas concentraciones de oxígeno en el suelo. Las funciones que deben cumplir estas plantas son: servir de filtro en el proceso de separación de partículas, asimilación del nitrógeno, fósforo y metales, actuar como soporte para biopelículas, transportar oxígeno. (Clavijo, 2009, p. 130)



Fotografía 4-3: Disposición de lagunas de fitorremediación. 1) Laguna de tormentas, 2) laguna de fitorremediación 2 y 3) Laguna de fitorremediación 1.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

Lo primero es calcular el tiempo de retención en las lagunas de fitorremediación, para ello a partir de los planos se obtiene un volumen de $431,13 \text{ m}^3$, con el caudal de entrada al proceso de forma homologa al decantador, obtenemos el siguiente tiempo de retención.

$$t = \frac{V}{q} = \frac{431,13}{0,8093 \frac{3600}{1000}} = 148,03h = 6,16 \text{ dia} \quad \text{Ecuación 18}$$

Los mismo se hace para la laguna de tormentas. A partir de los planos se obtiene el volumen de la laguna que es de $223,7 \text{ m}^3$. Con el caudal el tiempo de retención es:

$$t = \frac{V}{q} = \frac{223,7}{0,8093 \frac{3600}{1000}} = 76,78h = 3,19 \text{ dia} \quad \text{Ecuación 19}$$

3.2.4.6 Estudio de la operación de pos tratamiento

Al final del tratamiento de fitorremediación el agua (ya no lixiviado) que cumple con los parámetros de descarga debe ser desinfectado. Este proceso se lleva a cabo en una laguna donde se deposita hipoclorito de sodio sólido. Esta piscina también se encontraba fuera de servicio, por tanto, muestras válidas para el análisis químico no se pudieron tomar. Por ende, no se hicieron análisis químicos que permitan evaluar el proceso. El tiempo de retención es mínimo, por las dimensiones se estima como máximo 1h.

3.2.5 Análisis experimental del proceso

En este punto, reuniendo toda la información de las operaciones que se analizaron y sobre las cuales se plantearon alternativas, que permitirán en teoría mejorar los parámetros para descarga del agua producto del tratamiento de lixiviados. Las propuestas siguen los esquemas mostrados en la figura 12-3.

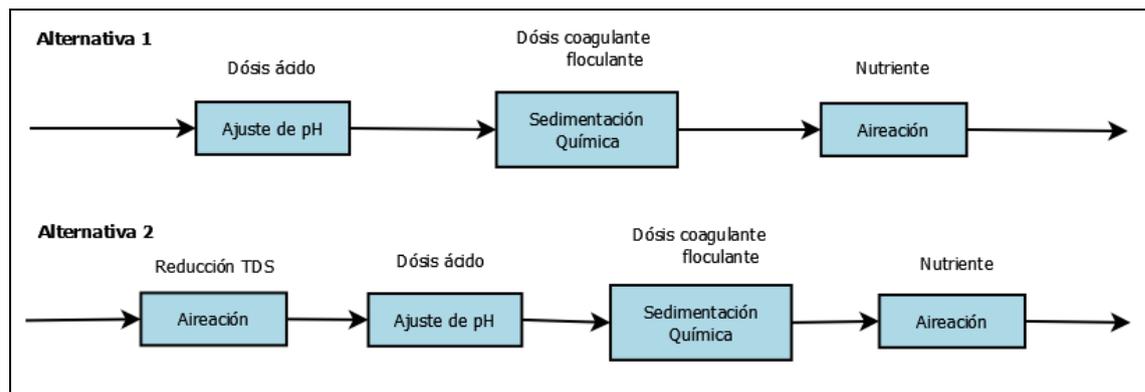


Figura.12-3: Esquema de alternativa 1 y 2, propuestas para optimizar los parámetros de calidad de los lixiviados tratados.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Para comprobar las alternativas, se hicieron pruebas experimentales con el objetivo de comprobar la evolución de las características del lixiviado en cada paso del proceso. Por ejemplo, para la alternativa 1 se hizo un ajuste de pH con el objetivo de encontrar el pH óptimo de sedimentación química. De igual forma se determinaron las dosis adecuadas de coagulantes y floculantes requeridos para reducir la turbidez. En la alternativa 2 se agregó una operación de aireación inicial cuyo objetivo es convertir una fracción de los sólidos disueltos en sólidos suspendidos por acción biológica, usando los microorganismos presentes en el lixiviado. El paso inicial es realizar las pruebas de jarras respectivas.

En la siguiente sección se muestran los resultados de los análisis experimentales para el tratamiento primario, que comprenden los procedimientos de ajuste de pH y sedimentación química.

3.2.5.1 Planteamiento de propuesta de mejora para tratamiento primario

Una vez determinado que el rendimiento del proceso de decantación es muy bajo, para la reducción de la carga de sólidos en el efluente del proceso, se propone la mejora idónea, a partir de análisis de laboratorio. Para ello, se realizó estudios de la concentración idónea de los reactantes para el proceso de sedimentación química, que debería reemplazar la sedimentación

por gravedad. Como más del 90% de los sólidos del lixiviado de entrada, comprendidos como sólidos disueltos, se debe optar por un procedimiento químico para clarificar el agua. En este planteamiento no se diseñó un clarificador como tal, solo se analizará el proceso químico de coagulación-floculación, para las condiciones del lixiviado, encontrando los niveles óptimos de clarificación y pH.

Lo primero es escoger que reactivos se usaran para el proceso. Como agentes coagulantes se usó: Sulfato férrico, Cloruro férrico, Sulfato de aluminio, Poli cloruro de aluminio. Como agente floculante se usó: Floculante no iónico, por ser la mayor parte de la carga de sólidos de origen orgánico. Para efecto de analizar el pH óptimo de trabajo de los agentes químicos, se usó ácido sulfúrico. Los resultados de las pruebas de los distintos coagulantes con un Floculante no iónico, se muestran a continuación.

Los resultados del tratamiento con Sulfato férrico se muestran en la tabla 12-3, y en el gráfico 1-3. Como se observa se tiene resultados variantes sin tendencia aparente. La gran dispersión de los datos muestra que el agua dada su composición genera resultados no concluyentes.

Tabla 12-3: Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato férrico.

SULFATO FÉRRICO						
N	V _c [mL]	V _f [mL]	T _r [NTU]	pH	C _c [ppm]	C _f [ppm]
1	1,00	3,00	344,00	8,42	198,41	5,95
2	2,00	3,00	345,00	8,42	396,04	5,94
3	3,00	3,00	334,00	8,42	592,89	5,93
4	4,00	3,00	352,00	8,42	788,95	5,92
5	5,00	3,00	343,00	8,42	984,25	5,91
6	6,00	3,00	348,00	8,42	1178,78	5,89
7	7,00	3,00	334,00	8,42	1372,55	5,88
8	8,00	3,00	347,00	8,42	1565,56	5,87

Realizado por: Gualancañay C.,2018

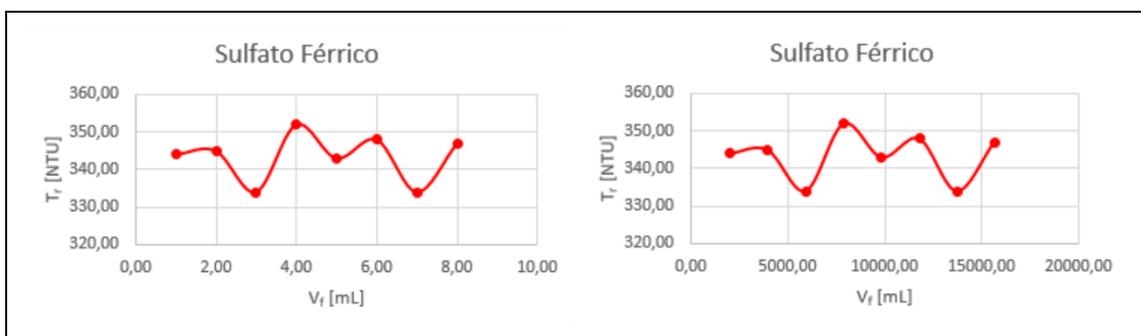


Gráfico 1-3: Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato férrico.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Dados los resultados obtenidos no se pudo obtener una expresión matemática con la cual calcular el volumen óptimo de coagulante. El mejor resultado se obtiene con 7mL con una turbidez final de 334 NTU. Este resultado tiene que compararse con los de los otros agentes coagulantes.

Se aplicó el mismo procedimiento para el Cloruro férrico, observado un comportamiento mucho más definido. Siendo el mejor resultado 314 NTU con 2 mL. Comprobando que a concentraciones bajas se obtiene mejores resultados en clarificación. Los resultados se muestran en la tabla 13-3 y el gráfico 2-3.

Tabla 13-3: Resultados de análisis de laboratorio para Cloruro férrico.

CLORURO FÉRRICO							
n	V _c [mL]	V _f [mL]	T _r [NTU]	pH _i	pH _f	Cc [ppm]	Cf [ppm]
1	1,00	3,00	321,00	8,42	8,05	198,41	5,95
2	2,00	3,00	314,00	8,42	8,06	396,04	5,94
3	3,00	3,00	324,00	8,42	8,07	592,88	5,92
4	4,00	3,00	316,00	8,42	8,08	788,95	5,91
5	5,00	3,00	364,00	8,42	8,09	984,25	5,90
6	6,00	3,00	366,00	8,42	8,10	1178,78	5,89
7	7,00	3,00	367,00	8,42	8,11	1372,54	5,88
8	8,00	3,00	352,00	8,42	8,12	1565,55	5,87

Realizado por: Gualancañay C.,2018

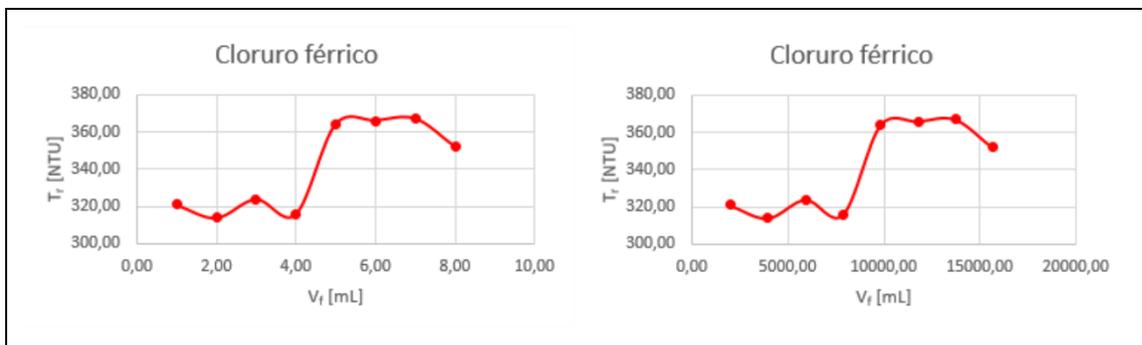


Gráfico 2-3: Resultados de análisis de laboratorio para Cloruro férrico.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Los resultados obtenidos con Sulfato de aluminio muestran una mejor respuesta en relación con la clarificación del agua. Siendo el mejor resultado el obtenido con 8 mL de solución al 10% con una turbidez de 273 NTU. Los resultados se muestran en la tabla 14-3 y gráfico 3-3.

Tabla 14-3: Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato de aluminio.

SULFATO DE ALUMINIO						
N	V _c [mL]	V _f [mL]	T _r [NTU]	pH	C _c [ppm]	C _f [ppm]
1	1,00	3,00	400,00	8,43	198,41	5,95
2	2,00	3,00	404,00	8,43	396,04	5,94
3	3,00	3,00	391,00	8,43	592,88	5,92
4	4,00	3,00	392,00	8,43	788,95	5,91
5	5,00	3,00	293,00	8,43	984,25	5,90
6	6,00	3,00	281,00	8,43	1178,78	5,89
7	7,00	3,00	290,00	8,43	1372,54	5,88
8	8,00	3,00	273,00	8,43	1565,55	5,87
9	10,00	3,00	455,00	8,14	1949,32	5,85
10	15,00	3,00	450,00	8,14	2895,75	5,79
11	20,00	3,00	455,00	8,14	3824,09	5,74
12	25,00	3,00	460,00	8,14	4734,85	5,68

Realizado por: Gualancañay C.,2018

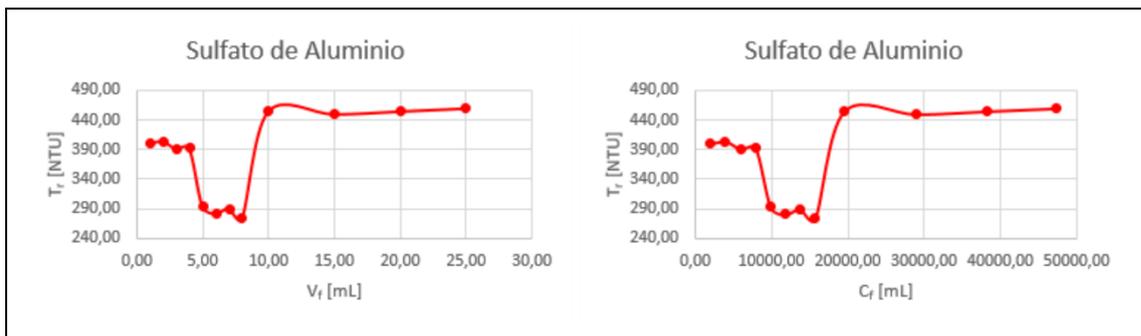


Gráfico 3-3: Resultados de análisis de laboratorio para Sulfato de Aluminio.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

El en caso del coagulante poli cloruro de aluminio se obtuvieron resultados parecidos, siendo el mejor de todos, igualmente con la prueba de 4 mL y una turbidez de 275 NTU. Con esto se observa que los mejores resultados se obtienen con poli cloruro y Sulfato de aluminio, por ello, se procede a hacer una prueba combinada de los dos agentes coagulantes.

Tabla 15-3: Resultados de análisis de laboratorio para Poli cloruro de Aluminio.

POLI CLORURO DE ALUMINIO						
n	V _c [mL]	V _f [mL]	T _r [NTU]	pH	C _c [ppm]	C _f [ppm]
1	1,00	3,00	339,00	8,42	198,41	5,95
2	2,00	3,00	300,00	8,42	396,04	5,94
3	3,00	3,00	278,00	8,42	592,88	5,92
4	4,00	3,00	275,00	8,42	788,95	5,91
5	5,00	3,00	347,00	8,42	984,25	5,90
6	6,00	3,00	321,00	8,42	1178,78	5,89
7	7,00	3,00	312,00	8,42	1372,54	5,88
8	8,00	3,00	284,00	8,42	1565,55	5,87
1	10,00	3,00	388,00	8,14	1949,32	5,85
2	15,00	3,00	360,00	8,14	2895,75	5,79
3	20,00	3,00	339,00	8,14	3824,09	5,74
4	25,00	3,00	318,00	8,14	4734,85	5,68

Realizado por: Gualancañay C.,2018

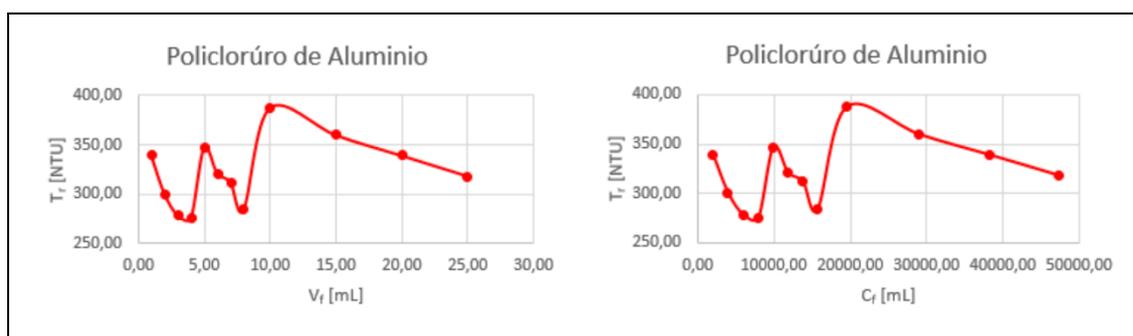


Gráfico 4-3: Resultados de análisis de laboratorio para Poli cloruro de Aluminio.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Las pruebas combinadas con los reactivos PAC y Sulfato de aluminio, se realizaron con concentraciones en rangos de 5000 ppm hasta 25000 ppm. En la tabla 16-3 y gráfico 5-3, se muestran los resultados para las pruebas de 20000 ppm, de agentes coagulantes combinados. Para ello se trabajó con concentraciones simétricas de agentes, completando los 20000 ppm.

Tabla 16-3: Resultados de análisis de laboratorio para mezclas PAC/Sulfato de aluminio.

MEZCLA: PAC (c2) + SULFATO DE ALUMINIO (c1)					
N	V _{c1} [mL]	V _{c2} [mL]	V _f [mL]	T _r [NTU]	pH
1	20,00	5,00	6,00	392,00	8,14
2	15,00	10,00	6,00	386,00	8,14
3	10,00	15,00	6,00	316,00	8,14
4	5,00	20,00	6,00	312,00	8,14

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Los resultados muestran que a mayor concentración de PAC se obtiene mejores resultados en la clarificación.

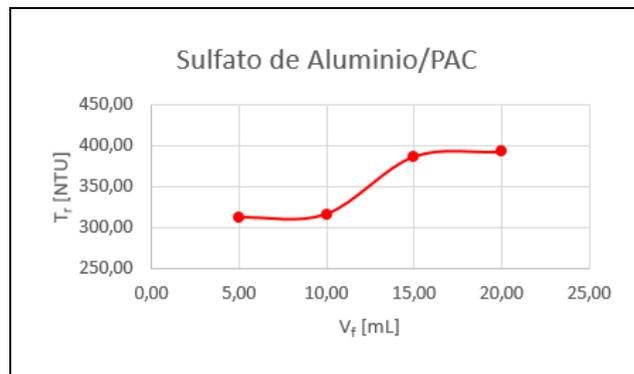


Gráfico 5-3: Resultados de análisis de laboratorio combinadas PAC/ASL.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Se evaluó también el efecto del pH, sobre la dosificación volumen 20/20 de soluciones al 10% de agentes coagulantes. Obteniendo los resultados mostrados en la tabla 17-3 y los gráficos 6-3, 7-3, 8-3 y 9-3.

Tabla 17-3: Resultados de análisis de laboratorio para mezclas 20/20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.

N	pH _i	T _{ri}	V _a [mL]	pH _{fi}	V _{c1} [mL]	V _{c2} [mL]	pH _{f2}	T _r [NTU]	SST [ppm]	color [PtCo]	DQO [mg/L]	DBO [mg/L]
1	8,39	539	2	6,79	20	20	6,95	370	347	5000	13460	
2	8,39	539	3	6,20	20	20	5,71	270	280	4860	11860	
3	8,39	539	4	5,11	20	20	4,7	170	287	4580	12980	
4	8,39	539	5	4,38	20	20	4,3	143	215	3800	13220	

Realizado por: Gualancañay C., 2018

De los resultados se pueden obtener ecuaciones matemáticas, que permitirán obtener el pH óptimo en relación con la turbidez.

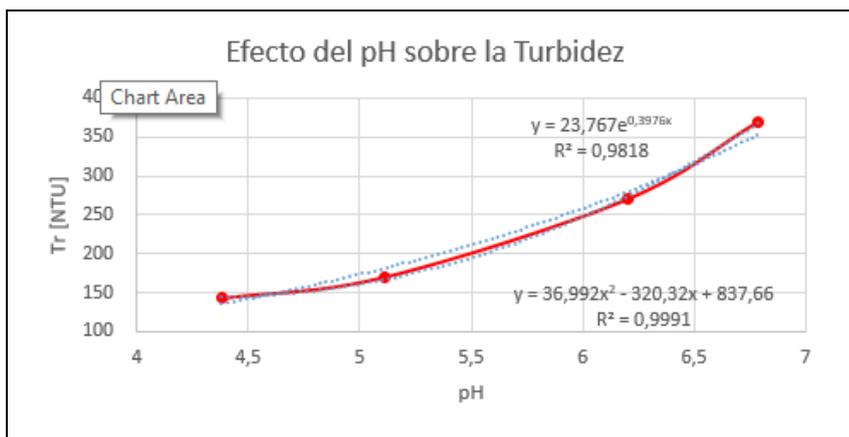


Gráfico 6-3: Resultados de análisis de laboratorio para Turbidez, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

Para obtener el pH óptimo usamos el método de la derivada de la función cuadrática, ya que tiene un mínimo dada su geometría. La ecuación exponencial resulta en un valor indefinido o irresoluble.

$$Tr(pH) = k_1 (pH)^2 + k_2 pH + k_3;$$

$$k_1 = 36,992, k_2 = -320,32, k_3 = 837,66$$

$$\frac{dTr}{dpH} = 2k_1 pH + k_2$$

$$0 = 2k_1 pH - k_2 \Rightarrow pH = \frac{k_2}{2k_1} = \frac{320,32}{2(36,992)} = 4,32$$

Ecuación 20

Como resultado se obtiene un pH de 4,32 como valor óptimo para obtener la menor turbidez (144,23 NTU). (van Loosdrecht et al., 2016) Pero para asegurar la supervivencia de los microorganismos se optará por un pH de 5.

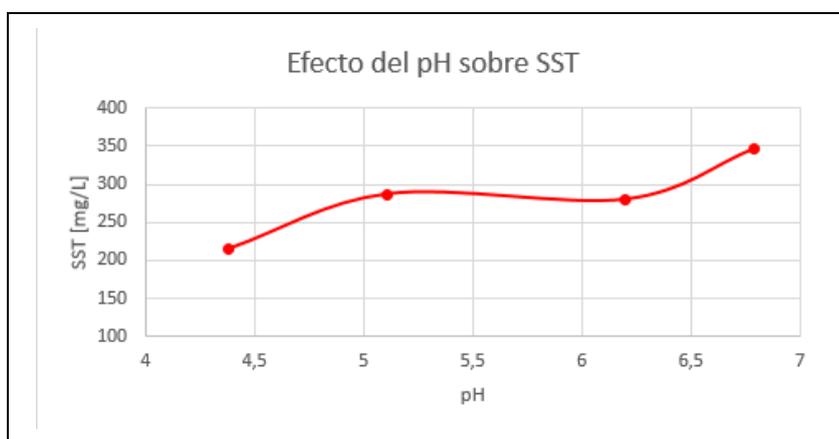


Gráfico 7-3: Resultados de análisis de laboratorio para SST, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

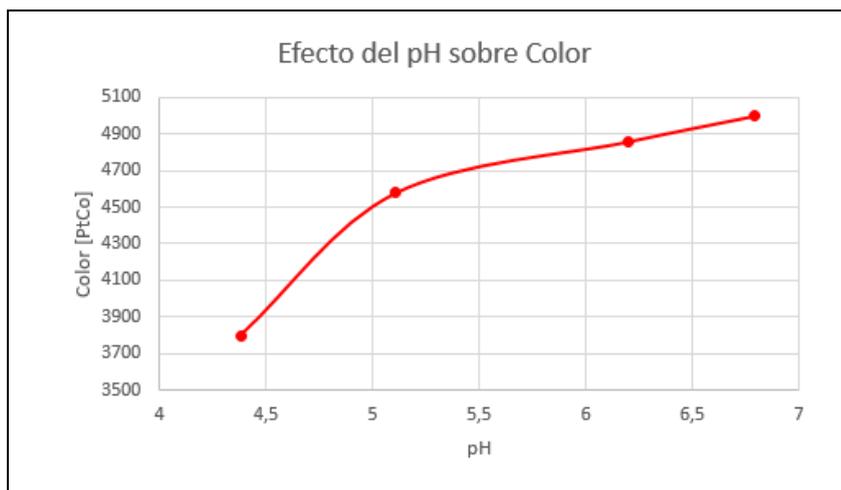


Gráfico 8-3: Resultados de análisis de laboratorio para Color, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH
Realizado por: Gualancañay C., 2018

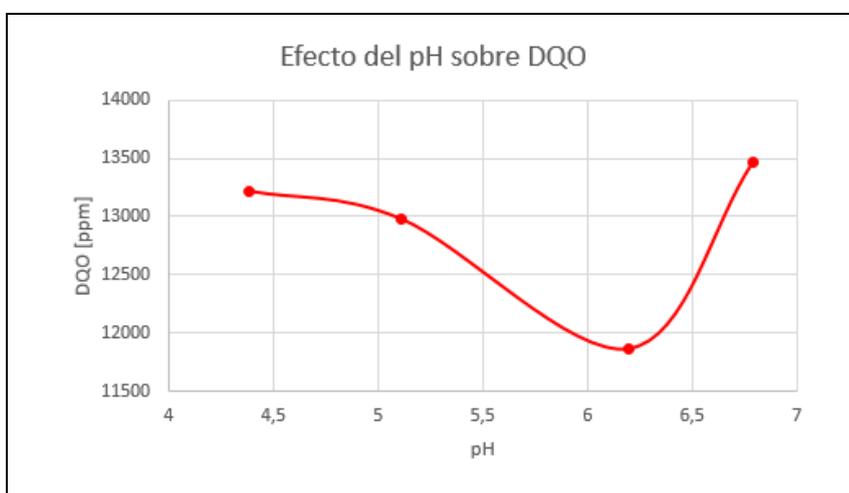


Gráfico 9-3: Resultados de análisis de laboratorio para DQO, sol. 20:20 PAC/Sulfato de aluminio, con variación de pH.
Realizado por: Gualancañay C., 2018.

En los gráficos 7-3, 8-3, 9-3, se muestra los demás parámetros evaluados (sólidos suspendidos totales, color y DQO). En este punto se planteó dos alternativas de mejora para el tratamiento primario del lixiviado. Una contempla agregar una etapa de clarificación química usando los reactivos PAC, Sulfato de aluminio y Floculante no iónico, previa al tratamiento biológico. La segunda comprende agregar una etapa de aireación y una clarificación química. En la figura 13-3, se muestra el planteamiento de las dos alternativas para el tratamiento de sólidos del lixiviado.

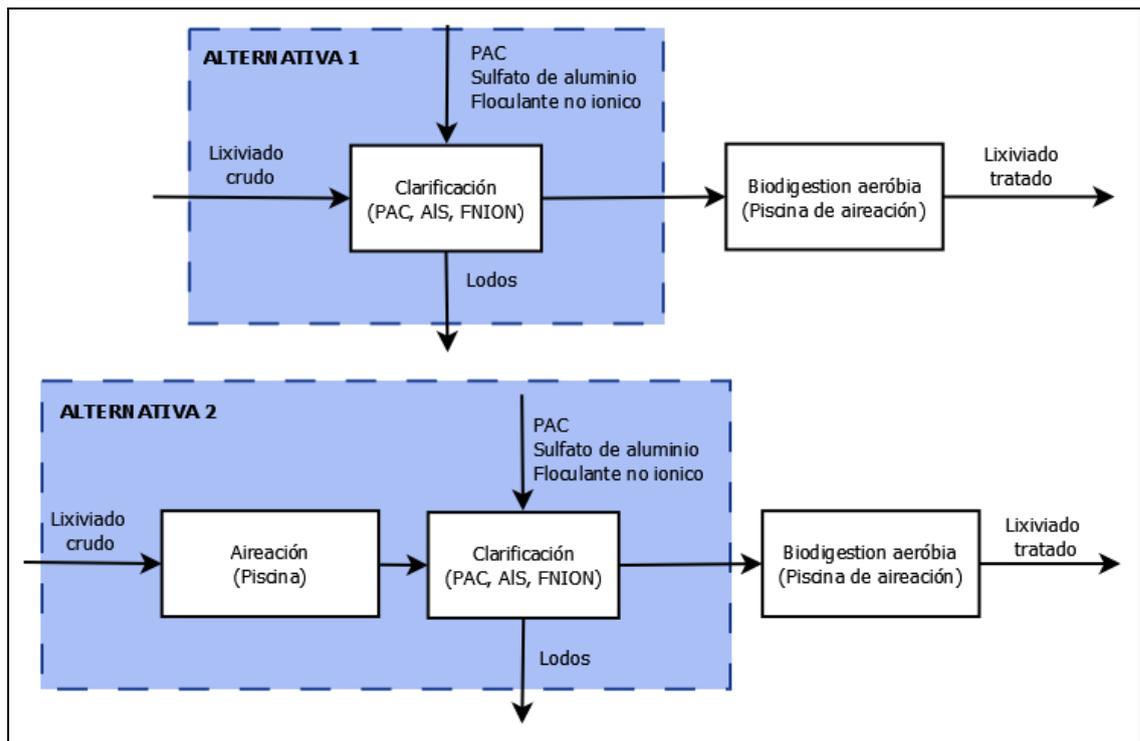


Figura 13-3: Esquema de las alternativas planteadas para el tratamiento de sólidos del lixiviado de la celda emergente de Porlón.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Los resultados experimentales mostrados hasta este punto, tratan el procedimiento relacionado con la alternativa 1. A continuación, se muestran los resultados de tratar previamente el lixiviado con un proceso de aireación (alternativa 2). Para probar nuevamente si existe una mejora en la clarificación del lixiviado tratándolo previamente con aireación, se montó un equipo (improvisado), que permitió tratar 10 L, del lixiviado con un flujo de aire constante por 24 h. El resultado fue un cambio de color de negro a marrón y una reducción de la emisión de olores. Teniendo un olor a amoníaco como resultado de los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica.

Con el lixiviado aireado, se procedió a hacer pruebas con 20 mL con soluciones de PAC y Sulfato de aluminio. El resultado permitió descartar el reactivo PAC en estas condiciones por presentar mayor turbidez que la muestra original. La muestra original tenía una turbidez de 937 NTU, y el resultado con PAC era de 1200 NTU. Esto se debía a que el coagulante formaba con los sólidos en suspensión, una película más espesa la cual aumentaba la turbidez. Los resultados obtenidos con Sulfato de aluminio, mostraban una reducción de la turbidez, por tanto, se prosiguió a hacer las pruebas con variaciones del pH. Los análisis de la muestra recién aireada dan los siguientes resultados: pH en crudo = 7,39; pH de aireación = 8,97 y Turbidez después de aireación (937 NTU).

Tabla 18-3: Resultados de análisis del efecto del pH, V=10 mL.

n	Ph	V _c [mL]	T _r [NTU]
1	6,56	10	386
2	5,98	10	370
3	5,43	10	357
4	4,85	10	372

Realizado por: Gualancañay C.,2018

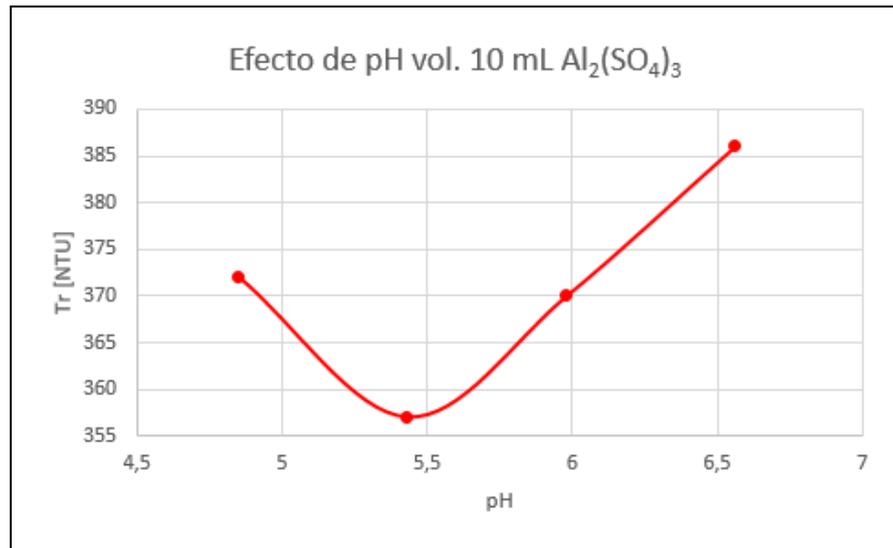


Gráfico 10-3: Resultados de análisis de laboratorio para efectos del pH para dosificación de Al₂(SO₄)₃, V=10mL.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

En la tabla 18-3 y el gráfico 10-3, se presentan los resultados del análisis para variaciones del pH, manteniendo constante la dosis en 10 mL. Hay una disminución de la turbidez en torno al rango de pH (5-6). A continuación, se prueba con variaciones en el volumen manteniendo el pH en el rango 5-6, los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 19-3 y el gráfico 11-3.

Tabla 19-3: Resultados de análisis del efecto del pH, V= (4:2:10) mL.

n	Ph	V _c [mL]	T _r [NTU]
4	5,43	4	650
3	5,76	6	473
2	5,91	8	414
1	5,98	10	370

Realizado por: Gualancañay C.,2018

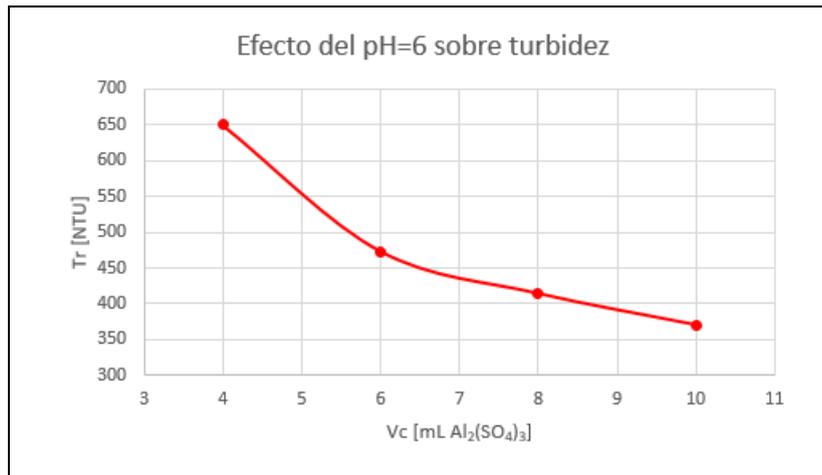


Gráfico 11-3: Resultados de análisis de laboratorio para efectos del pH para dosificación de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $V = (4:2:10)$ mL.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

Los resultados de mantener el pH y variar el volumen muestran una relación inversa entre el volumen de coagulante y la turbidez. De esto se obtiene que, a mayor concentración mayor reducción de la turbidez. Para continuar aumentamos el volumen de dosificación para observar el comportamiento del tratamiento. Los resultados se muestran en la tabla 20-3 y el gráfico 12-3.

Tabla 20-3: Resultados de análisis del efecto del pH, $V = (10:5:25)$ mL.

n	Ph	V _c [mL]	T _r [NTU]
1	4,92	10	444
2	5,01	15	382
3	5,08	20	341
4	5,01	25	394

Realizado por: Gualancañay C.,2018

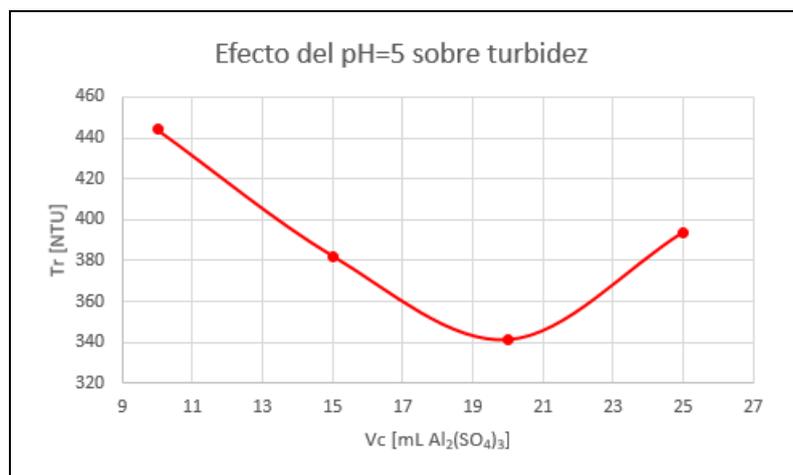


Gráfico 12-3: Resultados de análisis de laboratorio para efectos del pH para dosificación de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $V = (10:5:25)$ mL.
Realizado por: Gualancañay C.,2018

Comprobamos que el mejor resultado se obtiene con un volumen de 20 mL de solución de Sulfato de aluminio, el análisis de la DQO muestra un valor de 12480 mg/L, sólidos suspendidos de 328 mg/L. Con el objetivo de sentar las bases para hacer una comparación entre la alternativa 1 y 2. Reduciremos a la mitad la dosis en una última prueba combinada. Para ello se dosificará 10 mL de sulfato de aluminio, 10 mL de PAC y 3 mL de coagulante no iónico a muestras de 500 mL de lixiviado previamente aireado. Los resultados muestran que la combinación genera una reducción de la turbidez hasta 157 NTU.

Tabla 21-3: Resultados de análisis de prueba combinada 10/10 PAC/ASL.

V _{c1} [mL]	10,0
V _{c2} [mL]	10,0
V _f [mL]	3,0
V _a [mL]	2,5
pH1	5,10
pH2	4,87
Tr [NTU]	157
Color (PtCo)	3720
SST [mg/L]	135
DQO [mg/L]	9360

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Los resultados son parecidos a los de la alternativa 1. A continuación, se comparó las dos alternativas y elegiremos la mejor. En las figuras 14-3 y 15-3, se muestran las alternativas con los resultados de los análisis de laboratorio, con las dosificaciones y las propiedades de las corrientes en rango o valores experimentales.

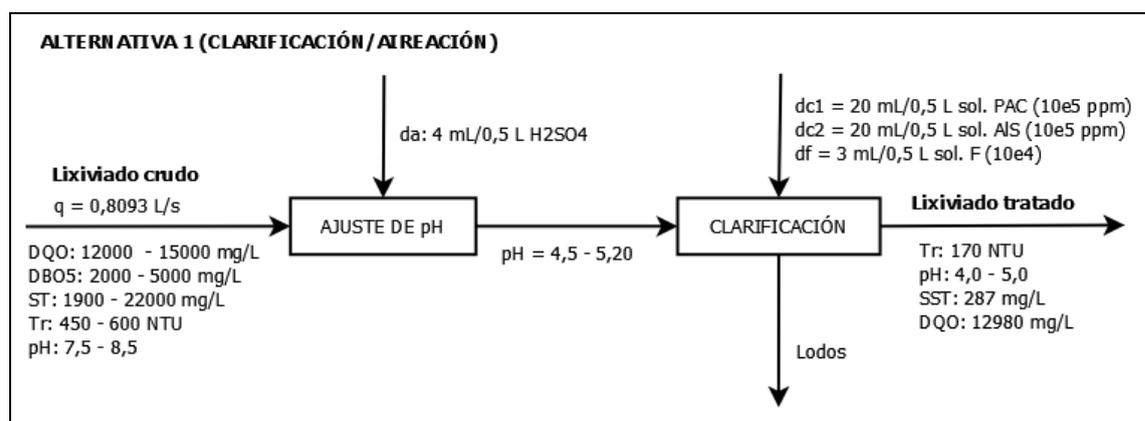


Figura 14-3: Esquema con resultados de laboratorio para alternativa 1 de tratamiento primario.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

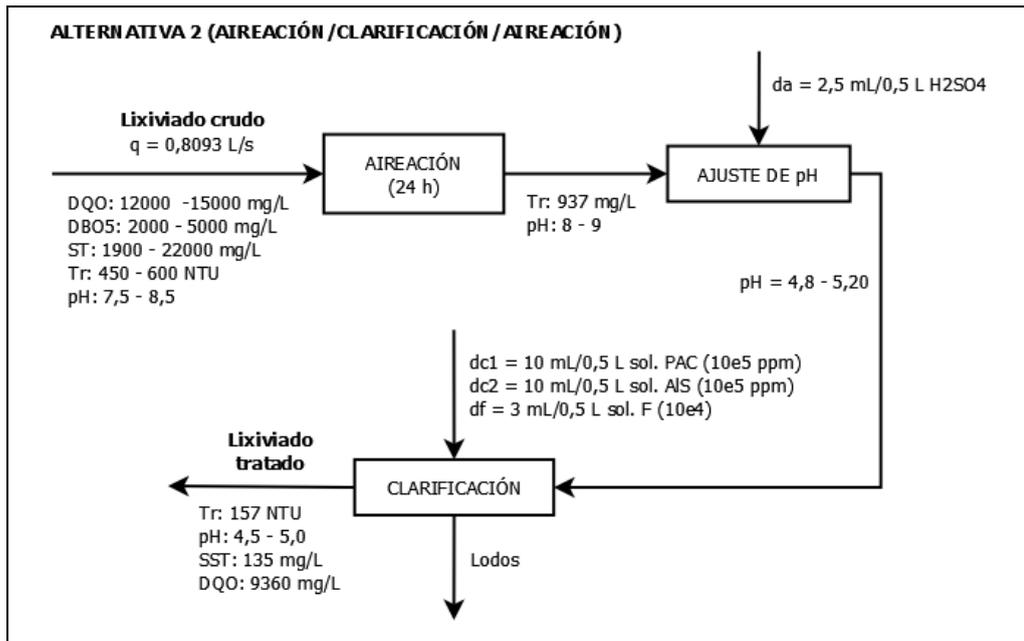


Figura 15-3: Esquema con resultados de laboratorio para alternativa 2 de tratamiento primario.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

En este punto se debe determinar, cuál de las dos alternativas resulta mejor en relación con los costos del tratamiento. Primero vamos a comparar el número de operaciones. La alternativa 1 tiene dos operaciones: ajuste de pH y la clarificación con compuestos químicos. La alternativa 2, cuenta con 3 operaciones: aireación inicial, ajuste de pH y un proceso de clarificación química. El segundo criterio es la cantidad de reactivos, que se traducen en costos operativos. Para ello, se realizaron los cálculos necesarios para determinar las cantidades diarias y anuales de reactivos necesarias para cada alternativa. En la figura 16-3 y 17-3, se muestra la evaluación de para los flujos de reactivos diarias y anuales. Las dosificaciones diarias para la alternativa 1, muestran que se requieren 560 L al día de solución de ácido sulfúrico al 37%. A parte, se requieren 567,80 kg al día de coagulantes y floculantes. En la alternativa 2, se requieren 250 L al día de solución al 37%. Requiriendo 285 kg al día de coagulantes y floculantes. En este punto se puede determinar que la mejor alternativa es la 2, por requerir menor cantidad de reactivos.

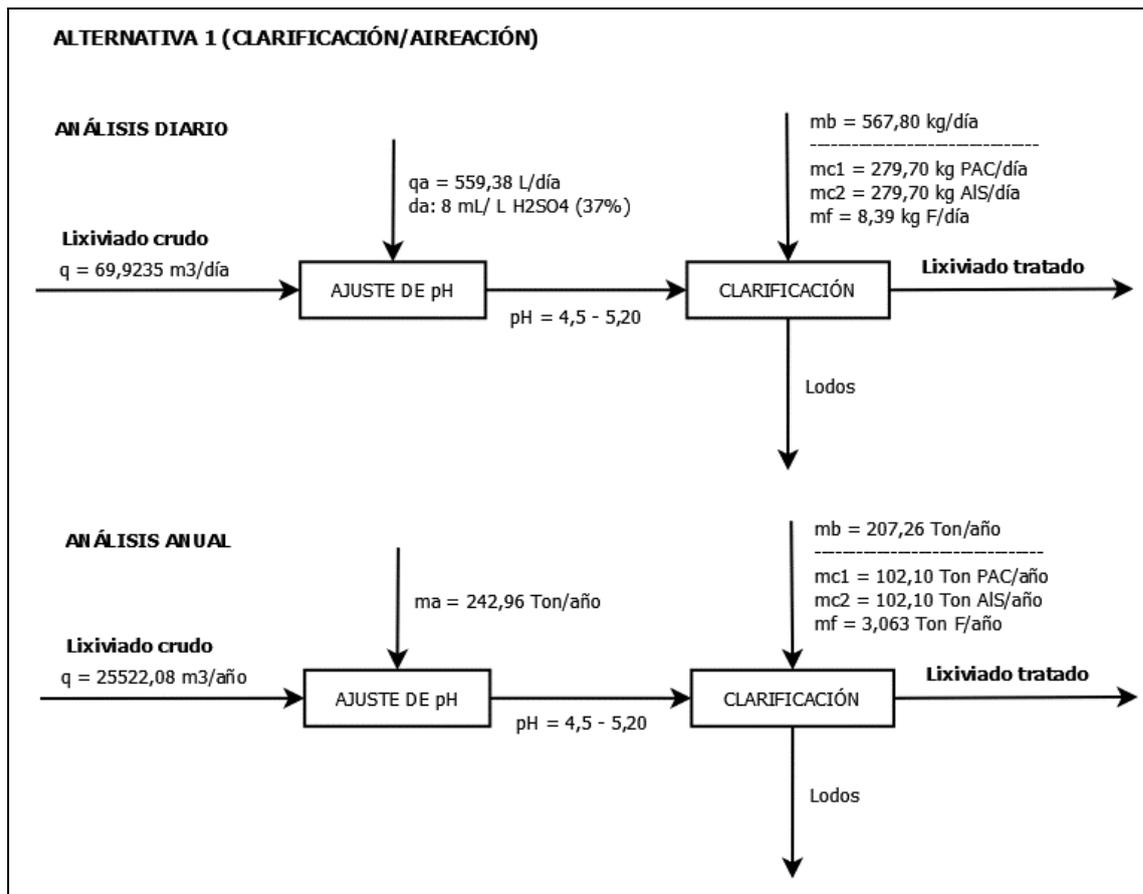


Figura 16-3: Esquema con resultados de balance de masa y económico para alternativa 1 de tratamiento primario.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

En el análisis anual, la alternativa 1 muestra que se requieren 243 Toneladas de ácido sulfúrico al 37% y 207,26 Ton de coagulantes y floculantes, para tratar 25522 metros cúbicos de lixiviados que equivalen a 25450 toneladas. La alternativa 2 muestra que requiere al año 151,63 Toneladas de ácido sulfúrico al 37%, y 105,16 toneladas de coagulantes y floculantes, con el mismo volumen de lixiviado.

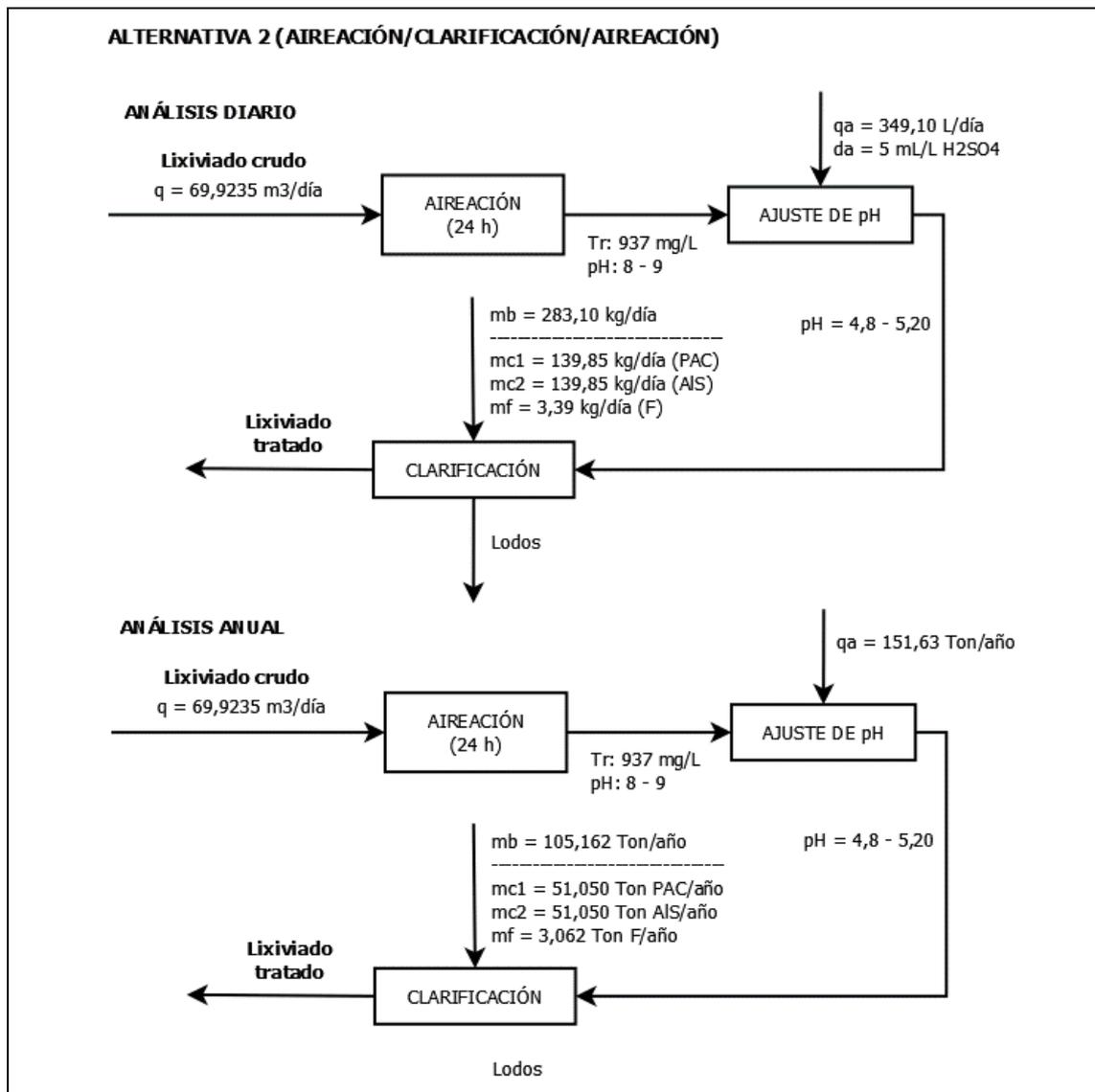


Figura 17-3: Esquema con resultados de balance de masa y económico para alternativa 2 de tratamiento primario.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

3.2.5.2 Planteamiento de propuesta de mejora para tratamiento biológico aerobio

Dados los ensayos realizado en laboratorio sobre el proceso de aireación bajos condiciones replicadas de la operación de la planta de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de Porlón. Las sugerencias de mejora se enfocan en garantizar la concentración adecuada de oxígeno disuelto en la piscina y la dosificación de nutrientes que promuevan el crecimiento y la degradación, llevada a cabo por los microorganismos.

Con el objetivo de probar y encontrar cual es el o el conjunto de factores que afectan al proceso de biodigestión anaerobia, se realizó una prueba experimental con lixiviado crudo sin tratamiento. En primera instancia probamos si el tiempo de aireación afectaba el proceso de digestión aerobia

de la materia orgánica, y se comprobó que en aireación constante hay un cambio visible del lixiviado, pasando de un color negro a marrón claro, y una disminución significativa del olor, pasando de un olor insoportable a un olor amoniacal, más tolerable.



Fotografía 5-3: Aireación para muestra cruda de lixiviado, sin tratamiento previo de eliminación de sólidos.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

En la fotografía 5-3, se observa el primer ensayo de aireación sobre la muestra de lixiviado crudo a la cual se le sometió a aireación continua sin aplicarle solución nutriente alguna. El resultado fue una disminución del olor y la aparición de amoníaco en la muestra. Esto denota que se ha producido un proceso de nitrificación del agua. Se realizaron pruebas con coagulantes y floculantes posteriormente con el objetivo de poner en práctica la alternativa 2, del proceso de tratamiento de sólidos. Al ser una prueba del efecto de la aireación continua, el volumen de muestra fue insuficiente, para realizar todas las pruebas necesarias para determinar la idoneidad de la alternativa 2. En la fotografía 6-3, se muestra el segundo ensayo de aireación de lixiviado crudo con un mayor volumen (15 L), lo que permitió realizar 12 pruebas cuyos resultados se observan en las tablas 18-3, 19-3 y 20-3. El tiempo de aireación fue de 3 días, y se obtuvieron los mismos resultados: un cambio de color y una reducción de los olores. Pero a mayor volumen también, se puede notar que hay un tiempo menor a los 3 días aplicados de aireación, donde los microorganismos parecen ya no degradar la materia orgánica. Si el proceso tiene un flujo de oxígeno constante, el factor limitante se encuentra en la concentración de los nutrientes. Al analizar las muestras luego del proceso de aireación, estas mostraron que aún existía materia orgánica (sustrato) por degradar. La concentración de oxígeno era adecuada (>2 ppm), entonces el problema provenía de otros componentes que se requieren para el proceso biológico de las

células bacterianas. Por ello, se necesita la dosificación de nutrientes. Existen muchos productos que sirven para este propósito. Se usó la misma mezcla de nutrientes del sistema tratamiento de Porlón, Alfa POBs del fabricante EUROVIX S.A.



Fotografía 6-3: Aireación para muestra cruda de lixiviado, para realizar prueba de tratamiento de sólidos “alternativa 2”.

Realizado por: Gualancañay C.,2018



Fotografía 7-3: Aireación para muestra cruda de lixiviado, con tratamiento de sólidos “alternativa 1”.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

En la fotografía 7-3, se muestra el ensayo de aireación para una muestra de lixiviado tratada con la dosificación de la alternativa 1 para retirar sólidos. El proceso redujo varias propiedades como

sólidos totales, turbidez, carga de sólidos totales, DBO5, pero de forma contradictoria se mantienen altos los niveles de DQO. Eso quiere decir, que existe una alta concentración de materiales oxidables de origen no orgánico. Esto requirió del uso de una etapa posterior de oxidación química de aquel material.

Tabla 22-3: Resultados de análisis de prueba combinada 10/10 PAC/ASL.

Prueba	Análisis preliminares		Aireación		
	1	2	Día 1	Día 2	Día 3
Fecha	15/01/2019	15/01/2019	16/01/2019	17/01/2019	18/01/2019
pH	8,45	4,95	4,7	4,75	4,79
Tr	570	170	42,4	28	25,3
TDS	1,6	...	0,1	5,1	5,9
T	19,7	20	21,1	20,5	20,4
Color	-	4580	2040	1420	1220
DQO	-	12980	10380	9760	8880
DBO5	-	1500	-	-	-

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Los resultados muestran una reducción de todas las propiedades del lixiviado, el olor también disminuye, pero en menor medida. El tiempo de retención de 66 horas, mostró también que existe un límite de tiempo inferior a este, en el cual toda actividad metabólica de los microorganismos se detiene.

3.2.5.3 Planteamiento de método para la reducción de DQO.

Luego de haber revisado de forma experimental las dos alternativas planteadas, se obtiene como resultados la reducción de algunos parámetros. Pero en el caso de la DQO esta permanece en niveles muy altos entre 9000 – 12000 mg/L. Esto es un problema que hace imposible su descarga.

Analizando el proceso decidimos revisar si el ajuste de pH, estaba aumentando la concentración de azufre en el agua. Este exceso de azufre se comportaría como sulfuros en el análisis de la DQO, dando como resultados los altos valores observados. Entonces se plantea una alternativa 3 de tratamiento. En esta alternativa se elimina el ajuste de pH y se mantiene en el rango de 8-9, valor normal del lixiviado. En la figura 18-3 se compara la alternativa 2 y la 3, donde se observa la eliminación del proceso de ajuste pH.

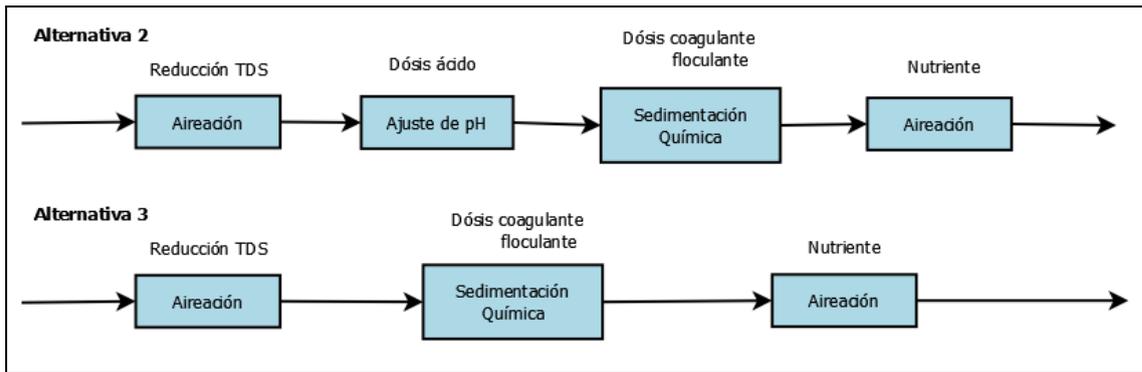


Figura 18-3: Esquemas de las alternativas 2 y 3.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Se realizan las mismas pruebas que en los casos anteriores y se llega a los resultados mostrados en la figura 19-3. En esta se observa que el procedimiento da como resultado un nivel más bajo de DQO. Por tanto, se opta por no ajustar el pH, pero esto repercutirá en las dosis de coagulante y floculante a usar.

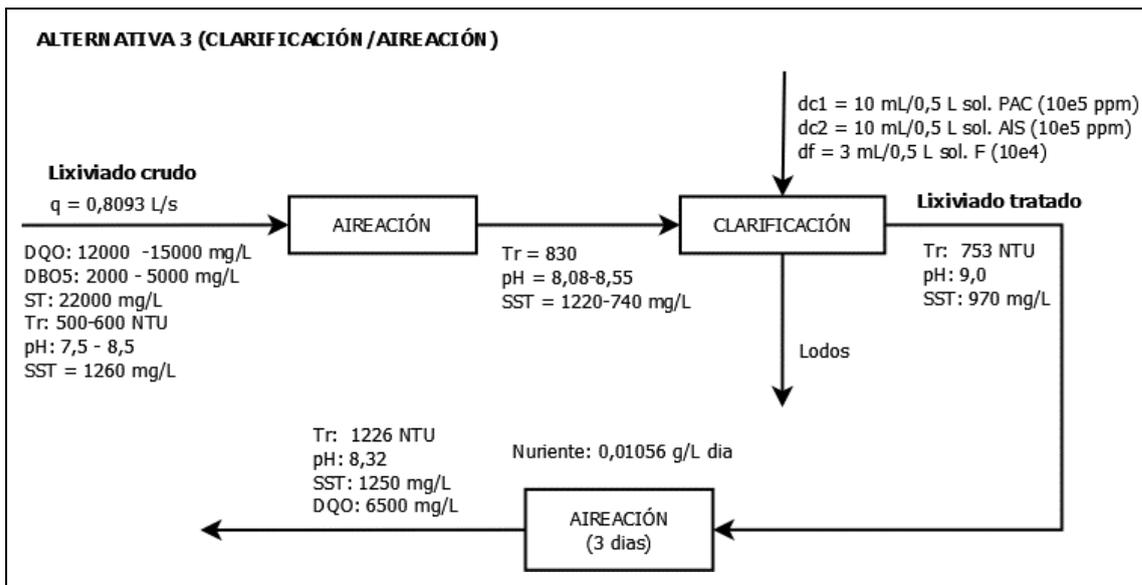


Figura 19-3: Esquema con resultados de la propuesta 3.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Según los resultados el ácido y sus residuos remanentes luego del ajuste de pH al lixiviado, afecta al nivel de DQO. Entonces para la propuesta final se eliminó esta operación.

Los parámetros del lixiviado en esta etapa aún se encuentran fuera de norma. Para ello, se analizó la presencia de sólidos solubles en el agua. Por tanto, se agrega una segunda etapa de sedimentación química. Analizando las dosis necesarias se obtuvo un mejor resultado con la dosis de 30 mL PAC/L lixiviado (10%), 30 mL/L $Al(SO_4)_3$ lixiviado (10%) y 2 mL de floculante al (0,1%). Los resultados se muestran en la figura 20-3.

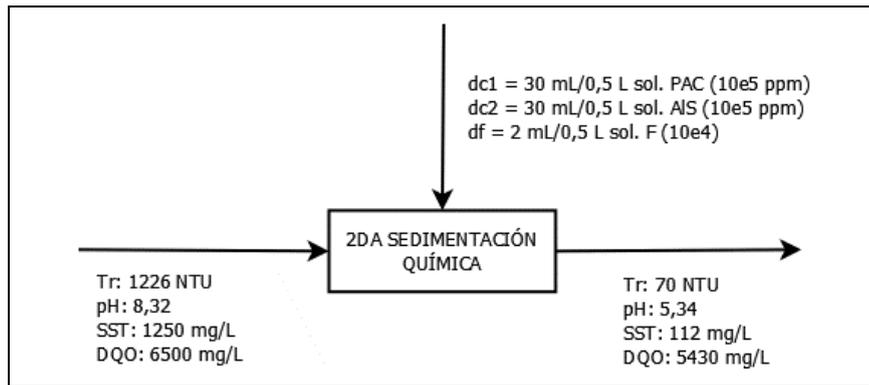


Figura 20-3: Esquema con resultados del segundo tratamiento de sedimentación química.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

El resultado fue una mejora significativa en la turbidez y sólidos disueltos, mientras que en DQO la reducción fue significativamente mejor. Con el objetivo de reducir aún más la DQO, se procede a aplicar fitorremediación.

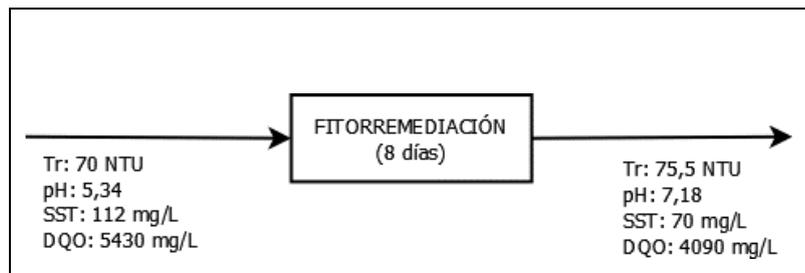


Figura 21-3: Esquema con resultados del tratamiento de fitorremediación.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Los resultados de la fitorremediación con totoras (*Schoenoplectus californicus*), dispuestas como se muestra en el anexo F, redujeron significativamente la DQO del lixiviado al igual que el olor y la carga de sólidos. Como se muestra en la figura 21-3. Se analizó los niveles de sólidos disueltos en el producto del tratamiento y se encontró que aún tenía una carga de 10280 mg/L de sólidos totales. Por esto, se aplicó una nueva sedimentación química. Tras analizar la dosificación necesaria para reducir la turbidez del agua, se determinó que la dosis idónea es de 13 mL de PAC (10%) por litro de lixiviado tratado y 10 mL de Floculante no iónico al (0,1%), los resultados del tratamiento se observan en la figura 22-3.

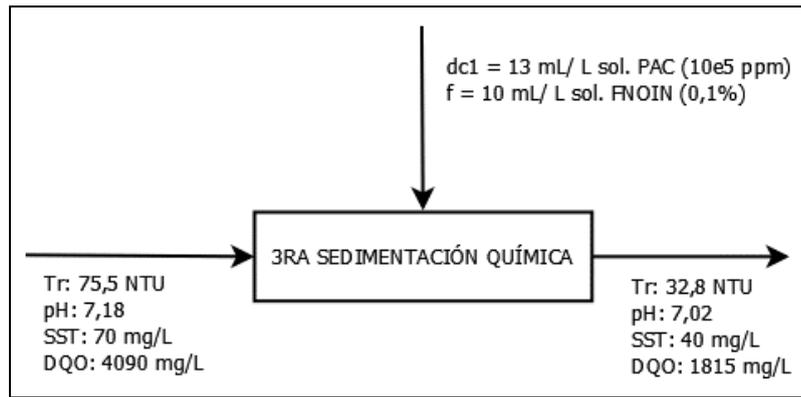


Figura 22-3: Esquema con resultados del tercer tratamiento de fitorremediación.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Al producto de la tercera sedimentación se le realizaron pruebas logrando una reducción significativa de la turbidez, sólidos suspendidos y la DQO. Como última etapa se aplicó filtros con el objetivo de reducir el color amarillento que aún tenía y los olores en la medida de lo posible. Los resultados de los filtros se muestran en la figura 23-3.

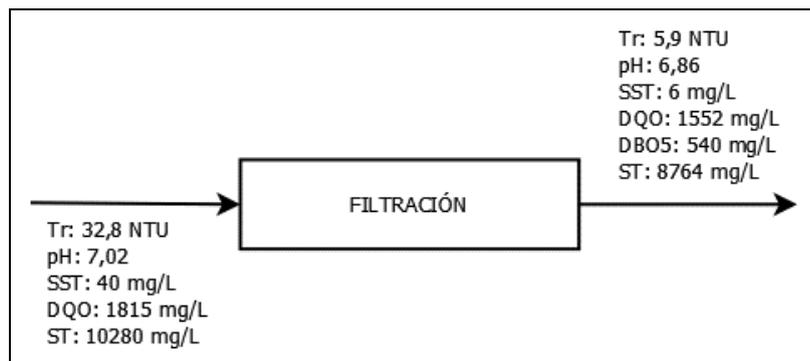


Figura 23-3: Esquema con resultados del tratamiento de filtración.

Realizado por: Gualancañay C.,2018

El resultado de la operación de filtración muestra una mejora considerable en parámetros como: la turbidez, sólidos suspendidos, DQO y los sólidos totales. La distribución de los filtros y las fotografías resultado del proceso se muestran en el anexo I.

3.2.5.4 Resumen del procedimiento experimental

Reuniendo los datos y los análisis realizados al lixiviado, y el análisis hecho al proceso, se puede plantear una alternativa de solución al problema. El problema principal es la carga de sólidos disueltos. Por ello, se requiere en el proceso de estudio experimental, tres etapas de sedimentación química con dosis altas de coagulantes y floculantes.

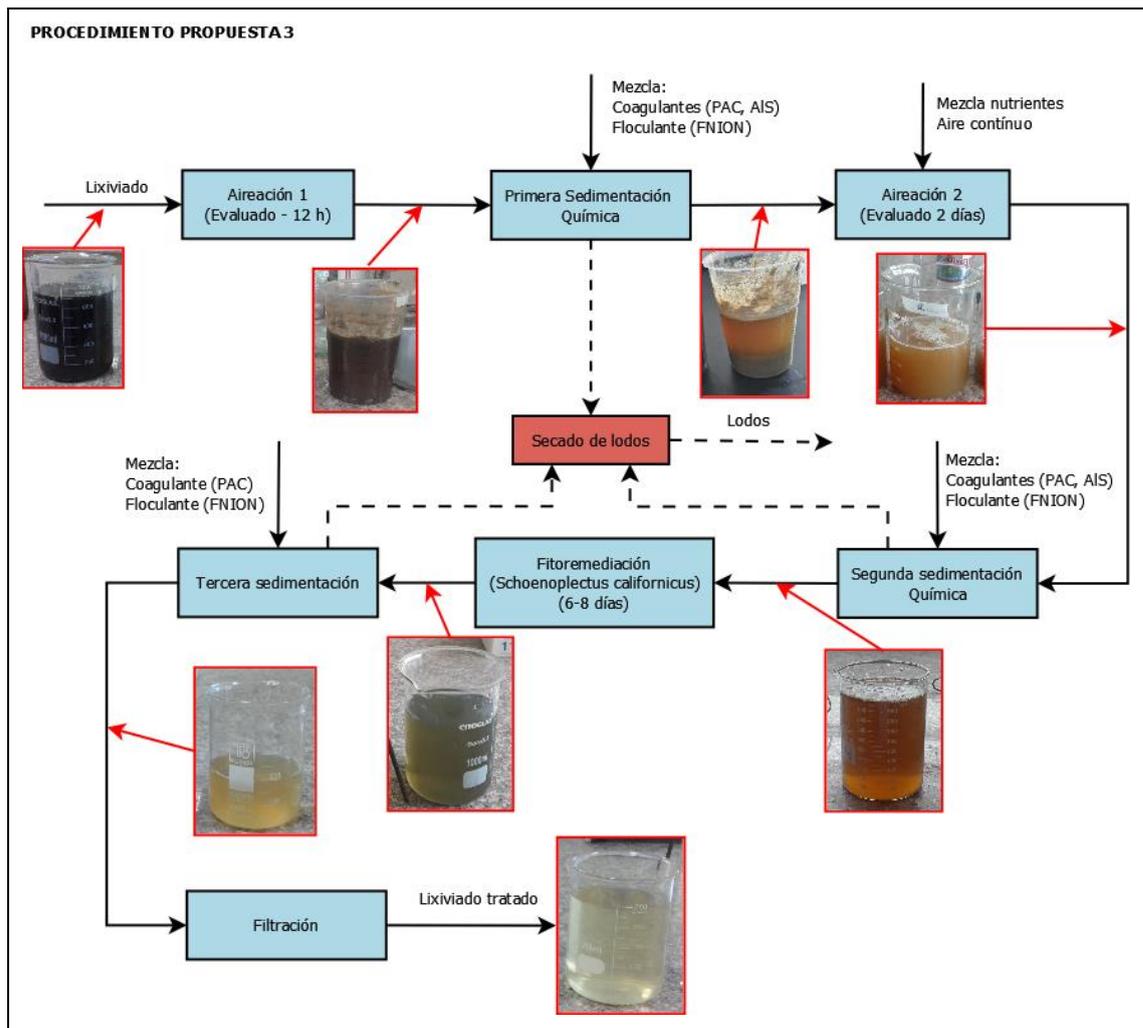


Figura 24-3: Esquema del procedimiento realizado para el tratamiento del lixiviado.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

Como se observa en la figura 24-3, con el cambio de coloración del agua se puede observar una mejora en la turbidez y color del lixiviado. Se describirá una vez más de forma general como se realizó el proceso: el lixiviado en primera etapa es sometido a una aireación para disminuir los sólidos disueltos, como se observa en el transcurso del proceso. El agua se torna más turbia debido al aumento de los sólidos suspendidos, por la acción de los microorganismos. En este punto el lixiviado se somete a una sedimentación química con: Poli cloruro de aluminio, Sulfato de aluminio y Floculante no iónico. Las dosis se especifican en la figura 19-3, esto permite la transición de un lixiviado turbio color marrón a un color naranja más translucido. Las características químicas se muestran en la misma figura. Luego de decantado el líquido de los lodos, estos se someten a una nueva aireación, en este paso se le agrega nutrientes y aire de forma continua. El agua tras la aireación aumenta su turbidez nuevamente y se somete a una segunda sedimentación con los mismos químicos en la dosis mostrada en la figura 20-3. Otra vez, se decanta el líquido y se separan los lodos. La mejora en turbidez es notable en este punto y se procede a aplicar el proceso de fitorremediación. El tiempo en el que el agua estuvo en tratamiento

fue de 8 días, el resultado es un agua más clara, pero de coloración verde. En este punto se revisa los niveles de sólidos, los cuales eran muy altos. Como resultado se aplica un tercer tratamiento de sedimentación química. En esta etapa solo fue necesario usar Poli-cloruro de aluminio y floculante al 0,1%, las dosificaciones se presentan en la figura 22-3. La mejora es notoria y se procede a aplicar filtración sobre el producto obteniendo. El producto final a pesar de tener una apariencia traslúcida, aún sigue sin cumplir parámetros de DQO y DBO₅.

Dado que es ineficiente tener tres procesos de sedimentación en distintas etapas, se puede agrupar en una sola etapa de sedimentación química, después de la primera aireación. (Joss et al., 2004) El resultado se muestra en la figura 25-3.

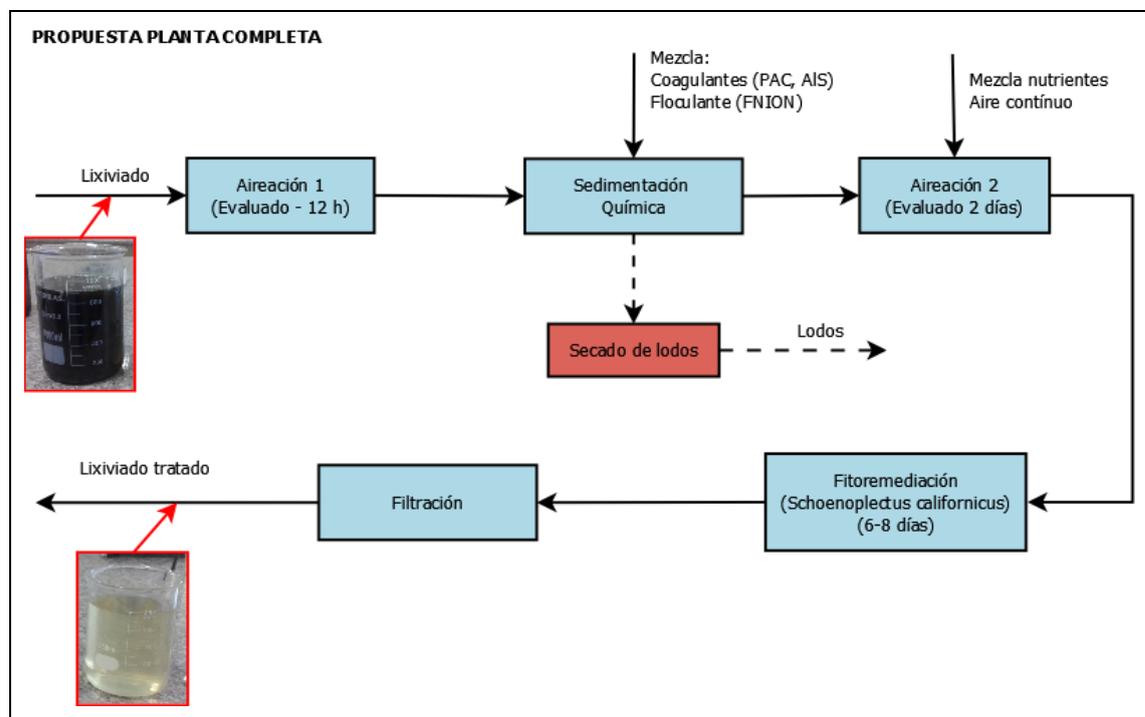


Figura 25-3: Esquema de la propuesta de tratamiento para optimización del proceso.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

De esto se obtuvo que el porcentaje de remoción de DQO es del 89,78%, DBO₅ de 89,2%, sólidos totales de 60,16% y en turbidez de 99,01%.

Para calcular las cantidades de reactivos requeridas según los resultados experimentales, se multiplica las dosis usadas con el mejor resultado obtenido, por el flujo de lixiviado. A continuación, se muestra el método de cálculo.

$$F_{cl} = qd_{cl}c_{cl} = \left(0,8093 \frac{Llix.}{s} \cdot \frac{3600 s}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 día}\right) \left(9300 \frac{mgPAC}{Llix.} \cdot \frac{1 kg PAC}{10^6 mg PAC}\right) = 650,28 \frac{kg PAC}{día}$$

$$F_{c_2} = qd_{c_2}c_{c_2} = \left(0,8093 \frac{\text{Llix. } 3600 \text{ s } 24 \text{ h}}{\text{s } 1 \text{ h } 1 \text{ día}}\right) \left(8000 \frac{\text{mgASL}}{\text{Llix.}} \frac{1 \text{ kg ASL}}{10^6 \text{ mg ASL}}\right) = 559,38 \frac{\text{kg ASL}}{\text{día}}$$

$$F_{c_3} = qd_{c_3}c_{c_3} = \left(0,8093 \frac{\text{Llix. } 3600 \text{ s } 24 \text{ h}}{\text{s } 1 \text{ h } 1 \text{ día}}\right) \left(110 \frac{\text{mg FNION}}{\text{Llix.}} \frac{1 \text{ kg FNION}}{10^6 \text{ mg FNION}}\right) = 7,69 \frac{\text{kg FNION}}{\text{día}}$$

Donde:

F Flujo de masa de reactivo químico. [kg/día]

Q Caudal de lixiviado. [L/s]

d_{ci} Dosis de reactivo usada. [mL/L lixiviado]

c_{ci} Porcentaje en masa del reactivo [%_{m/m}]

3.2.6 Propuesta para optimización

3.2.6.1 Esquema de planta

De los estudios experimentales, análisis químicos y otros procedimientos realizados, se construye una propuesta para la distribución de planta, que permitió mejorar los parámetros de los lixiviados tratados. En la figura 26-3, se muestra el diagrama de proceso con las operaciones que son propuestas para mejorar el funcionamiento de la planta.

PROPUESTA PARA OPTIMIZACIÓN DE PROCESO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE PORLÓN

EP-001 Laguna de aireación
Objetivo: Reducir DQO, SDT

EP-002 Tanque Mezclador PAC
Objetivo: Preparar y dosificar solución PAC (10%)

EP-003 Tanque Mezclador ASL
Objetivo: Preparar y dosificar solución ASL (10%)

EP-004 Tanque Mezclador FNION
Objetivo: Preparar y dosificar solución FNION (1%)

EP-005 Floculador
Objetivo: Homogeneizar mezcla y permitir formación de floculos.

EP-006 Decantador
Objetivo: Separar el lixiviado tratado de los lodos (floculos) producto de la adición de químicos.

INSTALACIONES PROPUESTAS

DOSIFICACIÓN /ALMACENAMIENTO DE REACTIVOS

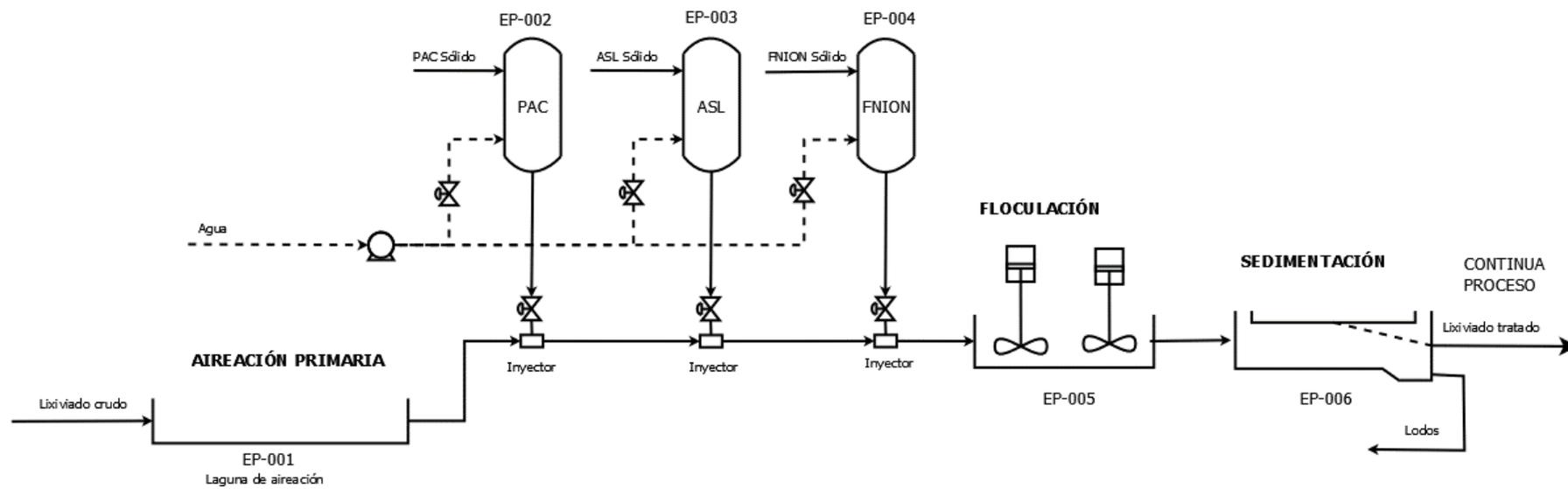


Figura 26-3: Diagrama de proceso de propuesta de optimización del tratamiento de lixiviado.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

3.2.6.2 Diseño de laguna de aireación (EP-001)

Para calcular las dimensiones de la laguna de aireación, se empleará un conjunto de ecuaciones que permitieron determinar en base al tiempo de residencia requerido y el volumen a tratar en dicho período, las dimensiones estructurales de la piscina. En la figura 27-3, se muestra las dimensiones que se tomaron en cuenta en el proceso de diseño de la laguna de aireación.

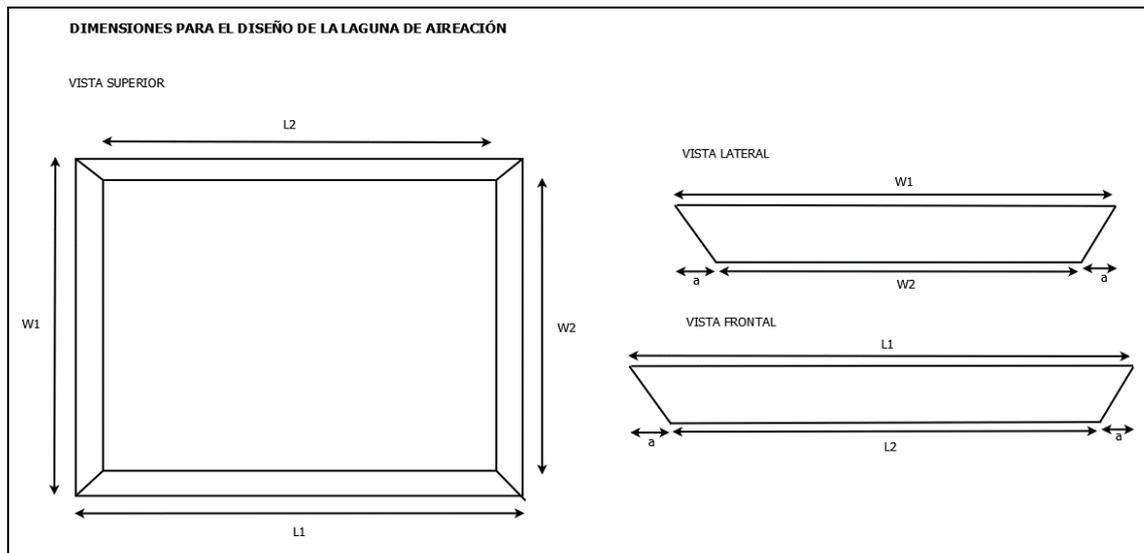


Figura 27-3: Diagrama de variables para diseño de laguna de aireación.

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Para calcular el volumen que tendrá la piscina, se parte del caudal medio de lixiviado y con el tiempo de retención medio determinado en la parte experimental, se obtiene lo siguiente:

$$V = qt_r = \frac{0,8093 \times 3600 \times 24}{1000} = 69,92 m^3 \quad \text{Ecuación 21}$$

Con el volumen de la laguna y estableciendo algunos parámetros como el factor de seguridad ($sf = 0,15$), el espacio ($a = 0,7$ m), el factor de proporción ($k = L_1/W_1 = 1,2$) y la altura ($h = 1,5$ m), aplicando un método numérico de aproximación simple a la siguiente expresión, basada en el cálculo del volumen de la pirámide truncada, se obtiene las dimensiones.

$$V' = \frac{(W_2 L_2) + (W_1 L_1) + \sqrt{(W_2 L_2)(W_1 L_1)} h}{3}$$

$$V_f = V(1 + sf); \quad k = \frac{L_1}{W_1}; \quad W_2 = W_1 - a; \quad L_2 = L_1 - a$$

$$e = V_f - V' \rightarrow 0 \text{ Aprox. simple} \quad \text{Ecuación 22}$$

Resolviendo el ajuste numérico con Excel los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23-3: Resultados de dimensionamiento de laguna de aireación.

V [m ³]	sf	Vf [m ³]	h [m]	L1 [m]	K
69,92	0,15	70,058	1,5	8,244	1,2
a [m]	W1 [m]	L2 [m]	W2 [m]	Vc [m ³]	Error (e)
0,7	6,870	6,84	5,47	70,05795	4,79E-05

Realizado por: Gualancañay C.,2018

Dónde:

- V Volumen nominal de laguna en un día.
- Sf Factor de seguridad de diseño (15%).
- V_f Volumen de diseño ajustado con factor de seguridad.
- K Constante de diseño.
- H Altura del tanque de almacenamiento.
- L1, L2 Longitud superior e inferior de la laguna.
- W1, W2 Ancho superior e inferior de la laguna.
- V_c Volumen real de la laguna.

El plano de dimensionamiento se encuentra en el anexo J.

Para dimensionar el compresor se debe determinar el caudal de aire necesario para saturar el agua con oxígeno. Aunque los requerimientos de oxígeno disuelto para el proceso biológico son menores a los de saturación, se considera necesario dimensionar con un exceso. La concentración de saturación de oxígeno a 20°C para el agua es de 8,84 mg/L. A demás, se requirió las propiedades del aire a la misma temperatura: densidad 1,2041 kg/m³ y la composición en peso de 21% de oxígeno.

$$m_{O_2} = qC_{O_2} = \left(70,05 \frac{m^3}{dia} \frac{1 dia}{24 h} \frac{10^3 L}{1 m^3} \right) \left(8,84 \frac{mg}{L} \frac{1 kg}{10^6 mg} \right) = 0,0258 \frac{kg O_2}{h} \quad \text{Ecuación 23}$$

Luego se convierte en un caudal de aire en cfm, para luego revisar en catálogo un modelo de compresor que cumpla con este caudal de trabajo. Se asume un 15% de factor de seguridad en el caudal.

$$q_{aire} = 0,0258 \frac{kg O_2}{h} \frac{100 kg aire}{21 kg O_2} \frac{1 m^3}{1,2041 kg aire} \times (1,15) = 0,117 \frac{m^3 aire}{h}$$

Ecuación 24

$$q_{aire} = 0,117 \frac{m^3 aire}{h} \rightarrow 0,068 cfm$$

Usando el valor del caudal se selecciona el compresor que se muestra en el Anexo U.

3.2.6.3 Dimensionamiento de tanques mezcladores (EP-002, EP-003, EP-004)

Para dimensionar los tanques de mezclado y dosificación, se tiene que tomar en cuenta la dosificación de cada reactivo en forma de caudal, este lo llevamos al período que establecemos como de recarga (t=24h), y determinamos el volumen de reactivos que debe almacenar en dicho período de tiempo. Luego usando un factor de seguridad (sf=0,15), calculamos los volúmenes nominales de los tanques, y luego con relaciones estructurales como el coeficiente de dimensionamiento (k=2,0), calculamos el ancho y el diámetro.

Los caudales totales de los reactivos se obtienen a partir de las dosificaciones mostradas en las figuras 19-3, 20-3 y 22-3, de ello deriva que: PAC se requieren 93 mL PAC/L lixiviado; ALS se requiere 80 mL ALS/L lixiviado y FNION se requieren 110 mL FNION/L lixiviado. Al multiplicar y ajustar la unidad por el caudal promedio de entrada al proceso, se obtiene los siguientes datos: la dosis de PAC es de 75,26 mL/s (10%); la dosis de ASL de 64,74 mL/s (10%) y la dosis de FNION de 89,02 mL/s (0,1%). Si estas dosis las llevamos a un día (período de almacenamiento) se obtiene: 6,50 m³ de PAC/día; 5,59 m³ ASL/día y 7,69 m³ FNION/día, ajustados corresponderían a los volúmenes de los tanques de mezclado y preparación, segunda columna tabla 24-3, con período de rellenado de un día. Usando las siguientes expresiones y una hoja de Excel se obtienen los resultados de la tabla 24-3.

$$k = \frac{h}{\phi}; \quad h = \sqrt[3]{\frac{4k^2 V_f}{\pi}}$$

Ecuación 25

Tabla 24-3: Resultados de dimensionamiento de tanques mezcladores de reactivos.

Tanque	V [m3]	sf (adm)	V _r [m3]	k (h/φ)	h [m]	φ [m]	V' [m3]
EP-002	7	0,15	8,05	2	3,45	1,73	8,06
EP-003	6	0,15	6,9	2	3,28	1,64	6,93
EP-004	8	0,15	9,2	2	3,61	1,805	9,24

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Dónde:

V	Volumen nominal de reactivo necesario en un día.
Sf	Factor de seguridad de diseño (15%).
V _f	Volumen de diseño ajustado con factor de seguridad.
K	Constante de diseño.
H	Altura del tanque de almacenamiento.
Φ	Diámetro del tanque de almacenamiento.
V'	Volumen real del tanque.

3.2.6.4 Dimensionamiento de Floculador (EP-005)

Para diseñar el floculador empezamos calculando el volumen que este debe tener para tratar un caudal de agua definido por el tiempo de retención ($t_r=30\text{min}$), adicional se debe tomar en cuenta el volumen agregado por las soluciones químicas, aproximadamente $20\text{ m}^3/\text{día}$. El cálculo del volumen del floculador es el siguiente:

$$V_n = qt_r = \left[\left(2,9134 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) + \left(20 \frac{\text{m}^3 \text{ día}}{\text{día} \cdot 24\text{h}} \right) \right] \left(30\text{min} \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \right) = 1,8733\text{m}^3 \quad \text{Ecuación 26}$$

Dado el pequeño volumen del floculador se optó por utilizar una única línea y un solo paso. Los diseños más comunes de floculadores son: floculador de agitador horizontal, floculador con agitador de turbina vertical y los floculadores hidráulicos. Nuevamente por el volumen del floculador y por la sencillez de diseño se optó por un floculador con agitador de turbina vertical.

Utilizaremos un solo paso para el floculador, por tanto, para mejorar el comportamiento hidráulico optaremos por una forma cilíndrica. Lo primero es calcular el diámetro y la altura del cilindro, que conforma el cuerpo del floculador. Para ello, usaremos un factor de diseño ($k=1,3$), usando la ecuación 27, modificada con el factor de seguridad.

$$k = \frac{h_F}{\phi_F}; \quad h_F = \sqrt[3]{\frac{4k^2 V_n (1+sf)}{\pi}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$h_F = \sqrt[3]{\frac{4(1,3)^2 (1,8733)(1+0.15)}{\pi}} = 1,6673\text{m} \rightarrow 1,67\text{m}$$

$$\phi_F = \frac{h}{k} = \frac{1,67}{1,3} = 1,2846\text{m} \rightarrow 1,3\text{m}$$

$$V' = \frac{\pi \phi_F^2 h_F}{4} = \frac{\pi(1,3)^2(1,67)}{4} = 2,2166m^3 \rightarrow 2,22m^3$$

Lo siguiente es calcular las dimensiones del agitador, así como la potencia del motor requerida para las condiciones de operación. Basados en los rangos recomendados por Howe K. & Tchobanoglous G., usaremos los siguientes criterios de diseño: para el diámetro del agitador $\phi_I = 0,45\phi_F$; para la altura del agitador con respecto al fondo (c) $c/h_L = 0,42$; para la altura del fluido y el diámetro del floculador verificaremos el parámetro en el rango $h_L/\phi_F = 0,9-1,1$ y la velocidad de agitación $rpm=15$. (Crittenden y Montgomery Watson Harza (Firm), 2012)

$$\phi_I = 0,45(1,30) = 0,585m \rightarrow 0,59m$$

Lo siguiente es verificar si el cociente entre el nivel de fluido y el diámetro del floculador, se encuentran en el rango recomendado. Para calcular el nivel del fluido, usaremos el volumen de lixiviado que se requiere tratar y las dimensiones calculadas tomando en cuenta la seguridad.

$$h_L = \frac{4V_F}{\pi\phi^2} = \frac{4(1,8733)}{\pi(1,3)^2} = 1,4113m \quad \text{Ecuación 28}$$

$$\frac{h_L}{\phi_F} = \frac{1,41}{1,3} = 1,084$$

Los resultados muestran que las dimensiones cumplen con el criterio sugerido. Para calcular la altura o separación del agitador con el fondo.

$$c = 0,42h_L = 0,42(1,4113) = 0,5927m \rightarrow 0,60m \quad \text{Ecuación 29}$$

La potencia del motor que se requiere para mover el agitador a 15 rpm, se calcula usando la ecuación 30. Pero antes se necesita obtener algunas propiedades para el lixiviado, por facilidad de cálculo se asumirán las propiedades del agua a 25°C, por tanto: la viscosidad es $\mu = 8,91 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$ y la densidad $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$. El tipo de agitador seleccionado es un hidroáala de 3 cuchillas inclinadas, según Howe K. & Tchobanoglous G. "Tabla 5-6", a este diseño de agitador le corresponde el número de potencia $N_p = 0,25$. (Crittenden et al., 2012)

$$P = N^3 N_p \rho \phi^5 = \left(\frac{15}{60}\right)^3 (0,25)(997)(0,59)^5 = 0,2784 \frac{J}{s} \quad \text{Ecuación 30}$$

Siendo N la frecuencia de giro del mezclador y ϕ el diámetro del agitador. Dado el resultado y la facilidad de adaptabilidad de la velocidad en este tipo de diseño, se puede optar por usar un motor de 1/4 de hp.

3.2.6.5 Dimensionamiento de sedimentador (EP-006)

En el caso del sedimentador se seleccionó un sedimentador rectangular de flujo horizontal. (OPS y COSUDE, 2019) El primer paso es calcular el área superficial (A_c). Para ello, usaremos el caudal de entrada al proceso y estimamos la velocidad de carga superficial (V_{fs}) igual a 1,5 m/h.

$$A_c = \frac{q}{V_{fs}} = \frac{3,7467}{1,5} = 2,4978 \text{ m}^2 \rightarrow 2,5 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 31}$$

A causa de la baja área superficial del sedimentador se decide utilizar un solo tanque, ajustando las dimensiones al tiempo de retención necesario para una separación completa de los lodos ($t_r=2,0$ h). Siguiendo las recomendaciones de Howe K. & Tchobanoglous G., definimos un ratio de longitud y ancho del sedimentador $k = L/W = 5$, las dimensiones son:

$$W = \sqrt{\frac{A_c}{k}}; L = kW \quad \text{Ecuación 32}$$

$$W = \sqrt{\frac{2,5}{5}} = 0,7071 \text{ m}$$

$$L = (5)(0,7071) = 3,54 \text{ m}$$

El tiempo de retención se determina basado en la superficie de cuenca, la profundidad del líquido (d) y el caudal de entrada al sedimentador.

$$\tau = \frac{A_c d}{q} = \frac{(2,5)(3)}{(3,7467)} = 2,0 \text{ h} \quad \text{Ecuación 33}$$

Para determinar el número de Reynolds de flujo y el número de Froude, es necesario calcular el radio hidráulico. La ecuación del radio hidráulico es el cociente entre la sección transversal de flujo (A_x) y el perímetro mojado (P_w).

$$R_h = \frac{A_x}{P_w} = \frac{(0,7)(3)}{(0,7+2 \times 3)} = 0,2823m \quad \text{Ecuación 34}$$

La velocidad de flujo se determina con el caudal y la sección transversal de flujo (A_x).

$$v_f = \frac{q}{A_x} = \frac{3,7467}{0,70 \times 3 \times 3600} = 4,95 \times 10^{-4} m/s \quad \text{Ecuación 35}$$

Para calcular el número de Reynolds, se requieren las propiedades del agua a 25°C, para ello usamos los mismos valores de viscosidad dinámica y densidad de la sección de diseño del floculador.

$$Re = \frac{\rho v_f R_h}{\mu} = \frac{(997)(4,95 \times 10^{-4})(0,2823)}{8,91 \times 10^{-4}} = 156,4 \quad \text{Ecuación 36}$$

El número de Reynolds es menor al máximo recomendado de 20000. Ahora se calculará el número de Froude.

$$Fr = \frac{v_f^2}{g R_h} = \frac{(4,95 \times 10^{-4})^2}{(9,81)(0,2823)} = 8,847 \times 10^{-8} \quad \text{Ecuación 37}$$

El número de Froude, está por debajo del recomendado de 10^{-5} . Se realizaron ajustes por método numérico, pero el valor de k resultaba demasiado grande ($k=688$).

3.2.6.6 Dimensionamiento de filtro (EP-011)

Como última etapa se dimensiona un filtro para eliminar: la coloración, sólidos y olores. Los componentes a ser usados serán: carbón activado, grava, arena y cuarzo, que son los mismos materiales empleados durante el proceso experimental. Para empezar, calcularemos el número de filtros a usar.

$$n_f = 0,44\sqrt{q} = 0,44\sqrt{89,92} = 4,17 \rightarrow 4$$

Ecuación 38

Para calcular el área de la superficie filtrante estimamos el coeficiente de filtrado. Para un filtro rápido se estima un valor de 120 m/d.

$$A_f = \frac{q}{k} = \frac{89,92}{120} = 0,7493 \text{ m}^2$$

Ecuación 39

Lo siguiente es calcular el factor de diseño:

$$k_c = \frac{2n_f}{1+n_f} = \frac{2 \times 4}{1+4} = 1,6$$

Ecuación 40

Con el factor de diseño se calcula el largo y ancho del filtro:

$$L_f = \sqrt{k_c A_f} = \sqrt{1,6 \times 0,7493} = 1,094 \text{ m}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{k_c}} = 0,6843 \text{ m}$$

Ecuación 40

Con las dimensiones del filtro en relación con la superficie de filtración, lo siguiente es determinar la altura del filtro. Para ello, seleccionaremos los espesores de los materiales de filtrado y definiremos el diseño como flujo descendente.

Tabla 25-3: Resultados de dimensionamiento de filtro descendente.

Material	Espesor (C) [m]	Especificaciones
Agua sobrenadante	1,25	Ninguna
Grava	0,28	Granulometría 2,4 mm
Cuarzo	0,10	Granulometría 2 mm
Carbón activado	0,5	Granulometría 0,8 – 1,4 mm
Arena	0,4	Granulometría 0,45 – 0,65 mm
Soporte	0,05	Acero inoxidable/Concreto
Drenaje	1,0	Espacio para drenaje

Realizado por: Gualancañay C., 2018

Al final se calcula la longitud del lecho filtrante y se compara con las especificaciones para un filtro rápido. El lecho filtrante mide 1,28m siendo menor al límite sugerido de 1,50m, para un filtro rápido. La altura total del filtro con un factor de seguridad es el siguiente:

$$z_f = (1 + s_f) \sum_{i=1}^n C_i$$

$$z_f = (1 + 0,2)(1,25 + 0,28 + 0,1 + 0,5 + 0,4 + 0,05 + 1,0) = 4,196m$$

Ecuación 41

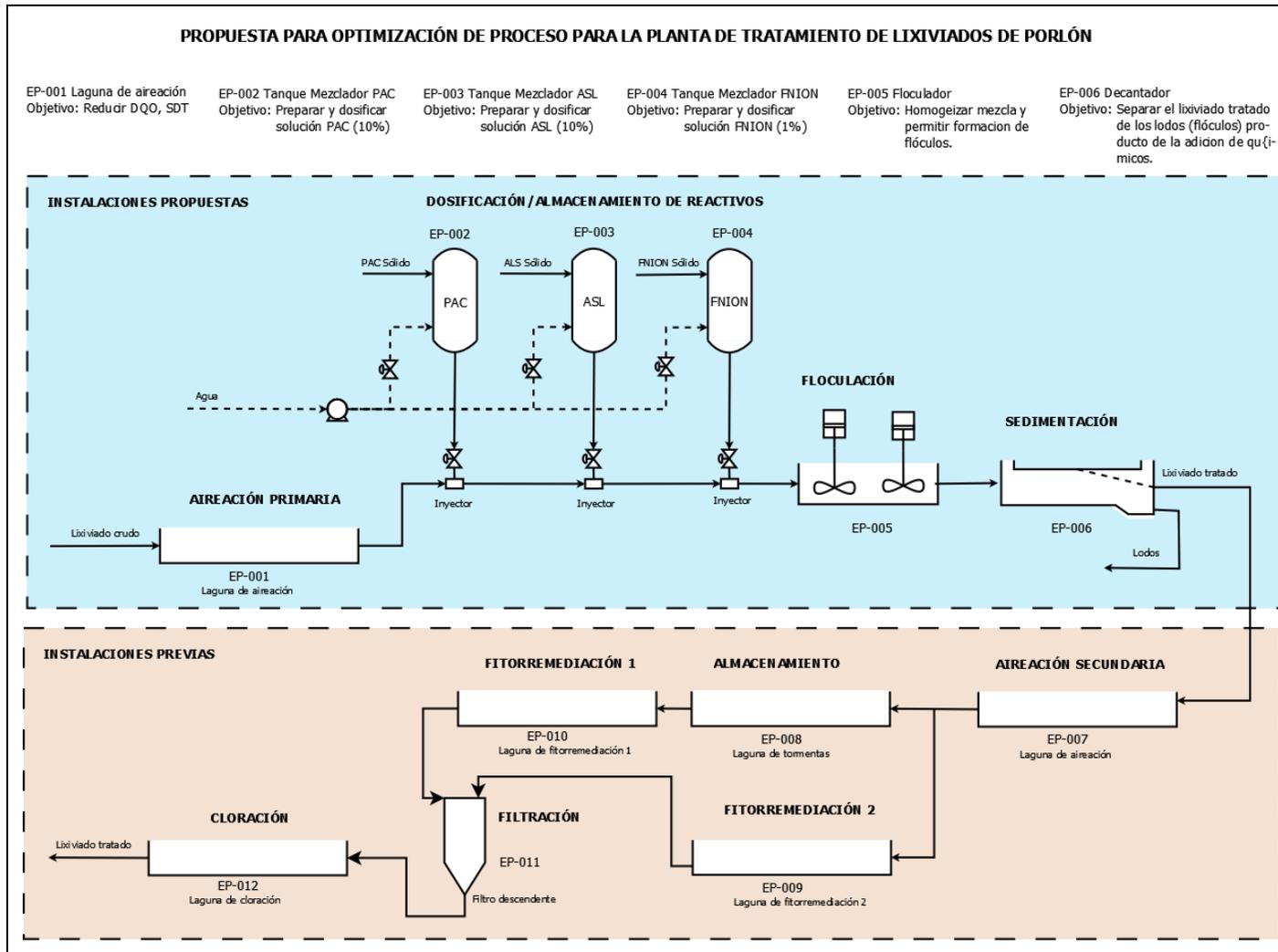


Figura 28-3: Diagrama de planta completa planteada para mejorar parámetros del lixiviado.
Realizado por: Gualancañay C., 2018

3.2.7 Análisis de costo/beneficio del proyecto

3.2.7.1 Financiamiento de la propuesta

Tabla 26-3: Presupuesto por compra de reactivos anual.

Descripción	Cantidad [Ton/año]	Precio unitario [USD/Ton]	Precio total [USD/año]
Poli cloruro de aluminio (PAC) tipo A.	237,35	\$ 850	\$ 201752,10
Sulfato de aluminio (ASL) tipo A	204,18	\$ 672	\$ 137209,00
Floculante No iónico	2,80	\$ 288	\$ 808,54
Nutriente alfa POBs	0,737	\$ 250	\$ 184,15
Precio total			\$ 339951,5

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 27-3: Presupuesto para equipos y maquinaria.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Laguna de aireación (EP-001)	1	\$ 3500	\$ 3500
Tanque mezclador (EP-002)	1	\$ 1800	\$ 1800
Tanque mezclador (EP-003)	1	\$ 1500	\$ 1500
Tanque mezclador (EP-004)	1	\$ 1200	\$ 1200
Floculador cilíndrico de turbina vertical (EP-005)	1	\$ 2500	\$2500
Sedimentador rectangular de flujo horizontal (EP-006)	1	\$ 2500	\$ 2500
Filtro descendente	4	\$ 535	\$ 2140
Bombas centrifugas 3hp	2	\$ 180	\$ 360
Válvulas inyectoras	3	\$ 800	\$ 2400
Compresor 1,6 hp	1	\$ 700	\$ 700
Precio total			\$ 18600

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 28-3: Presupuesto para obra civil y adecuación de instalaciones.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Obra civil	1	\$ 12000	\$ 12000
Tuberías y canalizaciones	1	\$ 3500	\$ 3500
Almacenes y bodegas	1	\$ 2500	\$ 2500
Instalaciones eléctricas	1	\$ 2500	\$ 2500
Precio total			\$ 20500

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 29-3: Presupuesto para mano de obra.

Descripción	Cantidad	Precio unitario [USD/año]	Precio total
Operadores	3	\$ 7200	\$ 21600
Supervisor de planta	1	\$ 14400	\$ 14400
Seguridad	2	\$ 7200	\$ 14400
Precio total			\$ 50400

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 30-3: Balance general de la propuesta.

Descripción	Precio total
INVERSIÓN	
Inversión par obra civil y adecuaciones.	\$ 20500,00
Inversión para equipos y maquinaria.	\$ 18600,00
Inversión sin ajuste	\$ 39100,00
Ajuste de inversión (15%)	\$ 5865,00
Inversión total	\$ 44965,00
COSTOS	
Costos fijos	\$ 390351,50
Costos variables (5% Costos fijos)	\$ 19517,60
Costos anuales totales	\$ 409869,10

3.2.7.2 *Financiamiento del proyecto de tesis*

Tabla 31-3: Presupuesto del proyecto de tesis.

ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
ANÁLISIS DE LABORATORIO			
Envío de muestras	\$100,00	X	
Análisis microbiológicos, físico-químico (Laboratorios externos)	\$350,00	X	
Reactivos para la caracterización física, química y bacteriológica	\$350	X	
Imprevistos	\$200,00	X	
SUBTOTAL	\$1000,00		
LOGÍSTICA			
Transporte (Riobamba- Porlón)	\$60,00	X	
Internet	\$60,00	X	
Recargas	\$30,00	X	
SUBTOTAL	\$150,00	X	
MATERIAL DE OFICINA			
Copias	\$15,00	X	
Impresiones	\$100,00	X	
Anillados	\$12,00	X	
Empastados	\$48,00	X	
SUBTOTAL	\$175,00	X	
TOTAL	\$1325,00		

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 32-3: Resumen del presupuesto

DETALLE	CANTIDAD (%)	VALOR
Recursos propios	100	\$ 1325,00
TOTAL	100	\$ 1325,00

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

3.2.8 Cronograma de actividades

Tabla 33-3: Cronograma del proyecto.

ACTIVIDADES	TIEMPO DE EJECUCIÓN																							
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Determinar el diagnóstico actual del Sistema de Tratamiento de Lixiviados	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Caracterizar físico-química y microbiológica de los lixiviados.	•	•	•	•																				
Realizar pruebas de tratabilidad del lixiviado.					•																			
Plantear las alternativas de mejora para el sistema.					•	•	•	•	•															
Presentación y aprobación anteproyecto									•	•														
Análisis información											•													
Propuestas (Dimensión del sistema de tratamiento)											•	•	•											
Elaboración de borradores														•	•	•								
Corrección borradores																	•	•						
Tipiado del trabajo final																			•					
Empastado y presentación del trabajo final																			•	•				
Auditoría académica																					•			
Defensa del trabajo																						•	•	•

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

3.2.9 Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.

Tabla 34-3: Materiales, equipos y reactivos usados en el análisis de laboratorio del lixiviado crudo y tratado.

Parámetro	Materiales	Equipos	Reactivos/Sustancias
pH, conductividad y temperatura	Vaso de precipitación de 100mL	Medidor multi-parámetro HANNA	Buffers pH 4 y7 Agua destilada
Turbiedad	Celda de prueba (25mL)	Turbidímetro	Agua destilada.
Color y sólidos suspendidos	Celda de prueba (5mL)	Espectro fotómetro HACH DR 2800	Agua destilada
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Probeta (100mL) Recipiente ámbar (350mL)	Digestor DBO Manómetro respirométrico	Solución tampón fosfato Solución de Sulfato de magnesio Solución de cloruro férrico Agua destilada.
Demanda Química de Oxígeno	Vaso de precipitados (100 mL) Bureta (100mL) Tubos de prueba (10mL)	Digestor de DQO. Espectrofotómetro HACH DR 2800	Solución de dicromato de potasio Solución de ácido sulfúrico. Solución de Sulfato ferroso. Patrón espectrofotométrico para DQO.
Nitrógeno amoniacal	Celda de prueba (5mL)	Espectrofotómetro HACH DR 2800	Reactivo de Nessler Estabilizador mineral Agente dispersante Agua destilada.
Nitrógeno total	Tubos de digestión (10mL) Pipeta	Digestor Espectrofotómetro HACH DR 2800	Per sulfato para nitrógeno total Reactivo A (digestión) Reactivo B (digestión)
Sólidos totales y perfil de sólidos completo.	Cápsulas 50mL Pinza para cápsula Kitasato Embudo Buschner Mangueras Papel filtro fibra de vidrio	Bomba de vacío Estufa Mufla.	Agua destilada.
Coliformes fecales y totales.	Placas petrifilm Tubos de ensayo	Cámara de flujo laminar Incubadora	Solución nutritiva (Agar) Agua destilada

	Pipeta		Alcohol.
--	--------	--	----------

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

Tabla 35-3: Reactivos utilizados para el tratamiento del lixiviado por procedimiento realizado.

Procedimiento	Reactivos
Test de coagulantes y floculantes	Cloruro férrico Sulfato férrico Poli cloruro de aluminio (PAC) Sulfato de aluminio (ASL) Floculante aniónico Floculante no iónico. (FNION) Floculante catiónico Ácido sulfúrico Wayra
Alternativa 1	Poli cloruro de aluminio (PAC) Sulfato de aluminio (ASL) Ácido sulfúrico Floculante no iónico.
Alternativa 2	Poli cloruro de aluminio (PAC) Sulfato de aluminio (ASL) Ácido sulfúrico Floculante no iónico. (FNION)
Alternativa 3	Poli cloruro de aluminio (PAC) Sulfato de aluminio (ASL) Floculante no iónico. (FNION)

Realizado por: Gualancañay C.,2018.

3.3 Análisis de resultados

3.3.1 Análisis de resultados experimentales

Tomando en cuenta que el lixiviado que contiene la celda emergente, proveniente del cierre técnico del botadero a cielo abierto, es joven además que el botadero de basura estuvo en funcionamiento por casi 19 años, siempre va a haber una parte de la celda que aporta lixiviado joven y otra lixiviado viejo. El lixiviado en mención tiene un contenido alto de materia orgánica fácilmente biodegradable su contenido de humedad también es alto, teniendo en cuenta que el contenido de materia orgánica se degrada fácilmente y se produce ácidos grasos volátiles y

amoniacal obteniendo valores que son más altos que los que se reportan en la caracterización de los lixiviados.

Al ser el lixiviado a tratar un lixiviado mixto y que los valores DBO son altos se complica su remoción debido a que este valor se ve afectado por la toxicidad que generan los metales, de la misma manera, la remoción de metales, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente complejante que mantienen los metales en solución dificultando y limitando severamente su remoción. Estamos entonces en una encrucijada, los metales afectan la remoción de la DBO, y la presencia de DBO la remoción de los metales, sin dejar en claro por dónde empezar a tratar y lo que en este estudio se ha evidenciado.

En la primera parte de este trabajo se realizó un estudio sobre los procesos que están instalados en la planta de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de San Gerónimo de Porlón. La primera operación del proceso de tratamiento de los lixiviados, es un decantador combinado con un tanque de ajuste de caudal. El tanque de ajuste de caudal tiene un vertedero triangular con el que se puede medir el caudal de entrada, y a la vez sirve como reductor de velocidad. En la fotografía 2-3, se observa el decantador instalado. Está compuesto por dos tanques. El primero de ellos, es un tanque de ajuste de velocidad y sirve como decantador en primera etapa y la segunda es una cámara de decantación. En esta misma sección se calcula: tiempo de retención, eficiencia como clarificador, y otros parámetros. La segunda operación del proceso es el tratamiento anaerobio con dos tanques biodigestores en serie, con capacidad de 7000 L. La tercera operación del proceso es el tratamiento aerobio con alfa POBs (Bioactivador con alta actividad para el tratamiento de aguas residuales y suelos contaminados) y aireación de tres horas al día. La cuarta operación del proceso es el tratamiento de fitorremediación, (humedales con totoras). La quinta operación del proceso es la laguna de desinfección.

En la primera parte se tomaron muestras de lixiviado en la entrada del proceso, para realizar su caracterización. Los resultados de la caracterización nos indican que los siguientes parámetros están fuera de norma: DQO (12000 - 15000 mg/L), DBO (2000-5000 mg/L), ST (15000-22000 mg/L), SDT (17000 mg/L), SST (500 -1500 mg/L), Nitrógeno amoniacal (3900-6700 mg/L) y turbidez (500-600 NTU). Con estos datos se procede a realizar las pruebas de tratabilidad, empezando con el tratamiento primario, que se encarga de retirar la carga de sólidos.

Los resultados de la eficiencia de remoción de sólidos disueltos y suspendidos totales, muestran un aumento de la carga de sólidos disueltos 2,64 % mientras que existe una remoción de 66% de sólidos suspendidos. Cumple su función como decantador al remover buena parte de los sólidos (SST). Pero es necesario un proceso químico que permita sedimentar la carga de sólidos disueltos

en el afluente; que representan el 90% de la carga de sólidos. Como se puede comprobar en la tabla 11-3 y en las ecuaciones 13 y 14.

Se analizó el efecto de cuatro coagulantes y tres floculantes. Observando que el mejor rendimiento lo proporcionaba una acción combinada de dos coagulantes Poli cloruro de aluminio y Sulfato de aluminio y Floculante no iónico. Las diferentes combinaciones y concentraciones de coagulantes y un floculante utilizadas en las pruebas de tratabilidad, así como los resultados obtenidos se encuentran registradas en las figuras 19-3 a la 23-3. Del análisis de resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad se determina, que con la alternativa tres se logran la mayor reducción de los contaminantes del lixiviado.

La siguiente operación analizada fue la laguna de aireación, dados los niveles bajos de oxígeno y la poca remoción de sólidos disueltos en la operación anterior. El proceso de digestión aerobia en esta parte no llega a cumplirse en término adecuado. Solo se oxigena el agua por 3 horas al día, siendo insuficientes para la carga de lixiviado de la laguna. Para corregir se aplicó aireación continua durante el tiempo de retención de la laguna de aireación ($t = 48-52$ h). El resultado fue la digestión de los sólidos disueltos, en su mayoría orgánicos, que se reflejaba en el aumento de los sólidos suspendidos y la turbidez. Se probó varias veces con distintos tiempos de aireación, encontrando que, en un tiempo mayor a las 48 horas, se observa un envejecimiento más pronunciado del lixiviado, representado por el incremento de la turbidez y DQO.

El proceso de fitorremediación (humedales-totoras) tiene un tiempo de retención de 148 h (6,16 días). En el sistema de tratamiento esta operación está fuera de servicio, debido a que el lixiviado en las etapas anteriores no mejora sus parámetros; con concentraciones en el rango de los 11000 ppm de DQO y sólidos totales de 19000 ppm. Lo cual afecta la supervivencia de las totoras. Para continuar con este proceso se armó un prototipo del proceso y se mantuvo por un tiempo de 15 días, midiendo propiedad a los 6, 8 y 15 días. Observando que, a partir de los 8 días el lixiviado sufre un envejecimiento más rápido que, termina en la aparición de un color verde. En este punto se decide retirar el lixiviado tratado del tratamiento de fitorrediación.

El último tratamiento realizado fue pasar el agua por tres filtros, contruidos con: carbón activado, arena fina, arena intermedia, zeolita y cuarzo. El primer filtro estaba compuesto de una capa de 8 cm de carbón activado, 3cm de arena intermedia y 5 cm de arena fina. El segundo filtro estaba compuesto de una capa de 10 cm de carbón activado, 7 cm de cuarzo y 6 cm de zeolita. El último filtro estaba compuesto solo de carbón activado 15 cm.

Se realizó la optimización del sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente, sin embargo, a pesar de haber realizado todos los tratamientos, todavía existen parámetros que

continúan fuera de norma. Entre los parámetros se encuentran: DQO (1552 mg/L), DBO₅ (540 mg/L), color (900 Pt-Co) y sólidos totales (8764 mg/L) y Nitrógeno total 481 mg/L. Lo cual según experiencias anteriores indican la necesidad de aplicar recirculación por un período de entre 3 y 10 años. Esta es la razón por la que no se llegó a los niveles permitidos de la norma ambiental. Al final del proceso se obtiene que los parámetros que cumplen la norma son: pH (6,86), turbidez (5,9 NTU), sólidos suspendidos totales (6 mg/L) y coliformes fecales (1500 NMP/100 mL).

3.3.2 *Análisis de resultados de dimensionamiento*

Con los resultados experimentales se propuso una modificación a la planta de lixiviados, con el objetivo de conseguir un efluente con características similares a las obtenidas en el proceso experimental. Seis equipos forman parte de la propuesta. En estos se realizan dos procesos, airear el lixiviado y precipitar los sólidos disueltos. Para el proceso de aireación se diseña una laguna (EP-001), obteniendo los siguientes parámetros estructurales: Volumen de 69,92 m³ de líquido, volumen con factor de seguridad 70 m³, largo de 8,24 m, ancho de 6,87 m y profundidad de 1,5 m. Con un tiempo de retención de 24 horas.

En la segunda parte se diseña los tanques mezcladores y dosificadores de los reactivos, para la sedimentación. En total, tres tanques para los reactivos cuyo volumen, tomando en cuenta el factor de seguridad son: Para el tanque de PAC (EP-002) un volumen de 11,5 m³, con altura de 3,88m y diámetro de 1,94m; para el tanque de ALS (EP-003) un volumen de 7 m³ con altura de 3,28m y diámetro de 1,64m y para el tanque del floculante (EP-004) un volumen 8 m³ con altura de 3,60 m y diámetro de 1,80 m. El material sugerido para su construcción es una aleación de acero inoxidable o un acero resistente a la corrosión.

Para aumentar el tiempo de contacto entre los reactivos y los químicos (PAC, ALS y FNION), es necesario dimensionar un floculador. El modelo seleccionado fue un floculador cilíndrico de agitador de turbina vertical con hidroálea de tres cuchillas, siendo un diseño simple y recomendado para pequeños volúmenes de flujo. Los resultados para un tiempo de retención de 30 min, son los siguientes: volumen de 1,87m³, altura de 1,67 m y diámetro de 1,30 m. Diámetro de agitador de 0,59 m, separación de agitador con el fondo de 0,60 m, potencia de motor de 1/4 hp. Debe ser construido en acero resistente a la corrosión o en su defecto en concreto.

El siguiente equipo en ser agregado es el sedimentador que se diseñó para un tiempo de retención de 2 h, basado en un sedimentador rectangular de flujo horizontal. Los resultados son los siguientes: Largo 3,54m, ancho de 0,70 m y profundidad de 3 m, área superior de 2,5 m².

El último equipo a ser dimensionado fue el filtro de flujo descendente genérico del que se necesitan 4 unidades dispuestas en paralelo. Su altura será de 4,2 m con largo y ancho de 1,10 m y 0,7 m respectivamente. Los materiales a ser utilizados son carbón activado, grava, cuarzo y arena en los espesores mostrados en la tabla 25-3. Se estima una altura de columna de agua promedio de 1,25 y un espacio de acumulación de líquido filtrado de 1 m.

CONCLUSIONES

Se realizó el diagnóstico situacional del sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de San Gerónimo de Porlón del cantón Riobamba. Cuyos resultados mostraron que la disposición actual de las operaciones no disminuye los valores de los parámetros a niveles permitidos por la norma correspondiente.

Se caracterizó de forma físico/ química y microbiológica todas las muestras en base al Acuerdo Ministerial 097-A del LIBRO VI, DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, ANEXO 1, TABLA 9 límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del miércoles 4 de noviembre del 2015. Los resultados de la caracterización del sistema de tratamiento de lixiviado, dan los siguientes valores fuera de norma. DQO (12000 - 15000 mg/L), DBO (2000-5000 mg/L), ST (15000-22000 mg/L), SDT (17000 mg/L), SST (500 -1500 mg/L), Nitrógeno amoniacal (3900-6700 mg/L) y turbidez (500-600 NTU).

Se realizaron pruebas de tratabilidad para todas las alternativas planteadas con el objetivo de evaluar sus resultados sobre los parámetros en base a la norma, se trataron tres alternativas con múltiples ensayos como: test de jarras, pruebas de aireación, pruebas de sedimentación y filtración. Basado en el porcentaje de remoción final mediante las pruebas de tratabilidad empleadas para el proceso, se determinó la alternativa tres como la óptima. Para este tratamiento se aplicó la adición de operaciones de tratamiento como son: aireación primaria (12-24 horas), sedimentación química (mezcla de coagulantes Poli cloruro de aluminio, Sulfato de aluminio y Floculante no iónico), aireación secundaria con mezcla de nutriente (ALFA POBS) tres días de aireación continua a la piscina aerobia, fitorremediación (6-8 días humedales con totoras) y filtración. Los resultados finales del tratamiento son: DQO (1552 mg/L), DBO₅ (540 mg/L), sólidos totales (8764 mg/L) y Turbidez (5,9 NTU). Con esta secuencia de operaciones se obtiene los mejores porcentajes de remoción siendo estos: DQO de 89,78%, DBO₅ de 89,2%, SÓLIDOS TOTALES de 60,16% y TURBIDEZ del 99,01%.

El sistema de tratamiento constará de los siguientes procesos de operación para su remoción final: Laguna de aireación; tanques mezcladores (dosificación y almacenamiento de reactivos); floculador; sedimentador; laguna de aireación aerobia con (nutriente ALFA POBS); laguna de tormentas (almacenamiento); lagunas de fitorremediación (humedales-totoras); filtro descendente compuesto de: grava, cuarzo, carbón activado y arena; y finalmente una laguna de desinfección (cloración).

A pesar de con el tratamiento óptimo logró disminuir la carga contaminante significativamente, todavía existen parámetros que continúan fuera de norma. Lo cual según experiencias anteriores indican la necesidad de aplicar recirculación del lixiviado a la celda emergente por un período de entre 3 y 10 años, para una mejor tratabilidad. Esta es la razón y motivo por la que, no se llegó a los niveles permitidos de la norma ambiental.

Se planteó además los costos de instalación y operación, así como el dimensionamiento de los equipos y operaciones. Se presentó una alternativa para mejorar el sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente de San Gerónimo de Porlón del cantón Riobamba. Los costos ascienden a 409869,10 USD/año, de los cuales los costos fijos ascienden a 390351,50 USD/año distribuidos en costos por reactivos a: 339951,5 USD/año y los costos por personal de 50400 USD/año, mientras que los costos variables ascienden a 18600,00 USD/año. La inversión necesaria es de 44965,00USD que se desglosa en: costos por obra civil e instalaciones de 20500 USD y \$ 18600,00 USD para maquinaria y equipo, y un ajuste de 15% por imprevistos igual a 5865,00 USD.

RECOMENDACIONES

Con el tiempo se requerirá menor dosis de químicos, por causa del cumplimiento del tiempo mínimo de recirculación (3 años). Por tanto, se recomienda realizar pruebas de forma periódica (mensual) para determinar la dosis adecuada para el tiempo de vida del lixiviado.

Se recomienda retirar los lodos acumulados en el floculador y sedimentador de forma semanal, y realizar un tratamiento de estabilización para su aprovechamiento posterior.

Se recomienda una alternativa de mejora para el sistema de tratamiento de lixiviados, la implementación de operaciones de tratamiento presentadas en este trabajo. Diagrama de la planta completa para mejorar parámetros del lixiviado que remplazan al decantador instalado. Para poder descargar a un efluente hídrico, el lixiviado tratado es necesario diluirlo con agua de lluvia, ya que no se llega a los límites de la norma.

Se recomienda para el proceso de fitorremediación que la replantación de totora debe adaptarse al nuevo terreno durante un período de 15 días, en un estrato de grava gruesa, mediana y fina. Utilizando compost para plantas acuáticas y anti estresantes para vegetales (enraizador).

Es necesario realizar estudios utilizando tratamientos biológicos, ósmosis inversa, al sistema de tratamiento de lixiviados de la celda emergente para poder llegar a los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- CLAVIJO, G.** *Estudios de diseño definitivo de cierre técnico de botaderos y celda emergente para el paquete 5*. Primera. Riobamba: Ministerio de Ambiente Ecuador. 2009.
- CRITES, R.; & TCHOBANOGLIOUS, G.** *Small and decentralized wastewater management systems [en línea]*. S.l.: WCB/McGraw-Hill. ISBN 0072890878. 1998. [Consulta: 30 noviembre 2018]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=yx9SAAAAMAAJ&q=R.+Crites,+Y.+Tchobanoglous&dq=R.+Crites,+Y.+Tchobanoglous&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiq7Jbts_3eAhXut1kKHS1_CNwQ6AEIKTAA.
- CRITTENDEN, J.C. (John C.); & MONTGOMERY WATSON HARZA (FIRM).** *MWH's water treatment : principles and design*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 9780470405390. 2012.
- CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; et al.** *MWH's Water Treatment: Principles of Water Treatment*. S.l.: s.n. ISBN 9780470405383. 2012.
- EXWORTHY, A.** "Standard Methods for the Examination of Water and Sewage". *American Journal of Public Health and the Nations Health*, vol. 23, no. 6. 2008. pp. 645-646 ISSN 0002-9572. DOI 10.2105/ajph.23.6.645-b.
- JOSS, A.; ANDERSEN, H.; et al.** "Removal of estrogens in municipal wastewater treatment under aerobic and anaerobic conditions: Consequences for plant optimization". *Environmental Science and Technology [en línea]*, vol. 38, no. 11. 2004. pp. 3047-3055 [Consulta: 27 marzo 2019]. ISSN 0013936X. DOI 10.1021/es0351488. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0351488>.
- MAÑUNGA, T.; RODRÍGUEZ-VICTORIA, J.A.; & TORRES-LOZADA, P.** *Ingeniería y Desarrollo. [en línea]*. S.l.: Fundacion Universidad del Norte. 2012. [Consulta: 27 marzo 2019]. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/2794>.
- OPS; & COSUDE.** *"Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores"*. , 2019.
- REINHART, D.R.** "Landfill waste pollution and control". *Waste Management*, vol. 15, no. 8. 2002. pp. 673-674 ISSN 0956053X. DOI 10.1016/0956-053x(96)82822-4.
- TELÉGRAFO.** *"Riobamba tendrá su relleno sanitario por \$ 2,5 millones"*. [en línea]. Riobamba, 2014. 19 diciembre 2014. pp. 1. [Consulta: 27 marzo 2019]. Disponible en: <http://tinyurl.com/yc3krsvm>.

- TORRES-LOZADA, P.; BARBA HO, L.; et al.** "Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad.". *U.D.C.A* [en línea], vol. 14. 2014. pp. 247 Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>.
- VAN LOOSDRECHT, M.C.M.; NIELSEN, P.H.; et al.** "Experimental Methods in Wastewater Treatment". *Water Intelligence Online*, vol. 15. 2016. pp. 9781780404752-9781780404752 ISSN 1476-1777. DOI 10.2166/9781780404752.
- WADDELL, J.J.; DOBROWOLSKI, J.A.; & PÉREZ CASTELLANOS, H.** *Manual de la construcción con concreto [en línea]*. S.l.: McGraw-Hill. ISBN 9701012534. 1997. [Consulta: 3 diciembre 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=PJHfYgEACAAJ&dq=Waddell+J.+y+Dobrowolski+J.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj08OX11ITfAhXrxlkKHQP5D3UQ6AEIJjAA>.
- WEF.** *Clarifier design [en línea]*. S.l.: McGraw-Hill Professional. ISBN 0071589228. 2006. [Consulta: 2 diciembre 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=J128dUIQQNYC&q=clarifier+design:+wef+manual+of+practice+no.+fd-8&dq=clarifier+design:+wef+manual+of+practice+no.+fd-8&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjGurOzmYLFu1kKHeZqDcAQ6AEIKjAA>.

ANEXO A. Fotografías de las lagunas de aireación, tormenta y fitorremediación.



a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Fotografías del equipo previo al rediseño.		
a. Laguna de aireación	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Lagunas de: tormentas y fitorremediación.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO B. Fotografías de laguna de aireación y fitorremediación en mantenimiento.



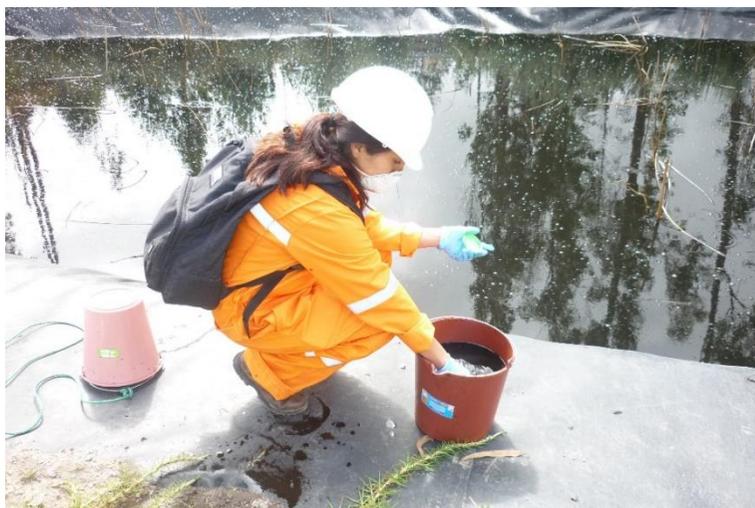
a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: GUALANCAÑAY C., 2019.	TEMA: Fotografías de laguna de aireación y fitorremediación en mantenimiento							
	a. Laguna de aireación vacía. b. Laguna de fitorremediación fuera de operación.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información		<input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	<table border="1"> <thead> <tr> <th>LAMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>07/02/2019</td> </tr> </tbody> </table>	LAMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1	07/02/2019
LAMINA	ESCALA	FECHA									
1	1:1	07/02/2019									

ANEXO C. Proceso de toma de muestras.



a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Proceso de toma de muestras.				
a. Toma de muestras de la laguna de fitorremediación	<input type="checkbox"/>	Aprobado		<input type="checkbox"/>	Preliminar	LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Toma de muestras de laguna de cloración	<input type="checkbox"/>	Certificado		<input type="checkbox"/>	Por aprobar	1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar				

ANEXO D. Análisis de sólidos sedimentables.



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Análisis de sólidos sedimentables.		
a. Muestras de entrada al sistema de tratamiento inicio de la prueba.	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Muestras de entrada al sistema de tratamiento después de 1 hora.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
c. Muestras de entrada al sistema de tratamiento después de 3 horas.	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO E. Análisis de sólidos y pruebas de jarras.

a.



b.



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Análisis de sólidos y prueba de jarras.		
a. Determinación de sólidos.	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Test de jarras.	<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar				

ANEXO F. Pruebas de tratabilidad clarificación



a.



b.

NOTAS: a. Prueba con coagulantes en equipo de test de jarras b. Resultados de múltiples pruebas para dosis de coagulantes.	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: GUALANCAÑAY C., 2019.	TEMA: Pruebas de tratabilidad clarificación		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar					

ANEXO G. Aireación primaria primera prueba.



a.



b.

NOTAS: a. Aireación de lixiviado con ajuste de pH a 5 b. Aireación de lixiviado sin ajuste de pH	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Aireación primaria.		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO H. Aireación secundaria primera prueba



a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Aireación secundaria primera prueba		
a. Aireación de lixiviado con ajuste de pH a 5 segunda prueba vista lateral.	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Vista superior	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO I. Aireación secundaria resultado



a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Aireación secundaria resultado		
a. Resultado de aireación secundaria, vista lateral	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Vista superior	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO J. Aireación secundaria sin ajuste de pH.



a.



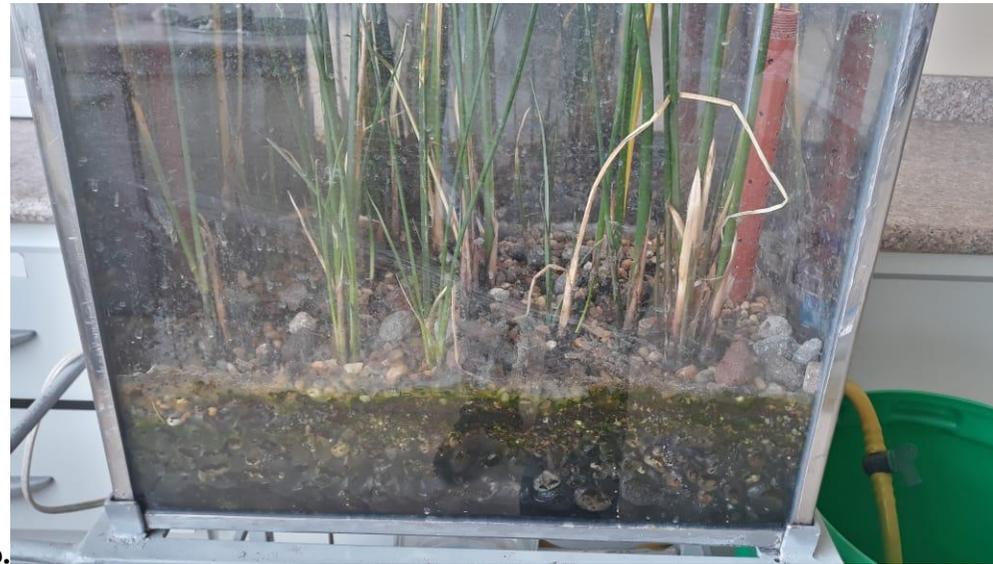
b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: GUALANCAÑAY C., 2019.	TEMA: Aireación secundaria sin ajuste de pH		
	a. Aireación secundaria sin ajuste de pH.	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>		Preliminar	LAMINA	ESCALA
b. Resultado de aireación primaria sin ajuste de pH.	<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	Por aprobar				
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar		1	1:1	07/02/2019

ANEXO K. Prototipo para fitorremediación.



a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Prototipo para fitorremediación			
a- Vista frontal de sistema de fitorremediación	<input type="checkbox"/>	Aprobado		<input type="checkbox"/>	LAMINA	ESCALA	FECHA
b- Distribución de materiales.	<input type="checkbox"/>	Certificado		<input type="checkbox"/>	1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>				

ANEXO L. Crecimiento de totoras.



a.



b.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Crecimiento de totoras		
a. Crecimiento de totoras en longitud de tallo,	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Crecimiento de raíces.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO M. Nutrientes para plantas acuáticas.



a.



b.

NOTAS:		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: GUALANCAÑAY C., 2019.	TEMA: Nutrientes para plantas acuáticas.			
a. Suplemento enraizado plantas acuáticas.	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>		Preliminar	LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Suplemento anti estrés plantas acuáticas.	<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>		Por aprobar			
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar	1	1:1	07/02/2019	

ANEXO N. Proceso de filtración.



a.

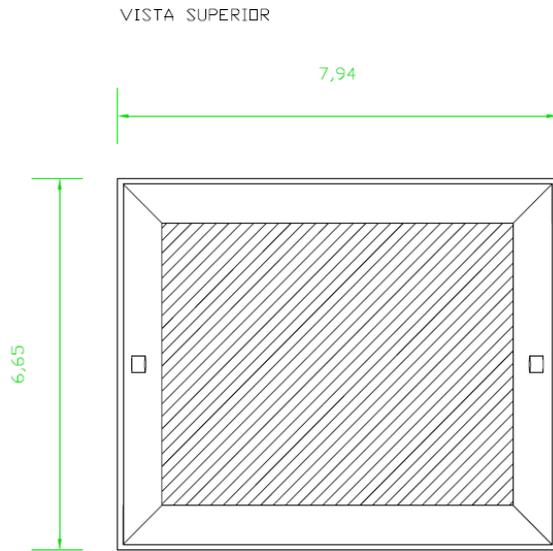


b.

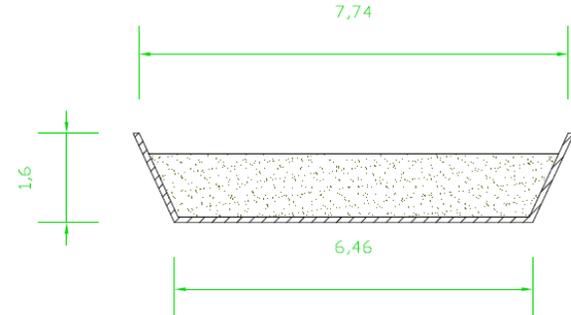
NOTAS: a. Filtro N1 usado para tratar lixiviado. b. Filtros usados para tratar lixiviado.	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Proceso de filtración.		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar	1	1:1	07/02/2019	
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO O. Planos de laguna de aireación.

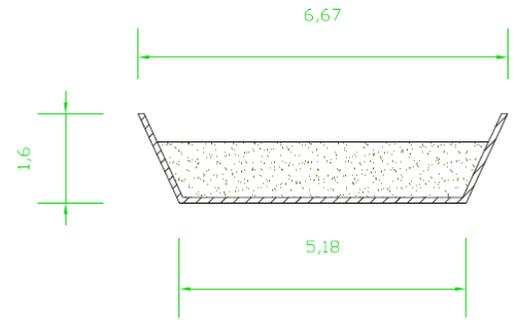
LAGUNA DE AIREACIÓN (EP-001)



VISTA FRONTAL



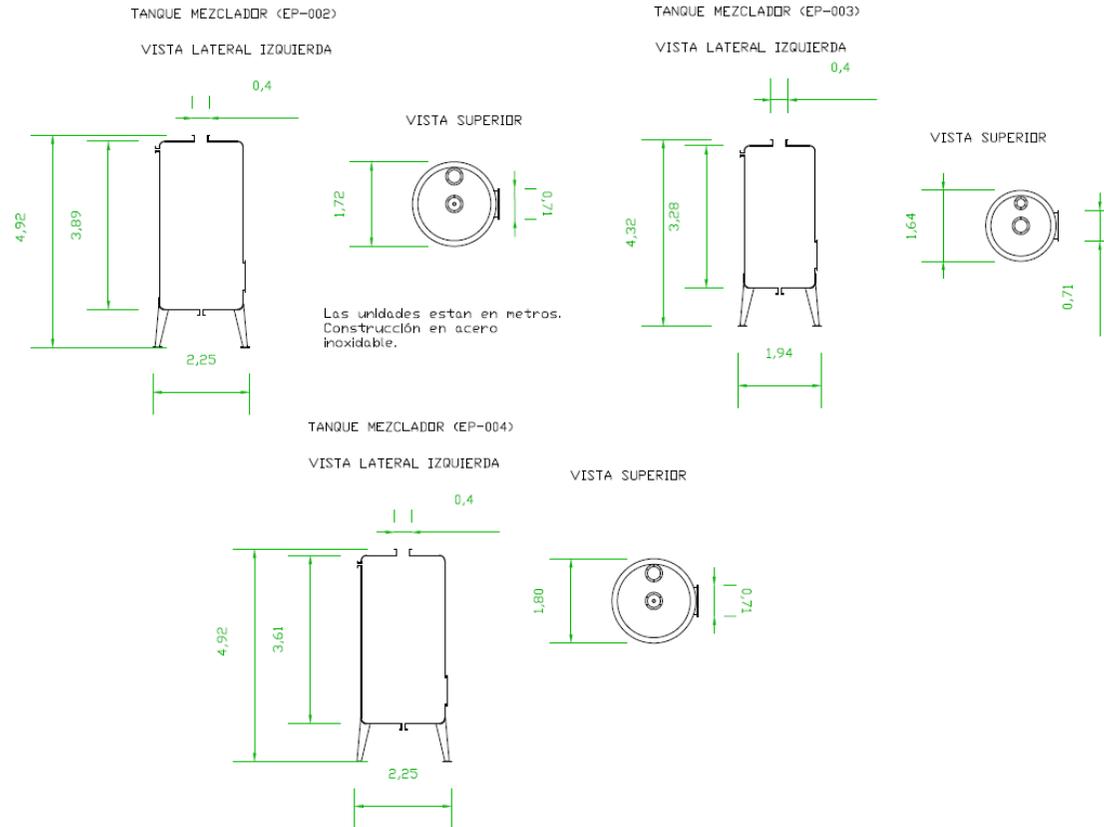
VISTA LATERAL IZQUIERDA



Las unidades estan en metros

NOTAS: Planos simples de laguna de aireación.	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: <i>GUALANCAÑAY C., 2019.</i>	TEMA: Planos de laguna de aireación.		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO P. Planos de tanques de dosificación y mezclado.

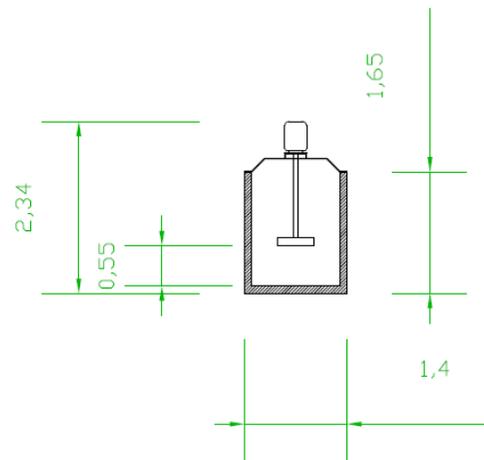


NOTAS: Planos de tanques de dosificación y mezclado para reactivos químicos.	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: GUALANCAÑAY C., 2019.	TEMA: Plano de tanques de dosificación y mezclado.				
	<input type="checkbox"/>	Aprobado		<input type="checkbox"/>	Preliminar	LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/>	Certificado		<input type="checkbox"/>	Por aprobar	1	1:1	07/02/2019
<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar					

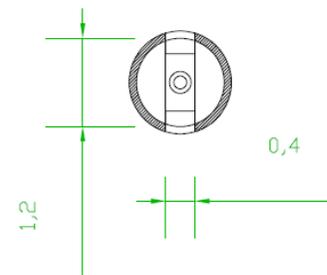
ANEXO Q. Plano floculador.

FLOCULADOR CILINDRICO TUBINA VERTICAL (EP-005)

VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA SUPERIOR



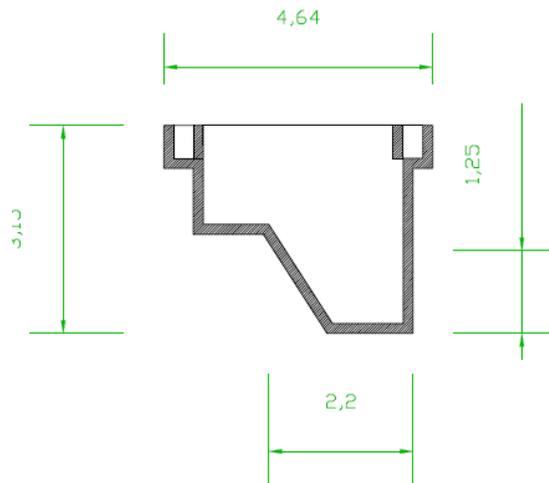
Las unidades estan en metros.
El espesor de las parede es de
0,10 m. Contrucción de conreto.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: GUALANCAÑAY C., 2019.	TEMA: Plano de floculador.		
Planos de floculador de cilindro y turbina vertical.	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	1	1:1	07/02/2019
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>			

ANEXO R. Plano sedimentador y filtro.

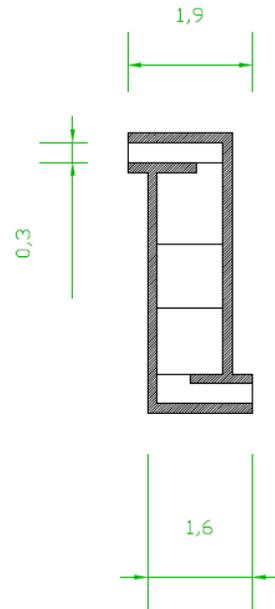
SEDIMENTADOR FLUJO HORIZONTAL (EP-006)

VISTA LATERAL IZQUIERDA

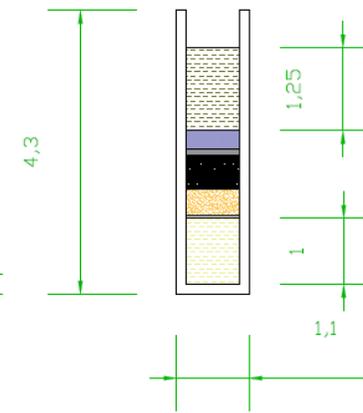


Las unidades estan en metros.
El espesor de las paredes de
0,15 m. Construcción de concreto
y ladrillo.

VISTA SUPERIOR



FILTRO DESCENDENTE (EP-007)



NOTAS:

Planos del sedimentados de flujo horizontal.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Preliminar
<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	Por aprobar
<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
REALIZADO POR:
GUALANCAÑAY C.,2019.**

TEMA: Plano de sedimentador y filtro

LAMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	07/02/2019

ANEXO S. Resultados de análisis de laboratorio lixiviado crudo

S1. Resultados de la caracterización del sedimentador Parte 1.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No:	L-012-18
ST:	007-18 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario:	NA
Atm.	Cecilia Gualancañay
Dirección:	Riobamba Riobamba-Chimborazo
FECHA:	21 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/08/08 - 11:40
FECHA DE MUESTREO:	2018/08/08 - 08:55
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/08/08 - 2018/08/21
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviado
CÓDIGO CESTTA:	LAB-L 012-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	PTALI-01
PUNTO DE MUESTREO:	Sistema de tratamiento de lixiviados
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico-Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Cecilia Gualancañay
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
*Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	10200	-	200
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3400	-	100
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H' B	Unidades de pH	7,99	± 0,4	6-9
*Sólidos Totales Disueltos	PEE/CESTTA/11 Standard Methods No. 2540 C	mg/L	14816	-	-
*Oxígeno disuelto	PEE/CESTTA/45 Standard Methods No. 4500 - O G	mg/L	0,2	-	-
*Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	21900	-	1600
*Coliformes Totales	PEE/CESTTA/229 Standard Methods No. 9221B/ 9221C	NMP/100mL	920000	-	-
*Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100mL	<1,8	-	2000

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-23

Página 1 de 2
Edición 1

S2. Resultados de la caracterización del sedimentador Parte 2.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE
	DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO	ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008

Panamericana Sur Km. 1 %, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Teléfono: (03) 3013183

Mercurio	PEE/CESTTA/34 EPA 3015A/EPA245.1 EPA 7470A	mg/L	<0,001 0,00042	±29%	0,005
*Cadmio	PEE/CESTTA/33 Standard Methods3500- Cd B/3030E,3111B	mg/L	<0,02 0,015	-	0,02
*Niquel	PEE/CESTTA/31 Standard Methods3500- Ni B/3030E,3111B	mg/L	0,23	-	2,0
*Plomo	PEE /CESTTA/29 Standard Methods 3030B, 3111B	mg/L	<0,2	-	0,2
*Zinc	PEE /CESTTA/68 Standard Methods 3500-ZnB/ 3030-E3111-B	mg/L	0,78	-	5,0

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los límites máximos permisibles indicados en la Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. AM 097, Libro VI, Anexo I. Solicitados por el cliente.
- "Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE".

RESPONSABLES DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



S3. Resultados de la caracterización de la piscina de aireación. Parte 1.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE
	DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183	ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008

INFORME DE ENSAYO No:	L-013-18
ST:	007- 18 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario:	NA
Atn.	Cecilia Gualancañay
Dirección:	Riobamba Riobamba-Chimborazo
FECHA:	21 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/08/08 - 11:40
FECHA DE MUESTREO:	2018/08/08 - 09:22
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/08/08 - 2018/08/21
TIPO DE MUESTRA:	Lixiviado
CÓDIGO CESTTA:	LAB-L 013-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	PTA PAI-02
PUNTO DE MUESTREO:	Sistema de tratamiento de lixivios
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico-Químico-Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Cecilia Gualancañay
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
*Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	10250	-	200
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3416	-	100
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-IF B	Unidades de pH	7,78	± 0,4	6-9
*Sólidos Totales Disueltos	PEE/CESTTA/11 Standard Methods No. 2540 C	mg/L	15226	-	-
*Oxígeno disuelto	PEE/CESTTA/45 Standard Methods No. 4500 - O G	mg/L	0,1	-	-
*Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	22700	-	1600
*Coliformes Totales	PEE/CESTTA/229 Standard Methods No. 9221B/ 9221C	NMP/100mL	1600000	-	-
*Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221 E / 9221 C	NMP/100mL	<1,8	-	2000

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
MC01-23

Página 1 de 2
Edición 1

S4. Resultados de la caracterización de la piscina de aireación. Parte 2.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefon: (03) 3013183	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008

Mercurio	PEE/CESTTA/34 EPA 3015A/EPA245.1 EPA 7470A	mg/L	<0.001 0,0001	±29%	0.005
*Cadmio	PEE/CESTTA/33 Standard Methods3500- Cd B/3030E,3111B	mg/L	<0.02 0,014	-	0.02
*Niquel	PEE/CESTTA/31 Standard Methods3500- Ni B/3030E,3111B	mg/L	0,22	-	2.0
*Plomo	PEE /CESTTA/29 Standard Methods 3030B, 3111B	mg/L	<0,2	-	0,2
*Zinc	PEE /CESTTA/68 Standard Methods 3500-ZnB/ 3030-E3111-B	mg/L	0,87	-	5,0

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE. Contempla los límites máximos permisibles indicados en la Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. AM 097. Libro VI. Anexo I. Solicitados por el cliente.
- *Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE".

RESPONSABLES DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



S5. Resultados de la caracterización de los humedales y piscina de cloración. Parte 1.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE: 088-18



3

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Lupe Gualancañay **INFORME N°:** 088-18
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 088-18
DIRECCIÓN: Larrea y Cordovez
FECHA DE RECEPCIÓN: 08-08-18
TELÉFONO: **FECHA DE INFORME:** 16-08-18

NÚMERO DE MUESTRAS: 2, Lixiviado, Botadero Municipal de Porión, Riobamba **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA-180-18 PTL-Humedales 03 Lixiviado
 MA-181-18 PTL-TS-04 Lixiviado

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-180-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	8,16	+/- 0,08	08-08-18
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	29156	+/- 6%	08-08-18
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	18410	N/A	08-08-18
* Niquel	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ni - 3111B	0,78	N/A	08-08-18
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,12	N/A	08-08-18
* Zinc	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Zn - 3111B	0,83	N/A	08-08-18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	11300	N/A	08-08-18
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	18700	+/- 10%	08-08-18
* Oxígeno Disuelto	mg O2/l	STANDARD METHODS 4500-O-G mod	0,10	N/A	08-08-18
* Coliformes Totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	93000	N/A	08-08-18
* Coliformes Fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	17000	N/A	08-08-18

MA-181-18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	8,22	+/- 0,08	08-08-18
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	35394	+/- 6%	08-08-18
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	18290	N/A	08-08-18

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.

S5. Resultados de la caracterización de los humedales y piscina de cloración. Parte 2.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE: 088-18



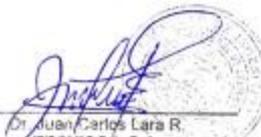
41

* Niquel	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ni - 3111B	0,70	N/A	08 - 08 - 18
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,09	N/A	08 - 08 - 18
* Zinc	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Zn - 3111B	0,91	N/A	08 - 08 - 18
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	13200	N/A	08 - 08 - 18
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	20600	+/- 10 %	08 - 08 - 18
* Oxígeno Disuelto	mg O2/l	STANDARD METHODS 4500-O-G mod	0,07	N/A	08 - 08 - 18
* Coliformes Totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	87000	N/A	08 - 08 - 18
* Coliformes Fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	14000	N/A	08 - 08 - 18

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 2 de 2

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

S6. Muestras tomadas por el personal de la celda emergente-entrada.



"Contribuimos a la protección ambiental con un tiempo de respuesta en 24 horas"
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS



DATOS DEL CLIENTE	
CLIENTE:	GAD Municipal del Cantón Riobamba
REPRESENTANTE:	Ing. Napoleón Cadena
DIRECCION:	Juan Félix Proaño y Londres
TELEFONO:	2943622/2962741
CELULAR:	0984937330
e - mail:	mosquerab@gadmriobamba.gob.ec

Versión: 9
Pág. 1 de 1
Código: REG TEC 018
Fecha formato: 20/03/2017
NUMERO DE INFORME:
LACQUA 1 8 2 4 1 0

CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 44	TEM. AMBIENTE(°C): 19
TIPO DE MUESTRA:	Muestra Lixiviados entrada Planta de Tratamiento	
RESPONSABLE MUESTREO:	Lacquanalisis	FECHA TOMA DE MUESTRA: 19 de junio de 2018
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	Puntual	
FECHA DE ANALISIS:	Desde el 19 de junio al 04 de julio de 2018	
FECHA EMISION DE INFORME:	04 de julio de 2018	

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
DQO***	mg/l	12580,0	PA-32.00	---
DBO5***	mg/l	5604,61	PA-45.00	---
pH***	UpH	8,32	PA-05.00	---
Sólidos Totales Disueltos***	mg/l	17782,0	PA-15.00	---
Oxígeno Disuelto***	mg/l	<2,00	POS - 27.00	---
Cadmio*** ✓	mg/l	<0,02	PA-07.00	---
Niquel*** ✓	mg/l	0,25	PA-08.00	---
Mercurio*** ✓	µg/l	<2,00	PA-57.00	---
Plomo*** ✓	mg/l	0,22	PA-09.00	---
Zinc*** ✓	mg/l	0,41	PA-19.00	---
Sólidos Totales***	mg/l	18490,0	PA-14.00	---

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Coliformes Totales*** ✓	NMP/100 ml	2400,0	PA - 66.00	---
Coliformes Fecales*** ✓	NMP/100 ml	790,0	PA - 66.00	---

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado: OME LE 2C 05-005
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. María Jose Tapia
ANALISTA



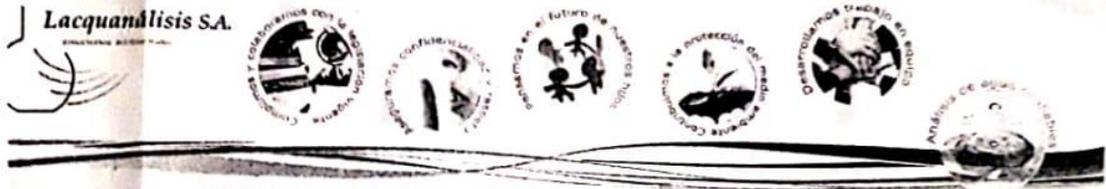
Dr. Harold Jiménez
DIRECTOR TECNICO

NOTA:

El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
Prohíbe la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · **Móvil:** 099-5363620 · **info@lacquanalisis.com**
Ambato, Ecuador - Sud América

S6. Muestras tomadas por el personal de la celda emergente-salida.



*Contribuimos a la profesión ambiental con nuestros laboratorios certificados
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS



DATOS DEL CLIENTE	
CLIENTE:	GAD Municipal del Cantón Riobamba
REPRESENTANTE:	Ing. Napoleón Cadena
DIRECCION:	Juan Félix Proaño y Londres
TELEFONO:	2943622/2962741
CELULAR:	0984937330
e - mail:	mosquerab@gadmriobamba.gob.ec

Versión: 9
Pág. 1 de 1
Código: REG TEC 018
Fecha formato: 20/03/2017
NUMERO DE INFORME:
LACQUA 1 8 - 2 4 0 9

CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 44	TEM. AMBIENTE(°C): 19
TIPO DE MUESTRA:	Muestra Lixiviados salida Cierre Técnico	
RESPONSABLE MUESTREO:	Lacquanalisis	FECHA TOMA DE MUESTRA: 19 de Junio de 2018
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	Puntual	
FECHA DE ANALISIS:	Desde el 19 de junio al 04 de julio de 2018	
FECHA EMISION DE INFORME:	04 de julio de 2018	

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
DQO***	mg/l	11530,0	PA-32.00	---
DBO5***	mg/l	4849,85	PA-45.00	---
pH***	UpH	8,07	PA-05.00	---
Sólidos Totales Disueltos***	mg/l	17952,0	PA-15.00	---
Oxígeno Disuelto***	mg/l	<2,00	POS - 27.00	---
Cadmio***	mg/l	0,02	PA-07.00	---
Niquel***	mg/l	0,32	PA-08.00	---
Mercurio***	µg/l	<2,00	PA-57.00	---
Plomo***	mg/l	0,29	PA-09.00	---
Zinc***	mg/l	0,39	PA-19.00	---
Sólidos Totales***	mg/l	19162,0	PA-14.00	---

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Coliformes Totales***	NMP/100 ml	140,0	PA - 66.00	---
Coliformes Fecales***	NMP/100 ml	<1,8	PA - 66.00	---

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado: COE LE 2005-005
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Maria Jose Tapia
ANALISTA



Dr. Harold Jiménez
DIRECTOR TÉCNICO

NOTA:

El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Dirección: Edificio Plaza Fieco, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América

S7. Resultados de caracterización de lixiviado en operaciones de sedimentación y aireación.

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 31 de octubre a 8 de noviembre 2018

Análisis solicitado por: Cecilia Gualancafiay

Tipo de muestras: Planta de tratamiento Lixiviado (SEDIMENTADOR Y PISCINA DE AIREACCION)

Localidad: Parroquia Riobamba – Relleno Sanitario "Porlón"

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Valores referenciales (TULSMA TABLA10)	Muestra 1 (Entrada sedimentador)	Muestra 2 (Salida sedimentador)	Muestra 3 (Entrada aireación)	Muestra 4 (Salida aireación)
pH	Und.	6-9	8,53	8,19	8,14	8,14
Temperatura	°C	Condición natural ± 3	22,0	24,4	22,2	22,5
Turbiedad	UNT	-----	539	516	520	550
Conductividad	mSiems/cm	-----	--	24,1	25,1	24,6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	15200	14300	16400	12200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	5900	5900	2133	1966
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	130	--	13400	14100	13900

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:
Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



ANEXO T. Resultados de análisis de laboratorio lixiviado tratado

T1. Resultados de lixiviado tratado con Wayra.

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 3 de enero 2019

Análisis solicitado por: Cecilia Gualancañay

Tipo de muestras: Planta de tratamiento de Lixiviado – Tratamiento Físico – Químico con:
(COAGULANTE WAYRA) (FLOCULANTE NO IONICO 219)

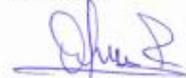
Localidad: Parroquia Riobamba – Relleno Sanitario "Porlón"

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Valores referenciales (TULSMA TABLA10)	Muestra 1 (Ensayo con Wayra 1)	Muestra 2 ç (Ensayo con Wayra 2)
pH	Und.	6-9	8,30	8,32
Temperatura	°C	Condición natural ±3	22	23
Turbiedad	UNT	-----	325	357
Color real	PtCo	-----	9800	559
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	13900	14020
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	559	589

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



T2. Resultados de lixiviado tratado alternativa 1.

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 4 de enero 2019

Análisis solicitado por: Cecilia Gualancañay

Tipo de muestras: lixiviada salida del sedimentado-tratamiento con ácido sulfúrico y con coagulantes (PAC,SULF.AL) y floculante (NO IONICO 219).

Localidad: Parroquia Riobamba – Relleno Sanitario "Porlón"

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Valores referenciales (TULSMA TABLA 9)	Muestra 1 (Ensayo pH 7)	Muestra 2 (Ensayo pH 6)	Muestra 3 (Ensayo pH 5)	Muestra 4 (Ensayo pH 4)
pH	Und.	6-9	6,95	5,71	4,9	4,1
Temperatura	°C	Condición natural ± 3	22,1	22,1	22,1	22,1
Turbiedad	UNT	-----	370	270	170	143
Color real	PtCo	-----	5000	4860	4580	3800
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	13460	11860	12980	13220
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	mg/L	100	3600	3560	1500	1460
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	347	280	287	215

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:
Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

T3. Resultados de análisis de lixiviado tratado alternativa 2, parte 1.

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE
	DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO	ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008

INFORME DE ENSAYO No: L-002-19
ST: 002- 19 ANÁLISIS DE LIXIVIADOS
Nombre Peticionario: N.A
Atn. Lupe Gualancañay
Dirección: Riobamba
 Riobamba -Chimborazo

FECHA: 04 de Febrero del 2019
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2019/01/18- 16:15
FECHA DE MUESTREO: 2019/01/18- 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2019/01/18 - 2019/02/04
TIPO DE MUESTRA: Lixiviado
CÓDIGO CESTTA: LAB-L.002-19
CÓDIGO DE LA EMPRESA: N.A
PUNTO DE MUESTREO: Sedimentador Porlón
 Laboratorio de calidad de aguas
 Lixiviado tratado

ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Lupe Gualancañay
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	4,27	±0,4	-
*Turbidez	PEE/CESTTA/43 EPA 180.1	UNT	32,4	-	-
*Conductividad eléctrica	PEE/CESTTA/06 Standard Method No. 2510 B	µS/cm	38700	-	-
*Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	13530	-	-
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	220	-	-
*Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	26260	-	-

T4. Resultados de análisis de lixiviado tratado alternativa 2, parte 2.



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Teléfono: (03) 3013183

**LABORATORIO DE
ENSAYO
ACREDITADO POR
EL SAE**

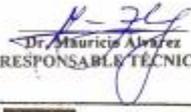
**ACREDITACIÓN
Nº OAE LE 2C 06-008**

*Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No 5520 B	mg/L	5.7	-	-
-------------------	--	------	-----	---	---

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor límite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE.
- "Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE".

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



T5. Resultados de lixiviado tratado con aireación alternativa 2A.

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 06 al 08 de febrero de 2019

Análisis solicitado por: Cecilia Gualancañay

Tipo de muestras: Lixiviado- tratamiento físico-químico con 3 coagulantes (PAC, SULF.AL, WAYRA) y floculante (NO IONICO) y Aireación con nutriente (alfa POB₅).

Localidad: Parroquia Riobamba – Relleno Sanitario "Porlón"

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Valores referenciales (TULSMA TABLA 9)	Resultados Febrero-2019				
			06	07 (9 h)	07 (24 h)	07	08 (22 h)
pH	Und.	6-9	8,43	9,00	9,23	7,01	4,71
Temperatura	°C	Condición natural ± 3	23,2	23,0	23,0	23,1	22,0
Turbiedad	UNT	-----	662	360	749	311	207
Color	PICo	-----	17200	---	---	---	4330
Conductividad	mSiems/cm	-----	13,1	16,3	14,2	6	3,23
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200		---	---	---	9970
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	1060	---	960	326	231
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-----	7,2	8,8	7,9	3,2	1,77

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

T6. Resultados de lixiviado tratado alternativa tres y una segunda adición de químicos.

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 28 de febrero al 07 de marzo de 2019

Análisis solicitado por: Cecilia Gualancañay

Tipo de muestras: Lixiviado primer tratamiento físico-químico (PAC, SULF.AL Y NO IONICO), aireación con nutriente (alfa POBs) y segundo tratamiento físico-química (PAC, SULF.AL Y NO IONICO).

Localidad: Parroquia Riobamba – Relleno Sanitario "Porlón"

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Valores referenciales (TULSMA TABLA 9)	Muestra 1 (E35/6)	Muestra 2 (E33/6)	Muestra 3 (E30/2)
pH	Und.	6-9	5,57	5,76	6,00
Temperatura	°C	Condición natural ± 3	22	22	22
Turbiedad	UNT	-----	189,2	201	70
Color real	PCo	-----	1660	2320	1220
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	---	---	5430
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	130	103	115	112

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:
Atentamente.



[Handwritten signature]

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

T7. Resultados finales de lixiviado tratado con la tercera alternativa.

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 07 a 13 de marzo de 2019

Análisis solicitado por: Cecilia Gualancañay

Tipo de muestras: Lixiviado en Fito depuración, tercer tratamiento físico químico con coagulantes(PAC,SULF.AL) y floculante (NO IONICO) y filtración.

Localidad: Parroquia Riobamba – Relleno Sanitario "Porlón"

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Valores referenciales (TULSMA TABLA 9)	Muestra 1 (Lixiviado fitorremediación)	Muestra 2 (Lixiviado sedimentación)	Muestra 3 (Lixiviado Filtración)
pH	Und.	6-9	6,94	7,02	6,86
Temperatura	°C	Condición natural ±3	21,0	21,4	21,8
Turbiedad	UNT	-----	27	32,8	5,9
Color real	PCo	-----	479	465	133
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	4090	1815	1552
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días	mg/L	100	1750	490	540
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	30	40	6
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-----	380	0,41	0,47
Conductividad	mSiems/cm	-----	392	11,08	0,96
Sólidos Totales	mg/L	1600	9732	9516	8764
Oxígeno Disuelto	mg/L	-----	---	---	0,13

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:
Atentamente.




Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

T8. Resultados finales de lixiviado tratadas con alternativa 3.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006



N° SE: 040-19

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Lupe Gualancañay **INFORME N°:** 040- 19
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 040 - 19
DIRECCIÓN: Larrea y Cordovez

FECHA DE RECEPCIÓN: 14 - 03 - 19

TELÉFONO: 0991934819

FECHA DE INFORME: 21 - 03 - 19

NÚMERO DE MUESTRAS: 1, Lixiviado; Botadero Municipal de Porlón, Riobamba

TIPO DE MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN: MA - 090 -18 Lixiviado tratado Lixiviado

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 090 -18

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	8,16	+/- 0,08	14 - 03 - 19
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	10564	+/- 6 %	14 - 03 - 19
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - C	5970	N/A	14 - 03 - 19
* Color Aparente	Upt-Co	STANDARD METHODS 2120 - C	900	N/A	14 - 03 - 19
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	57,5	N/A	14 - 03 - 19
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B	481,2	N/A	14 - 03 - 19
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	397	N/A	14 - 03 - 19
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	1301	+/- 10 %	14 - 03 - 19
* Oxígeno Disuelto	mg O2/l	STANDARD METHODS 4500-O-G mod	6,32	N/A	14 - 03 - 19
* Coliformes Totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	83000	N/A	14 - 03 - 19
* Coliformes Fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	1500	N/A	14 - 03 - 19

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22^a EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22^a EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizad(a)s.
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 del

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

ANEXO U. Cotización de reactivos químicos.

COTIZACIÓN PARA REACTIVOS QUÍMICOS

Luis Santamaría

para mí ▾

Estimado

Gracias por contactarnos, pero me gustaría poder ayudarle de una manera directa para poder recomendarle de la mejor manera.

Para PAC tipo A Precio \$ 850 por ton

Para PAC tipo B Precio \$ 790 por ton

Floculante No ionico \$ 7.20 por kg Fundas de 25 kg

Los valores indicados no incluyen iva y son entregados en nuestra planta en Tambillo.

De requerir mayor informacion, puede comunicarse conmigo.

Atentamente

Luis H. Santamaría S.

Ecuapetquim

Nuestro nuevo PBX es 3948300

Cell: (593) 999450794 Claro

Cell: (593) 984692852 Movistar

Panamerica sur km 28 - Quito Ecuador EC171106

Parque Industrial Miraflores - Tambillo

ANEXO V. Selección de compresor.

DEWALT D55167 1.6 HP 225 PSI Oil Free High Pressure Low Noise Horizontal Portable Compressor



- 225 PSI max pressure and 15 gallon tank allows for longer air tool run time
- 5.0 SCFM at 90 PSI allows for quick compressor recovery time. Wide track, semi-pneumatic tires allow for additional stability, easy movement, and no tire maintenance
- 78 dBA (tested per ISO3744) operational noise level for a quieter work environment
- EHP efficient high-pressure technology delivers exceptional air-tool runtimes
- Oil-free, maintenance-free pump for convenient use

ANEXO W. Tablas para diseño de floculador y sedimentador Kerry J. Howe – Principios de tratamientos de agua.

Table 5-5

Typical design criteria for horizontal-shaft paddles and vertical-shaft turbines

Design Parameter	Unit	Horizontal Shaft with Paddles	Vertical-Shaft Turbines
Velocity gradient, \bar{G}	s^{-1}	20–50	10–80
Tip speed, maximum	m/s	1	2–3
Rotational speed	rev/min	1–5	10–30
Compartment dimensions (plan)			
Width	m	3–6	6–30
Length	m	3–6	3–5
Number of compartments	No.	2–6	4–6
Variable-speed drives	—	Usually	Usually

Table 5-6

Power and pumping numbers for common impellers

Impeller Type	Photograph	Power Number	Pumping Number	Application
Flat-bladed turbine (FBT)		3.6	0.9	Blending, maintaining suspensions, flocculation
Pitched-blade turbine (45° PBT)		1.26	0.75	Blending, maintaining suspensions, flocculation
Pitched-blade turbine with camber (hydrofoil, 3 blades)		0.2–0.3	0.45–0.55	Blending, maintaining suspensions, flocculation
Cast foil with proplets		0.23	0.59	Blending viscous liquids
Rushton turbine (6 blades)		4.5–5.5	0.72	Gas–liquid dispersion, solids suspension, flocculation
Propeller (pitch of 1:1)		0.32–0.36	0.4	Blending viscous liquids

Table 6-2

Typical design criteria for horizontal-flow rectangular tanks

Parameter	Units	Value
Minimum number of tanks	Unitless	2
Surface loading rate (overflow rate)	m/h (gpm/ft ²)	1.25–2.5 (0.5–1.0)
Detention time	h	1.5–4
Water depth	m (ft)	3–5 (10–16)
Length-to-width ratio	Dimensionless	minimum 4:1 preferred >5:1
Horizontal mean-flow velocity	m/min (ft/min)	0.3–1.1 (1–3.5)
Reynolds number	Dimensionless	<20,000
Froude number	Dimensionless	> 10 ⁻⁵

Source: Adapted from Kawamura (2000).