

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES DE  
LA PLANTA DE PRODUCCIÓN N°1 DE EPSEL S.A. PARA  
MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL CANAL COIS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**HILLARY MELISSA GUERRA PUICAN**

**ASESOR**

**DANNY ADOLFO BUSTAMANTE SIGUEÑAS**

<https://orcid.org/0000-0001-9166-8169>

**Chiclayo, 2020**

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LOS LODOS  
RESIDUALES DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN N°1 DE  
EPSEL S.A. PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL  
SOBRE EL CANAL COIS**

PRESENTADA POR:

**HILLARY MELISSA GUERRA PUICAN**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

Joselito Sánchez Pérez

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza  
SECRETARIO

Danny Adolfo Bustamante Sigueñas  
ASESOR

## DEDICATORIA

A mis padres Arnold y Socorro, por su amor, apoyo incondicional y confianza; sin los cuales no hubiera sido posible cumplir una de mis principales metas de vida.

A mis tíos Jorge y Cecilia por su cariño y constante preocupación por mí, a pesar de la distancia.

A los miembros de mi familia, por ser un ejemplo de éxito y superación; motivándome a culminar satisfactoriamente esta carrera universitaria.

A mis amigos, por acompañarme durante estos cinco años de estudio y hacer de la vida universitaria una experiencia inolvidable.

A mi mejor amiga, Madelei, Horna Inga, por ser como una hermana para mí, aconsejarme y apoyarme día a día, enseñándome el valor de la verdadera amistad.

A Fernando Pérez Bautista, por apoyarme incondicionalmente y darme la motivación necesaria para cumplir con este objetivo.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen María, por darme vida, salud e inteligencia para el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Gustavo Castellanos y al Blgo. Lorenzo Bocanegra, por su apoyo y conocimientos otorgados desde el inicio de este proyecto, así como las facilidades para realizar visitas técnicas en la empresa con el fin de obtener la información requerida.

Al Sr. David Grados, trabajador de la empresa, por el apoyo en la realización de los análisis de laboratorio, sin los cuales no hubiera sido posible el desarrollo de este estudio.

Al Mgtr. Danny Bustamante Sigueñas, por todos los conocimientos brindados a lo largo de la realización de esta investigación.

A los docentes de la facultad, porque con sus enseñanzas, fueron parte de mi formación como Ingeniera Industrial.

## RESUMEN

La empresa brinda el servicio de agua potable y alcantarillado a la ciudad de Chiclayo. El tratamiento al cual se somete el agua cruda que ingresa a su planta de producción incluye las operaciones de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; obteniendo efluentes generados en el lavado de los equipos de filtración y la evacuación de los lodos que quedan retenidos en los sedimentadores. Estos efluentes son vertidos al Canal Cois sin ningún tratamiento previo, generando un impacto ambiental negativo sobre esta fuente de agua.

La presente investigación tiene como objetivo principal proponer un sistema de tratamiento de los lodos residuales de esta planta potabilizadora y así poder minimizar su impacto ambiental. Para ello se realizó un análisis físico-químico del efluente, obteniendo como resultado un DBO = 300 mg/L; DQO = 480 mg/L y SST = 720 mg/L, además con la ayuda de la matriz de Leopold y la valorización del impacto ambiental se pudo identificar y valorizar los factores ambientales más importantes como son la generación de efluentes el consumo de agua y la calidad de las fuentes de agua. Para determinar los tratamientos necesarios para la propuesta se utilizó el método de factores ponderados, dando como resultado: la homogeneización, decantación, espesamiento por gravedad y la deshidratación mediante un filtro prensa. Permitiendo así poder cumplir con los LMP y disminuir el porcentaje de SST. Finalmente en el análisis costo-beneficio se obtuvo una ganancia de \$0,60 por cada dólar invertido en la implementación de la propuesta. Además se logró disminuir el impacto ambiental en un 60,36%.

***Palabras clave:*** agua potable, tratamiento, lodos residuales, impacto ambiental

## ABSTRACT

The company provides potable water and sewerage service to the city of Chiclayo. The raw water treatment that enters its production plant includes the operations of coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection; generating effluents by washing the filtration equipment and removing the sludge retained in the settlers. These effluents are discharged to the Canal Cois without any previous treatment, producing a negative environmental impact on this water source. The main objective of the present investigation is to propose a treatment system for the residual sludge from this water treatment plant and thus minimize its environmental impact. For this, a physical-chemical analysis of the effluent was carried out, obtaining as a result a BOD = 300 mg / L; COD = 480 mg/L and SST = 720 mg/L, in addition with the help of the Leopold matrix and the valorization of the environmental impact it was possible to identify and valorize the most important environmental factors such as the generation of effluents, water consumption and the quality of water sources. To determine the necessary treatments for the proposal, the weighted factors method was used, resulting in: homogenization, decantation, thickening by gravity and dehydration using a filter press. Allowing thus to be able to comply with the LMP and decrease the percentage of SST. Finally, in the cost-benefit analysis, a profit of \$ 0, 60 was obtained for each dollar invested in the development of the proposal. In addition, the environmental impact was reduced by 60, 36%.

**KEYWORDS:** *water, treatment, sewage sludge, environmental impact*

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	13
II.	MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA .....	15
2.1.	Antecedentes del problema .....	15
2.2.	Fundamentos teóricos .....	18
2.2.1.	Efluentes del proceso de potabilización de agua .....	18
2.2.2.	Parámetros de contaminación del efluente.....	19
2.2.3.	Procesos de Tratamiento de Efluentes de una PTAP .....	21
2.2.3.1.	Tratamiento inicial .....	21
2.2.3.2.	Tratamiento primario .....	21
2.2.3.3.	Tratamiento de lodos.....	22
2.2.3.3.1.	Espesamiento .....	23
2.2.3.3.2.	Deshidratación .....	24
2.2.3.4.	Disposicion final .....	27
2.2.4.	Metodología para identificación de factores ponderados .....	27
2.2.5.	Marco legal .....	27
2.2.6.	Impactos ambientales .....	29
2.2.6.1.	Identificación de impactos ambientales .....	29
2.2.6.2.	Valorización de impactos ambientales.....	32
III.	RESULTADOS.....	35
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA EMPRESA Y CARACTERIZACIÓN DE SUS EFLUENTES. ....	35
3.1.1.	La empresa .....	35
3.1.2.	Descripción del sistema de potabilización .....	37
3.1.2.1.	Materia prima.....	37
3.1.2.2.	Insumos .....	39
3.1.2.3.	Maquinaria y equipos.....	40
3.1.2.4.	Producto .....	43
3.1.2.5.	Producción de agua potable .....	44
3.1.3.	Descripción del proceso de potabilización de agua .....	45
3.1.4.	Efluentes generados en la planta potabilizadora .....	47
3.1.4.1.	Aguas residuales del lavado de filtros.....	47
3.1.4.2.	Aguas residuales de la limpieza de sedimentadores .....	48
3.1.4.3.	Lodos generados del proceso de potabilización.....	49

3.1.5.	Disposición final de los efluentes .....	52
3.1.6.	Caracterización de los efluentes.....	52
A.	Toma de muestra del efluente .....	53
B.	Análisis de los resultados .....	54
3.1.7.	Determinación del impacto ambiental generado.....	55
3.2.	IDENTIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS MÁS ADECUADOS PARA LOS EFLUENTES GENERADOS EN LA EMPRESA.....	67
3.2.1.	Determinación de los tratamientos más adecuados para los efluentes .....	67
3.2.2.	Ponderación para la elección de los componentes del sistema de tratamiento de lodos residuales .....	71
3.2.2.1.	Ponderación para la elección del tratamiento primario.....	71
3.2.2.2.	Ponderación para la elección del tipo de espesamiento .....	74
3.2.2.3.	Ponderación para la elección del equipo de deshidratación.....	76
3.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PARA LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA N°1 DE EPSEL S. A.....	80
3.3.1.	Pronóstico del efluente.....	80
3.3.2.	Proceso del sistema de tratamiento propuesto .....	83
3.3.2.1.	Bombeo de agua.....	83
3.3.2.2.	Homogeneización .....	83
3.3.2.3.	Decantación.....	83
3.3.2.4.	Espesamiento .....	84
3.3.2.5.	Deshidratación .....	84
3.3.3.	Balance de materia .....	85
3.3.3.	Parámetros finales del balance de materia .....	89
3.3.4.	Indicadores ecoeficientes .....	89
3.3.5.	Dimensiones del sistema de tratamiento.....	90
3.3.6.	Área disponible para la instalación del sistema de tratamiento .....	100
3.3.7.	Distribución de planta .....	102
3.4.	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PROPUESTO .....	105
3.4.1.	Costo de inversión para el sistema de tratamiento propuesto .....	105
3.4.1.1.	Costos tangibles .....	105
3.4.1.2.	Costos intangibles .....	106
3.4.2.	Sanciones y multas por contaminar los recursos hídricos.....	107
3.4.3.	Costos del sistema de tratamiento.....	108

3.4.3.1.	Costo de energía.....	108
3.4.3.2.	Costo por tratamiento de efluente .....	109
3.4.3.3.	Costo de insumos .....	110
3.4.3.4.	Disposición final del lodo deshidratado.....	110
3.4.4.	Análisis costo beneficio de la propuesta .....	111
3.4.5.	Identificación del impacto ambiental después de la propuesta .....	113
3.4.5.1.	Matriz de identificación y cuantificación de impactos .....	113
IV.	CONCLUSIONES .....	115
V.	RECOMENDACIONES .....	116
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
VII.	ANEXOS .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de reducción del contenido de agua de los lodos .....	22
Tabla 2. Concentración típica de sólidos a la salida del espesador por gravedad.....	23
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los Lechos de secado de lodos .....	25
Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso de Filtros Banda .....	25
Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de Filtros Prensa .....	26
Tabla 6. Ventajas y desventajas del uso de filtros al vacío .....	26
Tabla 7. LMP de descarga a un cuerpo de agua receptor.....	29
Tabla 8. Parámetros para la Identificación de Impactos .....	30
Tabla 9. Elementos Ambientales de la Matriz de Leopold .....	31
Tabla 10. Escala y calificación de los parámetros de caracterización.....	34
Tabla 11. Caudal del agua cruda de ingreso a la planta en el año 2018.....	38
Tabla 12. Requerimiento de insumos para el proceso de tratamiento.....	40
Tabla 13. Características de los equipos usados .....	41
Tabla 14. Características de los equipos de dosificación .....	41
Tabla 15. Características de las unidades de decantación simple .....	42
Tabla 16. Características de las unidades de decantación laminar.....	42
Tabla 17. Características de las unidades de filtración .....	43
Tabla 18. Características de las unidades de desinfección.....	43
Tabla 19. Características del agua tratada en Planta en el año 2018.....	44
Tabla 20. Volumen de agua producido (m <sup>3</sup> ) en la Planta N°1 en los últimos 5 años.....	45
Tabla 21. Volumen de agua utilizado en el lavado de unidades de filtración en los últimos 5 años (m <sup>3</sup> ) .....	48
Tabla 22. Volumen de agua utilizado para la purga de lodos en .....	49
Tabla 23. Cantidad de lodos producidos en el año 2018.....	50
Tabla 24. Cantidad Teórica de Lodos Generados en el año 2018 (m <sup>3</sup> ).....	51
Tabla 25. Comparación de los resultados de los análisis y los LMP de descarga .....	54
Tabla 26. Factores ambientales afectados .....	56
Tabla 27. Cantidad de residuos generados por las áreas administrativas.....	58
Tabla 28. Cantidad de residuos generados por el departamento de planta y Mantenimiento ..	59
Tabla 29. Valores para determinar la Magnitud e Importancia de los Impactos .....	61
Tabla 30. Matriz de Leopold de la empresa .....	63
Tabla 31. Valoración De Impactos Ambientales de la empresa .....	65
Tabla 32. Posibles Tratamientos primarios a aplicar para la propuesta de tratamiento .....	68
Tabla 33. Tipos de Espesamiento aplicables a la propuesta de tratamiento .....	69
Tabla 34. Tipos de deshidratación para el sistema de tratamiento propuesto .....	70
Tabla 35. Factores confrontados para su ponderación .....	71
Tabla 36. Confrontación de factores para su ponderación. ....	72
Tabla 37. Rango de calificación de factores .....	72

Tabla 38. Calificación de los factores predominantes para cada uno de los procesos analizados en el tratamiento primario .....	73
Tabla 39. Factores confrontados para su ponderación .....	74
Tabla 40. Confrontación de factores para su ponderación .....	74
Tabla 41. Calificación de los factores predominantes para la operación de espesamiento.....	75
Tabla 42. Factores confrontados para su ponderación .....	76
Tabla 43. Confrontación de factores para su ponderación .....	77
Tabla 44. Calificación de los factores predominantes para la operación de deshidratación ....	77
Tabla 45. Efluente generado por la empresa durante los años 2013 - 2018.....	81
Tabla 46. Pronóstico del efluente (m <sup>3</sup> /mes) .....	82
Tabla 47. Comparación de parámetros finales. ....	89
Tabla 48. Caudales mínimos, medios y máximos pronosticados.....	90
Tabla 49. Velocidades ascensionales a caudal máximo .....	92
Tabla 50. Tiempo de retención.....	93
Tabla 51. Dimensiones en decantadores circulares.....	94
Tabla 52. Carga sobre vertedero (m <sup>3</sup> /h/m) .....	95
Tabla 53. Velocidad de barrederas de fondo (m <sup>3</sup> /h/m) .....	95
Tabla 54. Tiempo de retención en pocetas de decantadores (h).....	96
Tabla 55. Valores de diseño de un espesador según la carga de sólidos.....	97
Tabla 56. Valores de diseño para la carga hidráulica de un espesador .....	97
Tabla 57. Valores de diseño para el tiempo de retención.....	99
Tabla 58. Parámetros de diseño seleccionados para el espesador.....	99
Tabla 59. Método de Guerchet para la instalación del sistema de tratamiento .....	103
Tabla 60. Costos de Inversión Tangible para el proyecto .....	106
Tabla 61. Costos de Inversión Intangible .....	107
Tabla 62. Inversión total para la propuesta .....	107
Tabla 63. Costo por multas de acuerdo a la infracción .....	108
Tabla 64. Costos por consumo de energía.....	109
Tabla 65. Costos de energía para el sistema propuesto .....	109
Tabla 66. Costo del aditivo por año .....	110
Tabla 67. Ingresos por venta del residuo.....	111
Tabla 68. Costo Beneficio de la propuesta.....	112
Tabla 69. Matriz de Leopold después de la propuesta .....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la generación de aguas residuales de coagulación.....	18
Figura 2. Vista de la Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	36
Figura 3. Organigrama de la empresa .....	37
Figura 4. Características físicas del agua cruda de ingreso a la Planta en el año 2018.....	39
Figura 5. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Agua Potable .....	47
Figura 6. Toma de muestra del efluente .....	54
Figura 7. Clasificación de Impactos según su valorización .....	65
Figura 8. Comportamiento del efluente del proceso de potabilización.....	80
Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento propuesto .....	85
Figura 10. Balance de masa en el homogeneizador .....	86
Figura 11. Balance de masa en el decantador .....	87
Figura 12. Balance de masa en el espesador .....	87
Figura 13. Balance de masa en el filtro .....	88
Figura 14. Medida de área disponible para el sistema de tratamiento .....	100

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que genera preocupación actualmente, es la contaminación ambiental ocasionada principalmente por el crecimiento de centros poblacionales, turísticos e industriales; lo cual ha ocasionado que los recursos naturales del planeta sean sobreexplotados por las actividades económicas realizadas por la población para su supervivencia. En torno a esta problemática, también se da la contaminación del agua, lo cual se ha convertido en una preocupación a nivel mundial ya que las reservas aprovechables del recurso hídrico son cada vez menores y poco se está haciendo por revertir esta situación debido a que la sociedad no ha logrado tomar conciencia de esta amenaza.

En el Perú existe una descarga anual de 960 millones de metros cúbicos de aguas residuales sobre el agua superficial, subterránea y marina, de los cuales el 64% pertenece a aguas residuales domésticas, 5,6% aguas residuales industriales, 4,4% de aguas residuales pesqueras, 25,4% de efluentes mineros y 0,2% por efluentes petroleros [1]. La falta de plantas de tratamiento para estas, ocasiona su descarga directa a las fuentes de agua más cercanas, lo cual genera un impacto ambiental negativo sobre este recurso.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Ciudad de Chiclayo no es ajena a esta problemática ya que, en su proceso, se generan efluentes con alto contenido de sólidos suspendidos totales que son producto de las operaciones de lavado de filtros y evacuación de lodos retenidos en la etapa de sedimentación, los cuales son vertidos al canal Cois, sin ningún tratamiento previo.

Estos efluentes son generados por el lavado de 8 unidades de filtración que se realiza diariamente en la empresa y también por la evacuación de lodos de los sedimentadores. Los filtros son los que requieren de limpieza frecuente debido a que sus carreras de filtración son de 24 horas y los equipos, después de cumplir con ello, deben de ser lavados. Los sedimentadores necesitan de limpieza periódica para evacuar los lodos que se quedan retenidos en el fondo de estos equipos. Aproximadamente, la empresa vierte 215 784 m<sup>3</sup> de efluente al año con un contenido de 307 996,46 kg de lodos aluminosos.

El impacto ambiental negativo generado por esta empresa se debe principalmente a la descarga de sus efluentes al cuerpo de agua más cercano y para hacer frente a este problema, se realizó la siguiente interrogante ¿La propuesta de tratamiento de los lodos residuales de la planta

de producción de agua potable N°1 de EPSEL S. A. minimizará el impacto ambiental sobre el Canal Cois?

Como el objetivo principal de este proyecto es proponer un sistema de tratamiento de los lodos residuales de la planta de producción de agua potable N°1 de EPSEL S. A. generados en la planta para minimizar el impacto sobre el canal Cois, se describió la situación actual de la planta, la cantidad y características de sus residuos y el impacto ambiental que genera, se evaluó y seleccionó el tratamiento más adecuado, se elaboró la propuesta de diseño de un sistema de tratamiento. Luego de haber completado los anteriores objetivos se procede a realizar un análisis costo-beneficio que se obtendrá con la propuesta del sistema tratamiento.

La propuesta de implementación de un sistema de tratamiento de estos efluentes, se encuentra justificada por la necesidad de proteger al medio ambiente y preservar los recursos naturales, principalmente las fuentes de agua, dado que su contaminación afecta directamente a su disponibilidad y es necesario manejarla de forma apropiada con el fin de mitigar las consecuencias de la creciente escasez de este recurso.

Además, este trabajo permitirá que el investigador amplíe sus conocimientos en los temas de tratamiento de residuos industriales y la identificación de impactos ambientales y también sirve de información para otras empresas del rubro y que quieran implementarlo.

## II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

### 2.1. Antecedentes del problema

- **Gutiérrez, et al. [2], realizaron su estudio: “Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua”** en la PTAP de Pereira, Colombia; en la cual se utiliza el sulfato de aluminio en el proceso de potabilización. Su objetivo fue determinar el tratamiento más óptimo entre la recuperación de aluminio, sedimentación o espesamiento. Como parte de su estudio, primero determinaron las características fisicoquímicas de los lodos, obteniendo como resultado de los análisis  $DBO = 329$ ,  $DQO = 537$  mg/L y  $SST = 930$  mg/L. Luego realizaron ensayos de recuperación de aluminio añadiendo ácido sulfúrico, con lo cual se recuperó el 60-70 % de la concentración inicial del aluminio en el lodo, con un pH de 1,5 y durante un período de mezclado de 5 a 30 minutos. En los ensayos de sedimentabilidad se agregaron los polímeros Nalclear 8173 y Trafloc 496, obteniendo la máxima remoción de SST y turbiedad con una dosis de 10 mg/L. En el espesamiento, el polímero Trafloc y el tiempo influyeron significativamente en la remoción de DQO, DBO, SST y turbiedad. De acuerdo a los resultados de los ensayos, la sedimentabilidad fue la alternativa que presentó eficiencias de remoción en menor tiempo.
- **Amador, Veliz y Bataller [3] en su investigación titulada “Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones”**, tuvieron como objetivo estudiar el manejo de los lodos y los procesos mecánicos de tratamiento que son factibles de ser aplicados para reducir el impacto ambiental que generan. En primer lugar, investigaron sobre la normativa existente para su manejo o reúso adecuado. Después, en cuanto a la caracterizaron los lodos, determinaron su composición fisicoquímica, metales pesados y la contaminación microbiológica que esto ocasiona. Para los análisis de la DQO y DBO aplicaron técnicas espectrofotométricas, mientras que para los sólidos utilizaron el método gravimétrico o el volumétrico. Como alternativas de tratamiento, analizaron el espesamiento, estabilización, deshidratación, desinfección, acondicionamiento y secado térmico y ozonización. En los resultados, obtuvieron que con la dosis de ozono más baja igual a 2,6 g/L durante una hora de tratamiento se logra una adecuada eficiencia de reducción de materia orgánica, si se tienen en cuenta las reducciones del 64,6 % de DQO y del 43,3 % de los SST.

- **T. Ahmad, K. Ahmad, M. Alam [4], en su investigación “Characterization of Water Treatment Plant’s Sludge and its Safe Disposal Options”,** afirmaron que toda Planta de Tratamiento de Agua Potable genera residuos, denominados “lodos del tratamiento de agua” durante el proceso de potabilización del agua cruda. Analizaron las características físicas y químicas del lodo producido en una PTAP en Ghaziabad, India que contenía aproximadamente 60% de arena fina, sílice, metales pesados, alúmina, óxido férrico y cal, siendo este último el de mayor porcentaje de componentes químicos presentes en el lodo. Concluyeron que la descarga de estos lodos hacía en ríos, arroyos, estanques, lagos, desagües, etc. son opciones de eliminación no favorable al medio ambiente ya que, en función de sus características, puede darse una eliminación sostenible y rentable a través del reciclaje y la reutilización; siendo necesario un previo proceso de deshidratación eficiente. Finalmente plantearon su posible reutilización en la fabricación de ladrillos, cerámica, cemento y también como sustituto de construcción.
- **García [5], en su investigación denominada “Tratamiento de efluentes para la planta de potabilización de agua Los Cuervos”,** tuvo como objetivo realizar el dimensionamiento de las estructuras y equipos necesarios para una propuesta de tratamiento que permita la mitigación del impacto de estos residuos en la fuente receptora. Como parte de su metodología de estudio, realizó la caracterización fisicoquímica del efluente, donde obtuvo un pH de 7, DBO = 392 mg/L y SST = 762; valores que comparó con los LMP establecidos en el país y demostró que estos superan los límites máximos decretados en Colombia. Luego calculó el volumen del agua de lavado de filtros y sedimentadores para determinar el caudal de ingreso al sistema. Después realizó el diseño de dos tanques de homogenización para el espesamiento de los lodos. Para el proceso de secado evaluó las alternativas de deshidratación a través de filtros prensa con los que se obtendría una humedad final de 40% y lechos de secado que darían como resultado una humedad de 70%. La elección del tipo de deshidratación fue determinada por los factores de eficiencia de remoción, facilidad de operación y costos. Finalmente, se concluyó que la mejor opción son los filtros prensa ya que el costo de los lechos de secado es 3 veces mayor y su eficiencia es menor.

- **Kelessidiss y Stasinakis [6]** en su investigación **“Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries”**, tuvieron como principal objetivo describir las alternativas de tratamiento y eliminación de lodos en los países de la Unión Europea. Como resultado, comprobaron que la deshidratación mecánica de los lodos es más recomendable en lugar del uso de lechos de secado. Por otro lado, constataron que la opción de disposición final de este residuo en estos países sigue siendo su vertimiento a cuerpos de agua. A partir de ello, analizaron otras opciones de disposición final y determinaron que la reutilización de lodos es un proceso factible para un 53% de lodos producidos, y para otro 21% sería viable realizar un proceso de incineración. Finalmente afirmaron que la implementación de estas prácticas de manejo de residuos impulsará la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento de lodos para lograr una mayor eliminación de patógenos, control de olores y eliminación de compuestos tóxicos; lo cual podrá garantizar que no se vea afectada la salud humana ni el medio ambiente.

## 2.2. Fundamentos teóricos

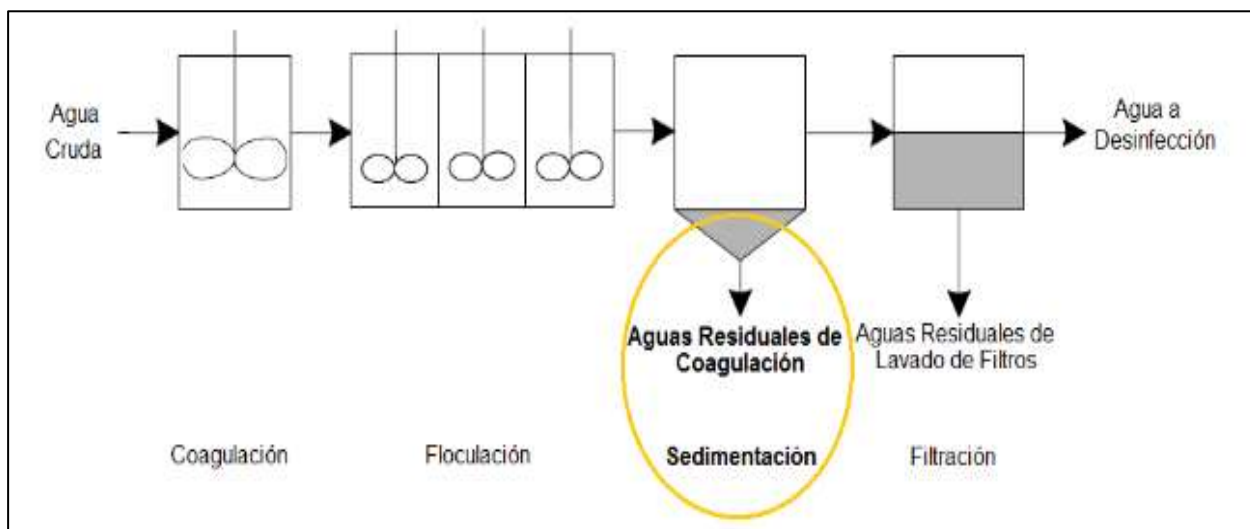
### 2.2.1. Efluentes del proceso de potabilización de agua

- **Aguas residuales de coagulación**

Son los efluentes generados en la etapa de coagulación-floculación, los cuales, después de su decantación, son evacuados de los sedimentadores. [7] Están compuestos principalmente por sólidos retirados del agua, el coagulante (aluminio o hierro) usado en la eliminación de turbiedad, manganeso, arsénico, fierro, microorganismos y otros componentes capaces de precipitar. [8]

Las aguas residuales de esta etapa poseen un elevado porcentaje de humedad (97 % a 99,5%) y un bajo contenido de sólidos. En cuanto a su apariencia, pueden presentar una tonalidad variable entre el café claro y el negro, según las propiedades fisicoquímicas que posee la fuente de agua de la planta y los insumos químicos utilizados en el tratamiento.

Los sólidos que contiene son voluminosos y livianos, lo cual permite su sedimentación de manera eficiente, sin embargo lo que es difícil de lograr es su deshidratación. [8] Por esta última característica estas aguas son catalogadas como difíciles de tratar.



**Figura 1. Esquema de la generación de aguas residuales de coagulación**

Fuente. [7]

- **Aguas residuales del lavado de filtros**

Estas se generan debido al lavado de la unidad, cuya finalidad es remover los sólidos retenidos en el lecho después de haberse realizado la operación de filtración. Generalmente, están compuestas por hidróxidos de aluminio y fierro, aditivos químicos, fracciones del medio filtrante, partículas de arcillas finas, y carbón activado. Su composición también depende de las

características del agua que entra a la planta potabilizadora, la cual puede presentar componentes como manganeso, fierro y arsénico. [7]

El volumen de este tipo de agua que será generado por la PTAP, depende del número de filtros del sistema de tratamiento y su frecuencia de retrolavado. De acuerdo al tipo de filtro, las carreras suelen durar entre 12, 24 o 48 horas y la duración de lavado de la unidad de filtración oscila entre 8 a 15 minutos.

Su contenido de sólidos varía de acuerdo a la calidad de la fuente de agua que ingresa a la planta. De investigaciones previas, se obtuvieron concentraciones que representan entre 0,03 a 0,06% en un periodo total de lavado. Si se dejan sedimentar estas aguas por un tiempo de 2 a 4 horas, se podrían obtener concentraciones hasta de un 1%. [9]

- **Lodo aluminoso**

Es el residuo de textura acuosa y húmeda en el que se aglutinan los sólidos asentados en el agua. Es considerado un fluido no Newtoniano, en cuya composición predominan el agua (más del 90%), partículas inorgánicas (arcilla o arena), hidróxido de aluminio, coloides, materia inorgánica y orgánica retirada del agua de ingreso, residuos de insumos químicos agregados en el sistema de tratamiento. [10]

Estos lodos se generan por procedimientos físicos y los sólidos residuales presentes en su composición se originan de los residuos de las etapas de coagulación-floculación, sedimentación y de la limpieza de las unidades de filtración y decantación. [11]

## **2.2.2. Parámetros de contaminación del efluente**

- **Turbidez**

Es el efecto óptico que ocurre al interferirse el paso de los rayos de luz que traspasan una muestra de agua, debido a partículas minerales u orgánicas suspendidas en la sustancia líquida; como por ejemplo precipitaciones diversas de óxidos, micro organismos, arcilla, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio u otros. [12]

- **pH**

Es la cantidad de concentración del ion hidrogeno que presenta el agua, expresada como logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrogeno. Está directamente relacionado con el porcentaje de protones presentes en el agua. [13].

Las fluctuaciones relevantes en los valores de este parámetro, sean bajos o altos, evidencian la presencia de vertimientos de aguas residuales industriales, por lo que este parámetro sirve como indicador. [14]

- **Sólidos Totales**

Representa el contenido total de materia sólida orgánica e inorgánica presente en el líquido. Según [14], estos se pueden encontrar como:

**Sólidos Disueltos (SDT):** Son aquellos sólidos que no sedimentan y se pueden encontrar en el líquido en estado molecular o iónico.

**Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Son aquellos que debido a su peso logran sedimentar sencillamente en un periodo de tiempo (1 hora en cono Inhoff). Para determinar su concentración, se lleva a cabo un ensayo vertiendo un litro de la muestra que se quiere analizar en un cono de Inhoff. Los sólidos que se separan después del tiempo ya mencionado, se conocen como sólidos sedimentables.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Es la cantidad de oxígeno expresada en mg/L que es consumida en condiciones de ensayo (20°C, P. atm y oscuridad) por un periodo de tiempo determinado; producto de la oxidación, mediante un proceso biológico, de los componentes biodegradables presentes en el efluente. Este parámetro muestra la materia orgánica presente en el efluente, señalando el oxígeno requerido para alimentar a los microorganismos y las reacciones químicas. [14]

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es el parámetro que indica la cantidad de sustancias que son capaces de ser oxidadas por medios químicos, así se encuentren disueltas o en suspensión en la muestra líquida. [14]

- **Materia orgánica**

Es aquella que está compuesta por elementos de carbono, oxígeno e hidrógeno, y en ciertos casos de nitrógeno. Asimismo, puede estar conformada por diversos elementos como azufre, fosforo o hierro. Los tipos de componentes orgánicos de las aguas residuales son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), grasas y aceites (10%). [14]

- **Materia inorgánica**

La concentración de este tipo de materia presente en los cuerpos de agua se incrementa por el contacto del agua con las diversas formaciones terrestres y por las aguas residuales que

desembocan en ellos. Una elevada concentración de componentes inorgánicos como los cloruros, azufre, níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre y hierro; influye de manera significativa en los usos de este recurso. [14]

### **2.2.3. Procesos de Tratamiento de Efluentes de una PTAP**

#### **2.2.3.1. Tratamiento inicial**

- **Mezcla / Homogenización**

Los lodos producidos en las PTAP tienen su origen en los decantadores, donde suelen precipitar por acción de la gravedad, y en la limpieza de filtros. Debido a que estos lodos se bombean de modo discontinuo y sus concentraciones de sólidos son muy distintas, lo recomendable es bombearlos a un tanque equalizador, en el cual se logre homogeneizar su concentración y disponer de un volumen que permita la operatividad continua del sistema de tratamiento de los efluentes de la PTAP. [14]

Además, se debe considerar que si la concentración de materia seca que ingresa a la etapa de espesamiento del sistema de tratamiento es muy cambiantes, su eficiencia se verá perjudicada. Por esta razón, es indispensable su combinación previa en un tanque de homogeneización, programando estos caudales de tal manera que se logre la concentración ideal para la mezcla. [14]

#### **2.2.3.2. Tratamiento primario**

- **Decantación**

La finalidad de este proceso de tratamiento es eliminar los sólidos suspendidos sedimentables. Para ello se utilizan decantadores donde, debido a la gravedad, sedimenta gran porcentaje de estos sólidos y con ello se reduce la contaminación. Con este simple proceso físico de sedimentación pueden alcanzarse rendimientos cercanos al 60% en términos de eliminación de sólidos en suspensión y del 35% de eliminación de materia orgánica.

La disminución de la velocidad de corriente (según la eficiencia requerida en este proceso), es la clave para reducir entre un 50 a 60 por ciento de los sólidos suspendidos en el efluente. Una parte significativa de estas partículas sedimentadas es materia orgánica, por lo que, gracias a este tratamiento, se consigue una reducción de la DQO y de la DBO. [14]

Los decantadores pueden ser rectangulares o circulares, siendo en ambos casos el flujo del agua horizontal. Los decantadores irán provistos de un vertedero para la salida del agua decantada, con un deflector para retener flotantes. [14]

Los fangos sedimentados serán conducidos por medios mecánicos hacia una arqueta para su evacuación. De igual manera, los flotantes son transportados hacia otra arqueta para ser evacuados mediante el uso de bombas sumergibles.

Según [14], todo decantador debe tener los siguientes elementos:

- Zona de entrada del afluente: debe diseñarse de modo que permita que la corriente de alimentación se disperse uniformemente en el tanque a partir de su ingreso.
- Deflectores: se colocan a la entrada y salida del decantador. El objetivo del deflector de entrada es lograr una óptima distribución del caudal del líquido, y el de salida tiene por función retener las sustancias flotantes y grasas.
- Vertedero de salida: el cual es indispensable para la adecuada clarificación de la sustancia. Con el fin de no ocasionar el levantamiento de los sólidos asentados, la relación entre el caudal y la extensión total del afluente tiene que ser inferior de 10 – 12 m<sup>3</sup>/h/m.

### 2.2.3.3. Tratamiento de lodos

Según [14], para la reducción del contenido de agua presente en los lodos, estos deben pasar por las fases de espesamiento, deshidratación y finalmente secado. Estas etapas pueden realizarse a través de medios naturales o artificiales, los cuales constan de distintos procesos unitarios, mencionados en la Tabla 1.

**Tabla 1. Sistemas de reducción del contenido de agua de los lodos**

	PROCEDIMIENTO	BASE TEÓRICA	PROCESOS UNITARIOS
Medios naturales	Espesado	Gravedad	Espesador continuo o discontinuo
	Deshidratación	Gravedad y energía solar	Eras de secado Laguna de fangos
	Secado	Fuerzas térmicas	Eras de secado
Medios artificiales	Espesado	Gravedad Flotación	Espesador continuo Espesador de flotación
	Deshidratación	Procedimientos estáticos y de presión Presión	Filtros banda Filtración al vacío Filtros prensa
	Secado	Procedimientos dinámicos: campos gravitatorios artificiales Fuerzas térmicas	Centrífugas Secadores térmicos

Fuente: [14]

La selección del sistema más apropiado depende del porcentaje de materia seca que se requiera en el producto final, considerando la variación de las características de los lodos según su contenido de agua.

### 2.2.3.3.1. Espesamiento

El principal propósito del espesamiento de lodos es la disminución del volumen de efluente a tratar. De esta forma, con este proceso se incrementa el porcentaje de los sólidos que contienen inicialmente los lodos (de un 0,5% a un 4%), lo cual disminuye su volumen ocho veces.

El proceso de espesamiento de los lodos procedentes de la purga de los decantadores es eficaz y generalmente rentable. Con este, se obtienen ventajas como:

- Reducción del volumen del lodo.
- Combinación y homogenización de los lodos que provienen de los diversos decantadores de la planta de tratamiento de agua potable.

#### A. Espesamiento por gravedad

Se lleva a cabo en tanques circulares que poseen un sistema de arrastre central que mueve unas paletas giratorias ubicadas en la parte baja del tanque y cuya función principal es la de eliminar el agua retenida en los flóculos de los lodos. [14]

Los espesadores por gravedad son tanques por lo general circulares con una altura de 3 a 4 metros y un diámetro hasta 25 metros. El fondo del sedimentador se debe diseñar con una pendiente entre 1:6 y 1:3. Muy rara vez se construye un espesador rectangular porque su desempeño no es satisfactorio. [14]

Son de construcción robusta igual que los sedimentadores debido a los altos torques que manejan. Tienen un mecanismo de rastras giratorio que se mueven con velocidades de (0,08 a 0,1 m/s). [14]

**Tabla 2. Concentración típica de sólidos a la salida del espesador por gravedad.**

TIPO DE LODO	PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES
Lodo primario	5 – 10
Mezcla de lodo primario y lodos activados de desecho	2 - 4

Fuente: [14]

## **B. Espesamiento por flotación**

En este tipo de espesamiento se juntan los lodos más livianos, los cuales se combinan con reactivos (polielectrolitos), con el objetivo de facilitar su flotación. Los fangos flotantes son recogidos en la superficie por medio de unas rasquetas para luego ser bombeados hacia la siguiente etapa de tratamiento. [14]

### **2.2.3.3.2. Deshidratación**

La deshidratación es la etapa por la cual se elimina el agua contenida en el lodo procedente de los tanques de espesamiento con la finalidad de mejorar sus características fisicoquímicas.

Es la última fase por la que deben pasar los lodos antes de ser evacuados al exterior. Se puede realizar en diferentes máquinas de filtración a las que el lodo es bombeado usando bombas de tipo tornillo helicoidal. Además necesita de la dosificación de un polielectrolito para facilitar y optimizar el proceso. [14]

Los objetivos de este proceso son: aumentar la cantidad de materia seca a un 40%, reducir los costos por transporte ya que el volumen es menor, optimizar el manejo y traslado de los residuos, evitar olores y elevar su poder calorífico mediante la reducción de la humedad. [15]

Los tipos de deshidratación más utilizados son:

#### **A. Lechos de secado**

La deshidratación de lodos mediante este proceso puede reducir su humedad de un 90 %, hasta aproximadamente un 60 %.

Se componen por tanques de corta profundidad y un fondo drenante, el cual consta de dos a tres niveles de arena de distinta granulometría y un espesor de 0,30 m, de modo que la arena más gruesa se ubica en la parte inferior y la más fina en la parte superior. El fondo suele ser el propio suelo, sobre el que se colocan para recolectar y transportar el líquido drenado.

La parte superior de los lechos de secado debe ser diseñada con una leve inclinación longitudinal con el objetivo de la distribución rápida del lodo. El ancho de los lechos de secado puede estar entre los 3 y 6 metros. El lodo es aplicado en camas de 20 hasta 30 cm de espesor. [16]

**Tabla 3. Ventajas y desventajas de los Lechos de secado de lodos**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
No se utiliza ni gasta en energía eléctrica	Los costos de operatividad y mantenimiento son elevados
El proceso de tratamiento es sencillo	Generación de olores y ruido
El producto final puede utilizarse como insumo en otros procesos	Requiere de extensas áreas de terreno disponibles
Las aguas residuales de este proceso, pueden reingresar al sistema de tratamiento	Su eficiencia depende de las condiciones climáticas

Fuente: MINAM

**B. Filtros banda**

El lodo acondicionado se deposita entre las dos bandas produciéndose, en la primera etapa un brusco desgastamiento sobre la banda inferior. A continuación, el lodo de elevada concentración de sólidos, se introduce entre las dos bandas, a las que se conduce conjuntamente mediante diversos rodillos, provocando cambios bruscos de dirección para, con la compresión y cizalladura producidas, conseguir la deshidratación de la fase sólida.

Al cabo de una determinada longitud de las bandas, estas vuelven a separarse conduciéndose por rodillos diferentes, punto que se aprovecha para realizar la descarga de la torta mediante cuchillas de rascado colocadas sobre ambas bandas filtrantes.

Son elementos básicos de su diseño los rodillos de accionamiento o motrices, los rodillos de centrado de las bandas y los rodillos de tensado de las bandas. Las características determinantes para su dimensionamiento son la velocidad de las bandas y la presión de las bandas, las cuales determinan el espesor de torta idóneo. Suele trabajarse con presiones de 3-6 bars y velocidades de bandas de 2-20 m/min. El parámetro principal de estos equipos es la carga lineal o producción de sólidos por metro lineal de anchura de las bandas.

**Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso de Filtros Banda**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Funcionamiento continuo	Alto consumo de aditivos de acondicionamiento de lodo
Bajos costos de inversión	Equipos muy sensibles a los efectos de corrosión
Bajo consumo energético	Bajo nivel de captación de sólidos

Fuente: Moreton [17]

### C. Filtros prensa

Están constituidos por placas metálicas, cuyos lados son acanalados y poseen de modo intercalado un revestimiento filtrante. El lodo antes de ingresar a estos filtros, debe ser previamente acondicionado, para luego pasar a través de las cámaras formadas cada dos placas adyacentes y someterse a alta presión, aproximadamente  $3\ 000\ \text{kg/m}^2$ , por acción de un mecanismo hidráulico. Su funcionamiento es intermitente y complejo, sin embargo, a través de este tipo de filtros se obtiene como producto final un lodo bastante seco. [18]

**Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de Filtros Prensa**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Alto nivel de captación de sólidos	Requerimiento de mano de obra
Bajo consumo de aditivos de acondicionamiento y energético	Altos costos de inversión
Equipos resistentes ante la corrosión y abrasión	Funcionamiento discontinuo (por ciclos)

Fuente: Moreton [17]

### D. Filtros al vacío

Está compuesto por tambores rotativos cilíndricos de eje horizontal, cuyo movimiento rotativo oscila entre  $1/8$  a una rotación completa por minuto y su contorno se encuentra recubierto con una tela filtrante. [17]

También consta de válvulas y tuberías cuya función es conservar el vacío en una sección desde el instante en que se ha sumergido en el lodo hasta el periodo de tiempo en que el lodo, ya deshidratado, es retirado de la superficie a través de rasquetas. [17]

**Tabla 6. Ventajas y desventajas del uso de filtros al vacío**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Funcionamiento continuo	Alto consumo energético
Baja demanda de mano de obra	Equipos ligados a efectos de abrasión y/o corrosión
Favorables frente a otros sistemas	Nivel bajo de captación de sólidos

Fuente: Moreton [17]

### E. Centrifugación

Se realiza en un recipiente cilíndrico cónico que gira a alta velocidad para separar el agua de los sólidos comprendidos en el fluido. La fuerza de la centrifuga se genera desde el centro hacia los alrededores produciendo la sedimentación de las partículas sólidas y su separación de la parte líquida y menos espesa. La eliminación de sólidos se produce mediante un tornillo sin fin de tipo helicoidal, que gira en el interior del rotor, a una velocidad variable. [19]

#### 2.2.3.4. Disposición final

Suele utilizarse en rellenos sanitarios o también son aptos para compostaje cuando se mezclan con los lodos generados de la depuración de aguas residuales. Los lodos que tienen un bajo contenido de materia orgánica, pero presenten un alto contenido de arcilla, pueden utilizarse para fabricar algunos productos cerámicos, principalmente ladrillos. [19]

#### 2.2.4. Metodología para identificación de factores ponderados

Se utilizará este método para una adecuada identificación y elección del tratamiento más adecuado para el residuo. Según [20], este método se basa en:

- Determinar los factores más relevantes que se deben considerar para la selección.
- Establecer una ponderación entre ellos basada en su importancia correspondiente.
- Asignar una puntuación para cada opción y para cada uno de estos factores desde una escala definida anteriormente.
- Obtener una puntuación global ( $P_i$ ) para cada opción, considerando la valoración de estas para cada factor ( $P_{ij}$ ) y el peso relativo del mismo ( $w_j$ ). Por lo tanto:  $P_i = w_j \times P_{ij}$ .

#### 2.2.5. Marco legal

En este punto se describen los decretos, leyes y sanciones vigentes que han sido establecidas por las diferentes entidades peruanas como medida de conservación de los recursos hídricos.

##### A. Ley N°28611 – Ley General del Ambiente

Establece que todo ser humano tiene derecho a habitar en un lugar saludable, ecuánime y adecuado en el cual pueda desenvolverse y vivir, y el deber de cooperar con la eficiente gestión ambiental y de preservar el ambiente y los elementos que lo componen, protegiendo la salud de la población, impulsando la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos naturales y el crecimiento sostenible del país.

##### • Artículo 8°.- Del principio de internalización de costos

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, debe responsabilizarse del costo de los daños y perjuicios que provoque en el ambiente. El coste de las obras de prevención, supervisión, recuperación, rehabilitación, reparación y compensación, vinculadas con la conservación del ambiente y de sus elementos, debe ser asumido por los causantes de los daños.

- **Artículo 113°.- De la calidad ambiental**

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de participar en la prevención, control y recuperación de la calidad del entorno y de sus elementos.

- **Artículo 117°.- Del control de emisiones**

Se efectúa mediante los LMP y otros mecanismos de gestión ambiental determinados por las entidades correspondientes. El incumplimiento de estos límites ya establecidos, deberá ser sancionado según las normas pertinentes.

### **B. Ley N°29338 - Ley de Recursos Hídricos**

Es la que normaliza el uso y gestión de estos recursos, los cuales pueden ser naturales como: cauces, glaciares, lagos, ríos, y artificiales como: captaciones, almacenamientos, conducción, saneamiento, entre otros. [21]. Además, tiene por objetivo normalizar la utilización y gestión del recurso hídrico y la intervención del Estado en dicha gestión.

- **Artículo 122.3.- Del tratamiento de residuos líquidos**

Establece que las empresas que realizan acciones de extracción, producción, comercialización u otras que producen aguas residuales y contaminadas, son las encargadas de su tratamiento, con el objetivo de disminuir sus niveles de contaminación hasta que alcancen los Límites Máximos Permisibles, los Estándares de Calidad Ambiental y otros factores determinados en herramientas de gestión ambiental, según lo decretado en la normativa vigente.

- **Artículo 133°.- Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales**

La Autoridad Nacional del Agua tiene la facultad de otorgar los permisos de vertimiento de aguas residuales siempre y cuando estos efluentes pasen por un tratamiento antes de ser evacuadas al medio externo, de tal modo que cumplan con los Límites Máximos Permisibles.

### **C. Resolución Ministerial N° 128 2017 - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento**

Según el artículo 14° de [22] afirma que el tratamiento mínimo que deben tener los lodos generados por una PTAP es la deshidratación, la cual debe permitir como mínimo un porcentaje de sólidos totales de 25%. Además, indica que esta operación debe ser realizada antes de su transporte y disposición final.

## D. Límites Máximos Permisibles para efluentes vertidos a cuerpos de aguas

### • Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible

El LMP es la medida de proporción de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o emisión, y que al ser superada puede ocasionar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. [21]

**Tabla 7. LMP de descarga a un cuerpo de agua receptor**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	100	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	200	mg/L
Potencial de Hidrogeno	6,5 – 9	unidad de Ph
Sólidos Totales en Suspensión	150	mg/L
Temperatura	< 35	° C
Aluminio	5	mg / L

Fuente: Ministerio del Ambiente D.S. N° 003-2010

### 2.2.6. Impactos ambientales

Según [23] existe un impacto ambiental cada vez que un proceso o actividad origina una variación, beneficiosa o perjudicial, en el entorno o en cualquiera de los elementos del medio ambiente.

#### 2.2.6.1. Identificación de impactos ambientales

[24] , explica que, una vez conocidos la actividad, el medio ambiente que la rodea y la interacción entre estos, se puede iniciar el estudio de impactos, el cual permite acercarse a las actividades y sus consecuencias sin profundizar en detalles, con la finalidad de prever desde un inicio los efectos que ocasionarán las actividades realizadas sobre los parámetros medioambientales y tener una idea de cuáles son los factores más afectados.

### • Parámetros a considerar en la Identificación de Impactos Ambientales

Cada actividad o proyecto tiene sus factores medioambientales específicos; por tanto, no se puede elaborar una lista única de acciones y factores, sin embargo, existen parámetros comunes en la mayor parte de los casos. En la Tabla 8 se especifican algunos de estos parámetros.

**Tabla 8. Parámetros para la Identificación de Impactos**

<b>ASPECTO</b>	<b>IMPACTO</b>
Componente atmosférico	Variaciones climáticas Contaminación del aire Contaminación acústica
Superficie terrestre y suelo	Modificación en las características Erosión Modificaciones del relieve Capacidad agronómica Contaminación (física, química y microbiológica)
Agua	Contaminación de fuentes de agua Escasez del recurso hídrico Calidad física, química y biológica Procesos de eutrofización
Vegetación	Tala de árboles Remoción de cubierta vegetal Variación de la vegetación Evapotranspiración
Fauna	Cambio en fases de migración Migración de especies perjudicadas hacia zonas colindantes Desequilibrio en el ecosistema Incremento de epidemias y plagas Variación en la conducta de especies de interés peculiar
Paisaje	Eliminación o transformación de algunos elementos típicos Incorporación de algunos componentes inusuales en el paisaje natural Generación de Impacto visual Ocupación del suelo
Socio economía	Modificación en el manejo del suelo Traslado de la población (migración o inmigración) Deterioro de las condiciones de salud Oferta temporal de empleo Pérdida de productividad local Valoración de predios

Fuente: Rodríguez [24]

- **Metodología para identificar los Impactos Ambientales**

Según [25], los procedimientos para el reconocimiento de los impactos ambientales son muy diversos. Cuando no se conocen los impactos que ocasionan las actividades o proyectos, la mejor manera de identificarlos es mediante la elaboración de matrices.

➤ **Matriz de Leopold**

Es utilizada para reconocer los impactos y su origen, pero sin asignarles un valor. Permite también evaluar su magnitud e importancia. La magnitud se relaciona con su cantidad física, y si es alta o baja dependerá del patrón con el que se compare y además se le asigna un valor positivo o negativo si es que la clase de alteración identificada es deseada o no. La importancia, que solo tiene valores positivos, es determinada según el puntaje que se le asigne y puede ser diferente al de la magnitud. [26]. En la Tabla 9 se muestra una serie de elementos que se deben evaluar en esta Matriz.

**Tabla 9. Elementos Ambientales de la Matriz de Leopold**

<b>Características físicas y químicas (MEDIO FÍSICO)</b>	Extracción de recursos	Recursos minerales, Geomorfología, Suelos, Material de construcción
	Agua	Superficiales, Marinas, Subterráneas, Calidad, Temperatura
	Atmosfera	Calidad (gases, partículas), Clima (micro, macro), Temperatura
<b>Condiciones biológicas (MEDIO BIOLÓGICO)</b>	Flora	Árboles, Arbustos, Cosechas, Plantas acuáticas, Especies en peligro
	Fauna	Aves, Animales terrestres, Peces y mariscos, Insectos, Especies en peligro
<b>Factores Culturales (MEDIO SOCIO ECONÓMICO)</b>	Usos del terreno	Agricultura, Zona residencial, Zona comercial, Zona industrial
	Recreativos	Caza, Pesca, Navegación, Zonas de recreación, Excursión,
	Estéticos y de interés humano	Vistas panorámicas y paisajes, Parques, Reservas, Monumentos, Lugares históricos y Arqueológicos
	Nivel cultural	Modelos culturales, Salud y Seguridad, Empleo, Densidad de población
	Servicios e Infraestructura	Estructuras, red de servicios, red de transportes, disposición de residuos
	Relaciones ecológicas	Salinización de recursos hidráulicos, Eutrofización, Invasión de maleza, Modificación de hábitat, Introducción de flora y fauna exótica

Fuente: Garmendia, Salvador [25]

El procedimiento para elaborar la Matriz de Leopold consta de los pasos que se mencionan a continuación:

- Definir el área de influencia.
- Determinar las operaciones del proyecto que se ejecuta dentro del área delimitada.
- Seleccionar por cada acción que elemento (s) influyen, lo cual se consigue completando las cuadrículas de interacción.
- Diagnosticar la importancia por elemento en un rango del 1 a 10.
- Asignar la magnitud por actividad sobre cada elemento, en un rango de 1 a 10.
- Definir si la magnitud es beneficiosa (+) o perjudicial (-).
- Precisar la cantidad de actividades del proyecto que influyen en los factores ambientales (positivamente o negativamente).
- Precisar la cantidad de elementos ambientales que perjudicados por el proyecto.
- Agrega los resultados para los componentes ambientales.

Los resultados se resumen mediante promedios aritméticos, que derivan de dividir el numerador con el denominador, y se adiciona a lo largo de la fila o la columna examinada.

#### **2.2.6.2. Valorización de impactos ambientales**

La valoración o cuantificación de los impactos ambientales puede realizarse de modo cuantitativo, cualitativo o por simple enjuiciamiento. La mayoría de procesos de cuantificación concluye con una evaluación sobre los efectos, separándolos en “efectos notables o impactos” y “efectos mínimos”. Los efectos notables se subdividen en compatibles, moderados, severos o críticos.

En una valoración cualitativa se califican, de forma subjetiva, un conjunto de características de los impactos ambientales; lo cual da como resultado un valor numérico conocido como “importancia”. Por otro lado, en una calificación cuantitativa se determina la magnitud del impacto para lo cual intervienen indicadores numéricos que otorgan una ponderación de los distintos tipos de impactos y permite asumir un valor numérico respecto al impacto total ocasionado por el proyecto.

- **Parámetros de Caracterización**

Para [24], la importancia de un impacto se deduce a partir de los parámetros de caracterización, es subjetiva y cada parámetro puede tener un peso diferente, de acuerdo a la actividad que está siendo analizada y a las condiciones del medio ambiente.

En el estudio cualitativo, la importancia del impacto puede obtenerse mediante ciertos parámetros de caracterización, haciendo uso de la ecuación lineal:

$$IM= (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC).$$

Donde:

- IM= Importancia
- IN = Intensidad
- EX = Extensión
- MO = Momento
- PE = Persistencia
- RV = Reversibilidad
- SI = Sinergia
- AC = Acumulación
- EF = Efecto
- PR = Periodicidad
- MC = Recuperabilidad

En la Tabla 10, se describe cada una de las variables de la ecuación con su respectiva escala y modo de calificación.

**Tabla 10. Escala y calificación de los parámetros de caracterización**

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	ESCALA DE VALORACIÓN
SIGNO	Se refiere al beneficio, perjuicio o indiferencia que las actividades causan sobre los elementos ambientales	+ Beneficio - Perjuicio x Indiferencia
IN = Intensidad	Es el grado de destrucción del elemento ambiental analizado	1 Baja 2 Media 4 Alta 8 Muy Alta
EX = Extensión	Mide el área de influencia del impacto de acuerdo con el entorno de la actividad	1 Puntual 2 Parcial 4 Extensa
MO = Momento	Es el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el elemento considerado	1 Largo Plazo ( $t > 5$ años) 2 Mediano Plazo ( $1 < t < 5$ años) 4 Inmediato ( $0 < t < 1$ año)
PE = Persistencia	Es el tiempo de permanencia del efecto desde su aparición hasta que el elemento afectado vuelva a sus condiciones iniciales	1 Fugaz 2 Temporal 4 Permanente
RV = Reversibilidad	Es la posibilidad de reconstrucción del elemento que ha sido afectado por una actividad determinada, recuperando sus condiciones iniciales	1 Corto Plazo 2 Mediano Plazo 4 Largo Plazo
SI = Sinergia	Se presenta cuando el impacto de dos acciones que actúan simultáneamente es mayor que el provocado por las acciones que actúan de modo independiente	1 Sin sinergismo 2 Sinérgico 4 Muy sinérgico
AC = Acumulación	Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del impacto, cuando se repite en forma continua la acción que lo genera	1 Simple 4 Acumulativo
EF = Efecto	Representa la manifestación del efecto sobre un elemento, como consecuencia de una actividad	1 Indirecto o secundario 4 Directo o primario
PR = Periodicidad	Indica la manifestación del efecto en el tiempo si es cíclica (efecto periódico), impredecible (efecto irregular) o constante (efecto continuo)	1 Efecto irregular 2 Efectos periódicos 4 Efectos continuos
MC= Recuperabilidad	Es la posibilidad de un elemento para recuperar sus condiciones iniciales por medio de la intervención humana	1 Recuperación inmediata 2 Recuperación a mediano plazo 4 Mitigable o compensable 8 Irrecuperable

Fuente: Rodríguez [24]

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA EMPRESA Y CARACTERIZACIÓN DE SUS EFLUENTES**

##### **3.1.1. La empresa**

EPSEL S. A. es una institución pública de carácter municipal que depende de la normativa de un grupo jurídico privado (directorío formado por delegados provinciales y distritales) encargado de brindar el servicio de Saneamiento, que abarca las etapas de captación, canalización, producción, tratamiento, almacenamiento y suministro del agua potable; al igual que de la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas.

##### **A. Misión**

Cooperar con la mejora de la calidad de vida de la población lambayecana, brindando servicios de saneamiento eficientes y de calidad que ayuden a preservar el medio ambiente obteniendo niveles de rentabilidad que permitan su desarrollo empresarial y de su personal.

##### **B. Visión**

Ser una organización eficiente, rentable, sólida, entre las más importantes del sector, con recursos humanos altamente capacitados que trabajen en equipo, actuando con permanente esfuerzo para lograr un crecimiento sostenible y brindar servicios de calidad orientados a la satisfacción del cliente.

##### **C. Valores**

- Trabajo en equipo: unen las distintas capacidades de todo el recurso humano y así logran intercambiar conocimientos, experiencias y aportar lo mejor de cada uno para cumplir con sus objetivos organizacionales.
- Honestidad: están comprometidos con ser honestos entre el personal que trabaja en la empresa, sus clientes, proveedores y entorno, haciendo que prevalezca la verdad en toda situación.
- Servicio de calidad a los clientes: todas las áreas de la empresa tienen el deber de brindar una atención integral encaminada a la satisfacción tanto de sus trabajadores como de sus usuarios.
- Responsabilidad: cumplen eficientemente con sus funciones, asumen los retos diarios y las consecuencias de sus acciones.

- Respeto por la persona y la dignidad humana: comprenden y valoran que cada persona es libre de expresar sus ideas y además respetan los derechos de cada persona. Para esta empresa el respeto es un compromiso social y parte de su responsabilidad.

#### D. Ubicación de la empresa

La Planta de Tratamiento se encuentra ubicada en la calle Av. Sáenz Peña N° 1860 – en el distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, en el departamento de Lambayeque.

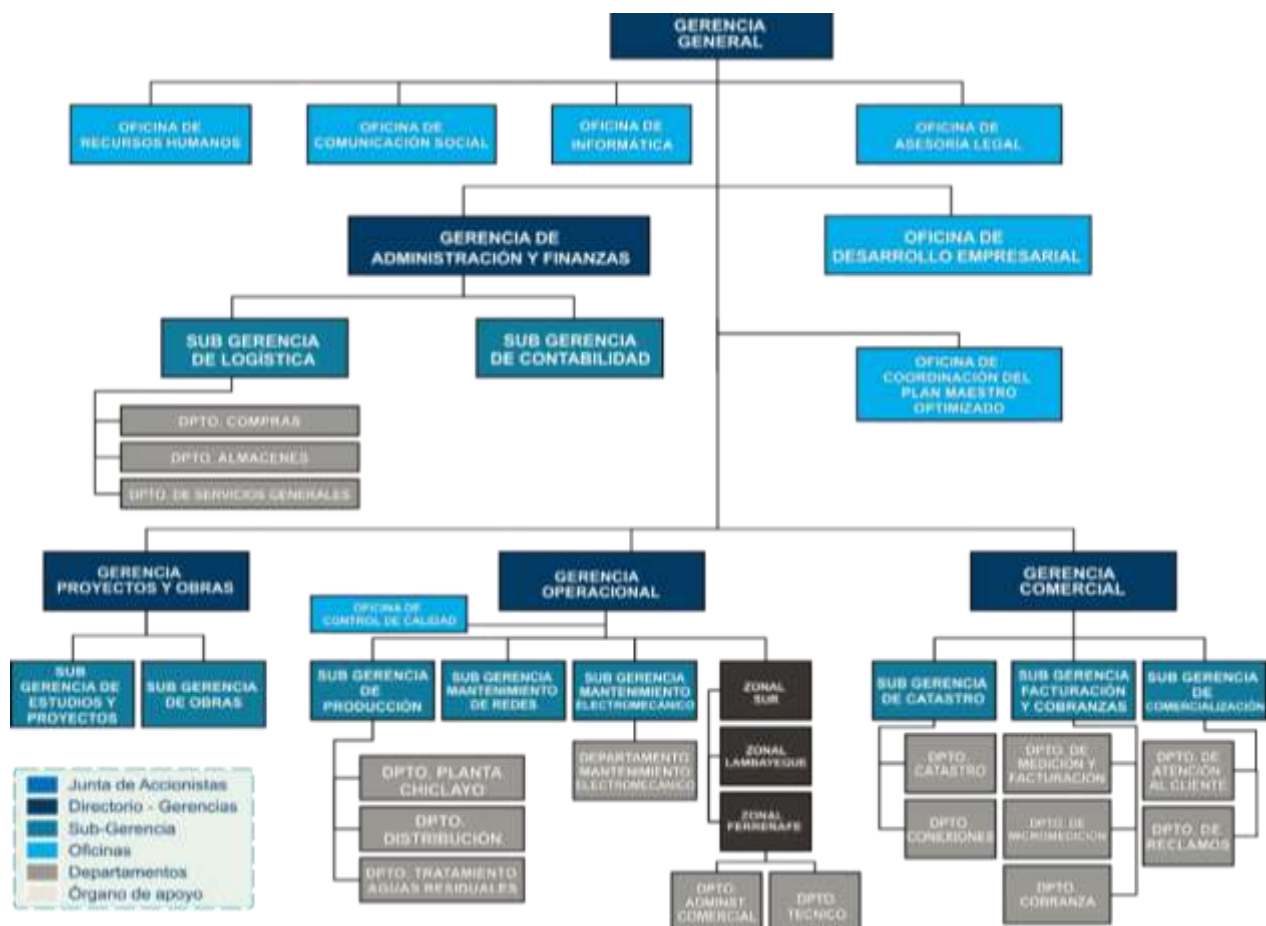


**Figura 2. Vista de la Planta de Tratamiento de Agua Potable  
EPSEL S. A.**

Fuente: Google Maps

#### E. Organización de la empresa

Es la estructura orgánica de la empresa que refleja, en forma esquemática, la posición de las áreas que la integran y sus niveles jerárquicos. Como se puede apreciar en la figura N°3, la organización está formada por cinco gerencias (general, de administración y finanzas, operacional, de proyectos y obras, y comercial); las cuales se subdividen en subgerencias y departamentos.



**Figura 3. Organigrama de la empresa**

Fuente: EPSEL S. A.

### 3.1.2. Descripción del sistema de potabilización

#### 3.1.2.1. Materia prima

La fuente de materia prima del sistema de suministro de agua para la ciudad de Chiclayo, son las aguas que proveen al Valle Chancay – Lambayeque, que fluyen hacia la vertiente Atlántica mediante las obras de la fase inicial del Proyecto de Tinajones. Esta agua cruda es transportada hacia las Lagunas Boro I y II, que funcionan como pre-sedimentadores y como barrera de control en períodos de emergencia o estiaje.

El suministro para el agua cruda a la Planta Potabilizadora N° 01 se da por medio de dos tramos de tubería bien específicos. El primero conduce el agua de Boró a Chéscope y tiene un diámetro de 40 pulg. y una longitud de 5, 835 metros lineales; mientras que el segundo conduce el agua de Chéscope hasta la Planta de tratamiento tiene un diámetro de 34 pulg. y una longitud de 8,520 metros lineales.

El agua cruda que ingresa a la Planta N° 01, se transporta por acción de la gravedad en dirección a dos módulos de tratamiento a través de una tubería que tiene 30 pulg. de diámetro.

El caudal del agua que ingresa a la planta es monitoreado constantemente ya que es uno de los datos más importantes para la planta y un indicador tomado en cuenta para determinar el volumen de producción y la eficiencia de la planta de tratamiento.

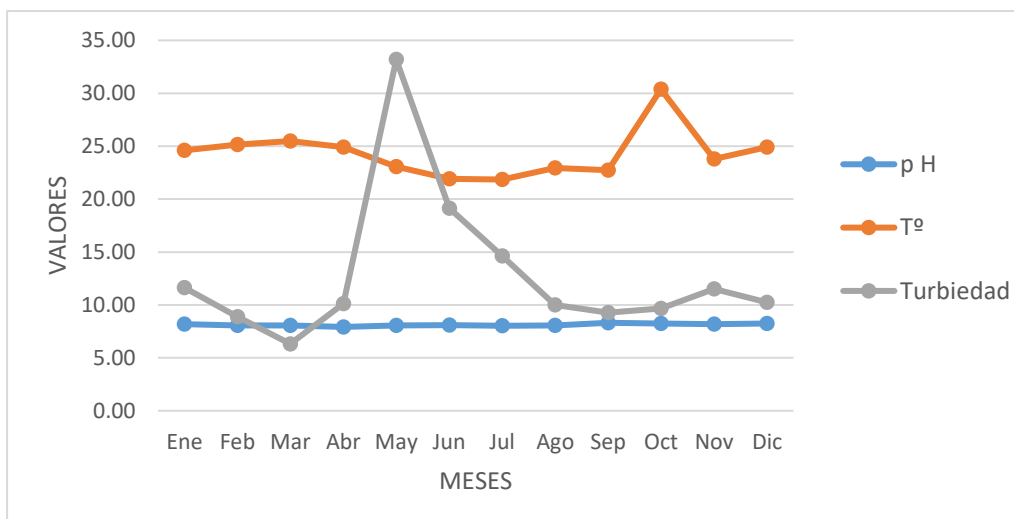
**Tabla 11. Caudal del agua cruda de ingreso a la planta en el año 2018**

<b>MES</b>	<b>CAUDAL (L/s)</b>
Enero	548,00
Febrero	580,00
Marzo	582,00
Abril	601,00
Mayo	561,00
Junio	587,00
Julio	603,00
Agosto	554,00
Septiembre	596,00
Octubre	544,00
Noviembre	546,00
Diciembre	540,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>570,17</b>

Fuente: EPSEL S. A

En la tabla 11, se muestra el caudal mensual promedio del agua cruda que ingreso a la planta en el año 2018, el cual alcanzo su máximo nivel en el mes de Julio (603 L/s), mientras que el menor valor se registró en el mes de Diciembre (540 L/s). Además, se tuvo un caudal promedio anual de 570,17 L/s.

Además, al ingreso del agua cruda, el Laboratorio de Control de Calidad realiza la evaluación de algunas características físicas como pH, Temperatura, Turbidez y Conductividad. Estos parámetros son monitoreados cada 4 horas diariamente en la planta.



**Figura 4. Características físicas del agua cruda de ingreso a la Planta en el año 2018**

Fuente: EPSEL S. A

Como se puede observar en la Figura 4, el pH del agua que ingresó a la planta de tratamiento el año 2018 se mantiene en equilibrio y entre los valores de 7 – 8. La temperatura también es una característica poco variable que alcanzó su máximo aumento en el mes de Octubre (30°).

Sin embargo, la turbiedad es la característica más variable debido a que está directamente relacionada con los factores climáticos y del ambiente. El valor más bajo de esta característica se registró en el mes de Marzo (6,32 N.T.U.), mientras que el mayor valor se presentó en el mes de Mayo (33,19 N.T.U.)

### 3.1.2.2. Insumos

Para el proceso de tratamiento de agua potable en esta planta, se utilizan principalmente:

#### a) Cloro Gas:

Se utiliza principalmente para la oxidación de los metales pesados que contiene el agua y en la desinfección de la misma.

#### b) Sulfato de Aluminio

Es utilizado en la etapa de floculación en la cual se añade al caudal en el canal que va desde las bombas hasta los decantadores. Como resultado, se forman los flóculos, y al ir cogiendo tamaño se van a precipitar en el fondo del decantador.

**c) Hipoclorito de Calcio al 65%**

Se utiliza para la desinfección química del agua por su elevado contenido de cloro libre. Tiene capacidad de oxidación de materia orgánica y microorganismos patógenos vinculados a enfermedades producidas en el suministro de agua.

A continuación, en la Tabla 12, se detalla la cantidad de insumos que fueron utilizados en el año 2018 para el tratamiento de potabilización de agua en la planta.

**Tabla 12. Requerimiento de insumos para el proceso de tratamiento**

MES	CANTIDAD DE INSUMO UTILIZADO (kg)		
	Cloro gas	Sulfato de Aluminio	Hipoclorito de calcio
Enero	2 251,00	27 475,00	22,00
Febrero	1 783,00	21 625,00	22,00
Marzo	1 565,00	14 350,00	240,00
Abril	1 727,00	17 875,00	515,50
Mayo	2 894,00	39 775,00	28,80
Junio	2 721,00	31 525,00	5,00
Julio	1 541,00	31 000,00	324,50
Agosto	2 556,00	16 550,00	54,00
Septiembre	2 705,00	12 600,00	28,00
Octubre	2 902,00	12 125,00	35,00
Noviembre	2 721,00	19 325,00	30,00
Diciembre	2 661,00	23 775,00	80,00
<b>TOTAL</b>	<b>28 027,00</b>	<b>268 000,00</b>	<b>1 384,80</b>

Fuente: EPSEL S. A.

**3.1.2.3. Maquinaria y equipos**

**a) Centrífugas**

Esta área está conformada por una estructura circular de 8 m de diámetro y 4,40 m de profundidad, donde se ubican tuberías de succión con 400 mm de diámetro, las cuales alimentan 5 equipos de bombeo para un caudal de 280 L/s, las que se descargan por una tubería de 750 mm de una cámara de carga donde se ubican dos salidas de 750 mm que distribuyen el agua a los módulos de la Planta de Tratamiento.

**Tabla 13. Características de los equipos usados en la recepción de agua cruda**

Número de unidades	5
Tipo	Centrifugas Horizontales
Capacidad	250 l/s
Motor	U.S. Motor, 200 PS; 1180 RPM

Fuente: EPSEL S. A.

#### **b) Dosificadores de Productos químicos 1**

La sala de dosificación de sustancias químicas está integrada por cuatro dosificadores en seco destinados dos de ellos para la cal y los otros para sulfato de aluminio. Por las propiedades del agua no se necesita aplicar cal en la mayor parte del año. Además, ninguno de los dos dosificadores cuenta con un motor de agitación del tanque de disolución.

**Tabla 14. Características de los equipos de dosificación**

Cantidad	4
Capacidad	1000 kg/tolva
Marca	Lockwood
Tipo	Tornillo sinfín
Dosificación	En seco

Fuente: EPSEL S. A.

#### **c) Cámara de mezcla**

Ubicada al ingreso de agua cruda, de forma rectangular con 3.0 x 2.0 m y 4.0 m de altura, donde llegan las tuberías de aplicación de reactivos. La cámara está equipada con un agitador. La dosificación de reactivos se efectúa en una caja instalada encima de la cámara de mezcla, a través de un tubo PVC de 100 mm que se alimenta en una sala de dosificación.

#### **d) Unidad de Flocculación**

Consta de dos cámaras de flujo horizontal y agitación con paletas, ubicadas en serie, fluyendo el agua hacia una cámara de tranquilización a través de una pared de ladrillo con perforación simétrica, antes de ingresar al sedimentador.

Cada módulo de flocculación tiene 5,0 x 11,8 m y 4,0 m de altura y está equipado con paletas accionadas por un eje horizontal que contiene cuatro aspas de dos alas de 2,3 m de ancho, con radio de giro de 1,575 m. El conjunto es accionado por motores eléctricos de 7,5 HP ubicados en una cámara seca. La eficiencia de esta unidad es de 71,06%.

### e) Unidad de Decantación

Está ubicada luego de la unidad de floculación, formando un conjunto. Conformada por tres secciones, dos de las cuales son de flujo horizontal y la tercera de flujo vertical laminar a través de módulos de plásticos de patente de angotubos. La primera sección de sedimentación simple se encuentra seguida del floculador y tiene 16,25 m de longitud, por donde ingresa el agua a un canal que la transporta hacia la segunda sección que tiene una longitud de 15,8 m antes de acceder al área de angotubos cuya longitud es de 10,7m.

El fondo de los sedimentadores consta de canaletas trococónicas en cuyo fondo se ubican tubos de 75 mm que suben por la pared interior, atraviesan el muro y mediante un giro de 90°, descargan a un colector exterior de 200 mm, que mediante el efecto sifón, propicia la extracción de lodos.

Cuenta con dos secciones bien definidas: la primera tiene forma de U y es de decantación simple y la segunda es de decantación laminar compuesta por un sistema de módulos patentado de angotubos. La recolección de agua decantada se efectúa mediante 14 módulos de plástico que cuenta con vertederos triangulares ubicados a lo ancho de la unidad sobre la unidad de decantación laminar.

**Tabla 15. Características de las unidades de decantación simple**

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD
Periodo de retención teórico	91,6	min
Superficie	520,8	m <sup>2</sup>
Velocidad de escurrimiento horizontal	0,47	m/min
Tasa de sedimentación	59,7	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Longitud (1er tramo)	16,25	m
Longitud (2do tramo)	15,80	m

Fuente: EPSEL S. A.

**Tabla 16. Características de las unidades de decantación laminar**

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD
Periodo de retención teórico	36,1	Min
Superficie	205,3	m <sup>2</sup>
Velocidad de escurrimiento horizontal	0,55	m/min
Tasa de sedimentación	151,5	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Longitud	10,7	m

Fuente: EPSEL S.A

#### f) Unidad de Filtración

La empresa cuenta con dos módulos de filtración. Cada módulo de tratamiento cuenta con una batería de 4 filtros con dos cajas de filtración. La entrada de agua sedimentada es común a ambas mediante un vertedero rectangular localizado en la parte central de cada unidad. Este sistema es de tipo rápido por gravedad y lechos constituidos por un capa doble de arena y antracita. También consta de tres canaletas superiores que permiten la colecta de agua de lavado, conduciéndolas a un canal de drenaje común a las dos cajas de filtración.

**Tabla 17. Características de las unidades de filtración**

Nº de filtros	4 unidades / módulo
Nº cajas de filtración	2 unidades / filtro
Espesor del medio filtrante	0,80 m
Caudal de ingreso	125 L/s
Sección	2,40 m x 65 m
Profundidad	3 M

Fuente: EPSEL S.A

#### g) Unidad de Desinfección

La aplicación de cloro gas en solución se lleva a cabo por medio de dos dosificadores al vacío instalados en el área de control. El abastecimiento de este insumo se efectúa a partir de un ambiente externo en el cual se encuentra un cilindro de 2 000 lb, situado sobre una balanza. La solución de cloro se administra a través de un inyector de orificios ubicado en el interior de la tubería general de agua filtrada y delante de las válvulas de control del agua que entra a los reservorios de almacenamiento.

**Tabla 18. Características de las unidades de desinfección**

Nº de unidades	2
Tipo	Dosificadores de Cloro gaseoso al vacío
Control	Automatizado
Marca	Wallace – Tiernan

Fuente: EPSEL S.A

#### 3.1.2.4. Producto

El producto final obtenido del proceso llevado a cabo en esta planta es el agua potable que cumple con las características de calidad exigidas por las normas técnicas peruanas y los organismos reguladores como son la SUNASS y la OTASS.

**Tabla 19. Características del agua tratada en Planta en el año 2018**

MES	pH	T (°C)	TURBIEDAD (N.T.U.)
Enero	7,63	24,39	1,96
Febrero	7,55	24,63	1,06
Marzo	7,63	25,28	1,06
Abril	7,52	24,68	1,38
Mayo	7,56	23,20	2,46
Junio	7,60	21,90	1,75
Julio	7,63	21,94	2,31
Agosto	7,80	22,25	1,20
Septiembre	7,87	22,42	1,00
Octubre	7,80	23,40	1,30
Noviembre	7,73	23,28	1,94
Diciembre	7,73	24,47	1,98
PROMEDIO	7,67	23,49	1,62

Fuente: EPSEL S.A

Como se detalla en la tabla N° 19, el pH promedio de agua tratada que salió de la planta de tratamiento en el año 2018 fue de 7,67, la temperatura promedio fue de 23,49° C. En cuanto a la turbidez, se registró un promedio de 1,62 N.T.U, siendo el mes de septiembre el menor valor registrado (1 N.T.U.) y el mes de Mayo el mayor (2,46 N.T.U.)

### 3.1.2.5. Producción de agua potable

La Planta N°1 de EPSEL S. A. cuenta con una capacidad de 700 L/s para el tratamiento de potabilización de agua. En la Tabla 20 se muestra el volumen producido en planta durante los últimos 5 años, destacando que este se ha mantenido entre los 16 300 079,91 m<sup>3</sup> y 18 593 558,29 m<sup>3</sup> anuales.

**Tabla 20. Volumen de agua producido (m<sup>3</sup>) en la Planta N°1 en los últimos 5 años**

MES	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018
Enero	1 392 000,00	1 339 200,00	1 473 120,00	1 553 170,46	1 466 630,76
Febrero	1 209 600,00	1 254 528,00	1 378 080,00	1 298 322,14	1 404 903,74
Marzo	1 424 087,14	1 469 951,71	1 501 200,00	1 451 735,14	1 557 792,00
Abril	1 577 656,22	1 425 600,00	1 442 134,37	1 394 208,29	1 558 242,14
Mayo	1 312 127,42	1 473 120,00	1 451 727,36	1 447 778,88	1 576 281,60
Junio	1 296 000,00	1 541 814,91	1 414 582,27	1 415 880,00	1 512 432,00
Julio	1 492 471,87	1 576 938,24	1 479 226,75	1 446 336,00	1 619 222,40
Agosto	1 343 160,58	1 582 339,10	1 484 278,56	1 445 008,03	1 608 681,60
Septiembre	1 296 000,00	1 541 371,68	1 446 619,39	1 393 307,14	1 546 992,00
Octubre	1 339 200,00	1 568 444,26	1 459 337,47	1 420 647,55	1 595 225,66
Noviembre	1 296 000,00	1 501 200,00	1 416 940,99	1 374 083,14	1 552 580,35
Diciembre	1 321 776,58	1 473 120,00	1 448 972,93	1 418 855,67	1 594 574,04
<b>TOTAL</b>	<b>16 300 079,81</b>	<b>17 747 627,90</b>	<b>17 396 220,09</b>	<b>17 059 332,44</b>	<b>18 593 558,29</b>

Fuente: EPSEL S. A.

### 3.1.3. Descripción del proceso de potabilización de agua

El proceso de potabilización del agua que se lleva a cabo en esta planta comprende:

- **Coagulación:**

Se da en cámaras de mezcla rápida. Luego de un periodo de retención de 30 segundos se ocurre la desestabilización de las partículas coloidales presentes en el agua de ingreso. En esta etapa, se adiciona el sulfato de aluminio. En algunos casos, se agregan polímeros como la cal y sulfato de cobre si el agua cruda lo necesita.

- **Floculación:**

Se lleva a cabo en la cámara de mezcla lenta, donde se promueve el crecimiento de los flocs o flóculos hasta un tamaño y peso adecuados para su posterior sedimentación.

- **Sedimentación:**

Proceso a través del cual los sólidos suspendidos en el agua son separados mediante la acción de la gravedad. Así, los flóculos con mayor densidad que la del agua logran una velocidad que los ayuda a llegar a lo más hondo de la unidad de sedimentación en un tiempo indicado, para luego ser extraídos de este equipo utilizando bombas.

- Filtración:

Se realiza utilizando 8 unidades de filtración y cada una de ellas consta de dos secciones, donde el agua por gravedad atraviesa los lechos compuestos de antracita, arena y grava, para que luego de que sea filtrada, se recolecte a través de una tubería situada abajo de la zona de válvulas, en el sótano de la Planta.

- Desinfección:

A través de esta etapa, agregando una solución clorada que se adiciona inyectándola en la tubería de transporte de agua filtrada, se eliminan microorganismos patógenos (causantes de enfermedades) presentes en el agua, asegurando conservar un residual de cloro en los sistemas de aprovisionamiento y suministro, previniendo de esta manera que el agua potable pueda contaminarse.

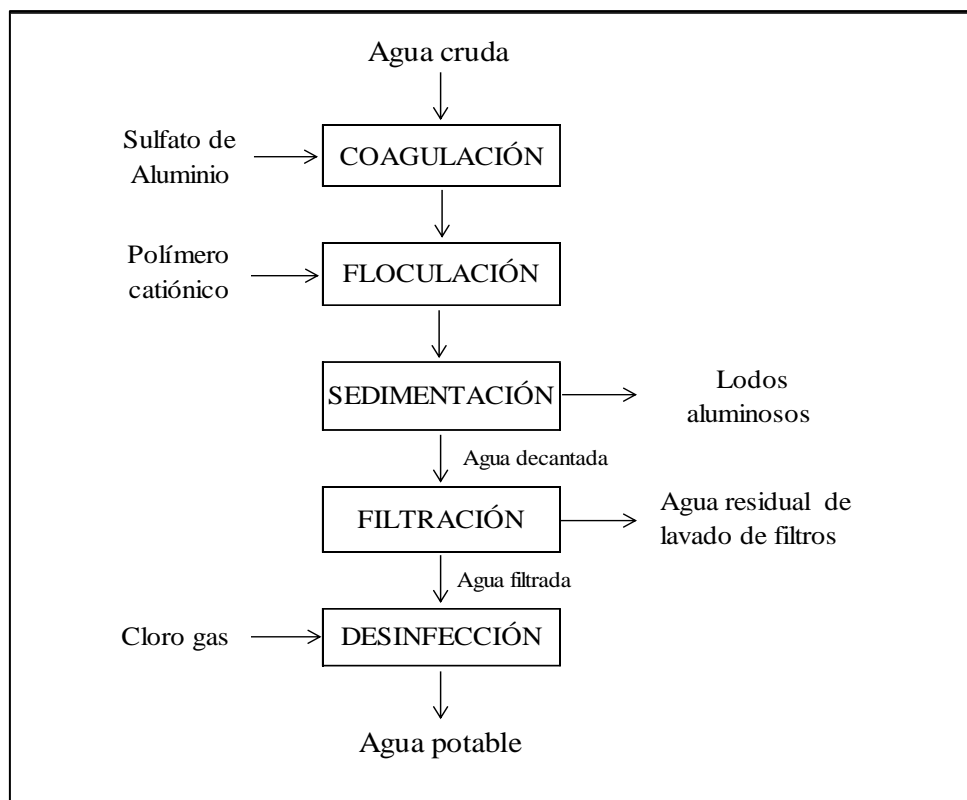
- Almacenamiento

El agua ya desinfectada, es recolectada por medio de una vía principal que la transporta hacia dos Reservorios, N° 01 y N° 02, con capacidad de 4000 m<sup>3</sup> cada uno y a otro de 750 m<sup>3</sup>. En estos reservorios el agua tiene un período de contacto fundamental para que los efectos del cloro sean eficientes.

- Distribución

Por último, el agua potable es bombeada al sistema de red de distribución de la ciudad. Para ello, la empresa cuenta con una estación de bombeo en la que funcionan 04 electrobombas de 200 HP y una capacidad promedio de 350 L/s.

En la figura N° 05 se presenta el Diagrama de Flujo del proceso de tratamiento de agua potable que se realiza en la Planta N°1 de la empresa EPSEL S. A.



**Figura 5. Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Agua Potable en la Planta N° 1 de EPSEL S. A.**

Fuente: EPSEL S. A.

### 3.1.4. Efluentes generados en la planta potabilizadora

En la planta de tratamiento de agua potable de EPSEL S. A. se generan aguas residuales como consecuencia de las operaciones de lavado de sus equipos de filtración y lodos aluminosos que son producto del proceso de coagulación, los cuales son retenidos en los sedimentadores para su posterior evacuación.

#### 3.1.4.1. Aguas residuales del lavado de filtros

Esta operación se realiza con agua a presión utilizando una bomba de 300HP, la cual sirve para la distribución de agua potable a la ciudad. Puesto que la misma no está en funcionamiento todo el día entero, el lavado se realiza solo durante las horas del periodo de servicio, esto limita intensamente el lavado de filtros, sumándose a esta situación la excesiva presión en la línea que origina la dilatación incontrolada del lecho filtrante y con ello, la pérdida de antracita y arena.

Para realizar esta operación de limpieza, es necesario detener el proceso de filtración y luego inyectar agua por la parte inferior del filtro (drenes) con presión adecuada, con el objeto

de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado retenido entre ellos en la operación del filtrado.

El lavado de todas las unidades de filtración de la planta se realiza de forma diaria en horarios variables. En el año 2018, el horario de vertimiento fue desde las 11:30 pm a 01:30 am, donde se tuvo un caudal promedio máximo de 300 L/s.

**Tabla 21. Volumen de agua utilizado en el lavado de unidades de filtración en los últimos 5 años (m<sup>3</sup>)**

MES	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018
Enero	18 600	18 600	37 200	29 100	26 850
Febrero	17 850	16 800	34 800	23 700	33 600
Marzo	20 400	29 400	36 600	27 000	37 200
Abril	36 000	36 000	31 800	27 900	27 000
Mayo	37 200	37 200	28 200	27 900	37 200
Junio	36 000	36 000	27 300	36 000	36 000
Julio	37 200	37 200	37 200	37 200	37 200
Agosto	37 200	37 200	37 200	37 200	37 200
Septiembre	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000
Octubre	22 200	37 200	37 200	37 200	37 200
Noviembre	21 000	36 000	18 000	36 000	36 000
Diciembre	18 600	37 200	19 050	37 200	36 000
TOTAL	338 250	394 800	380 550	392 400	417 450
PROMEDIO	28 188	32 900	31 713	32 700	34 788

Fuente: EPSEL S.A

En la tabla 21 se muestra el volumen de agua usado para el lavado de las unidades de filtración de la planta en los últimos 5 años, se encuentra entre los 338 250 m<sup>3</sup> y 417 450 m<sup>3</sup>, siendo el 2018 el año, el tiempo en el que ha alcanzado del volumen máximo. Este volumen de agua utilizado es considerado como pérdida operativa para la empresa, debido a que se utiliza el agua potable producida en la planta para realizar esta operación.

#### **3.1.4.2. Aguas residuales de la limpieza de sedimentadores**

Los lodos aluminosos generados desde la etapa de floculación, quedan retenidos en la etapa de sedimentación, en el fondo de los sedimentadores que cuentan con canales troncocónicas invertidas.

Además, el sistema de recolección de lodos de la planta está formado por tuberías perforadas de 75 mm, ubicadas en el fondo y a lo largo de la unidad que suben por la parte

inferior, atraviesan el muro y mediante giro de 90°, drenan el lodo acumulando aprovechando la carga hidráulica que proporciona el tirante de agua en el decantador (efecto sifón), y finalmente descargan a un colector exterior de 200 mm, para ser evacuados mediante los equipos de bombas de lodos hacia la acequia Cois.

Los lodos son drenados constantemente estando esta labor incluida dentro de las tareas diarias de operación. En el año 2018, el horario de evacuación de estos lodos fue de 3:00 p.m a 5:00 p.m, donde se tuvo un caudal promedio máximo de 80 L/s.

**Tabla 22. Volumen de agua utilizado para la purga de lodos en los últimos 5 años (m<sup>3</sup>)**

MES	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018
Enero	18 056	15 096	18 352	18 648	16 280
Febrero	13 320	14 800	17 168	15 984	16 576
Marzo	15 688	15 392	18 352	18 352	18 352
Abril	17 168	10 064	14 208	17 760	17 760
Mayo	18 056	15 984	18 056	18 352	18 352
Junio	17 168	12 136	16 576	17 760	17 760
Julio	18 056	15 096	18 648	18 352	18 352
Agosto	18 056	15 688	18 352	18 352	18 352
Septiembre	17 168	14 504	17 760	17 760	17 760
Octubre	18 352	13 024	18 352	18 352	18 352
Noviembre	17 168	13 320	17 760	17 760	17 760
Diciembre	18 136	18 352	18 648	18 352	17 760
<b>TOTAL</b>	<b>206 392</b>	<b>173 456</b>	<b>212 232</b>	<b>215 784</b>	<b>213 416</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>17 199</b>	<b>14 455</b>	<b>17 686</b>	<b>17 982</b>	<b>17 785</b>

Fuente: EPSEL S.A

Como se evidencia en la tabla 22, el volumen de agua usado para la evacuación de los lodos retenidos en los sedimentadores alcanzó entre los 173 456 m<sup>3</sup> hasta los 215 784 m<sup>3</sup> en los últimos 5 años, siendo el 2017, el año en que ha alcanzado un mayor volumen.

### 3.1.4.3. Lodos generados del proceso de potabilización

Fue complicado estimar con precisión la cantidad de lodos producidos por la PTAP de la ciudad de Chiclayo debido a que no hay data histórica de la producción de estos residuos.

El cálculo de la cantidad de lodos producida por esta planta de tratamiento, se realizó por medio de un método teórico basado en una ecuación, la cual considera el caudal del agua de

ingreso a la planta ( $m^3/s$ ), la dosis de aluminio utilizada en el tratamiento del agua ( $mg/L$ ), la cantidad de sólidos suspendidos en el agua de ingreso ( $mg/L$ ).

La ecuación utilizada para el cálculo fue la siguiente:

$$S = 86,4 \times Q(0,44 Al + SS + A)$$

Donde:

S = Lodos producidos (kg/día)

Q = Caudal de ingreso a la planta ( $m^3/s$ )

SS = Sólidos suspendidos en el agua cruda ( $mg/L$ )

Al = dosis de aluminio ( $mg/L$ )

A = otros aditivos utilizados en la etapa de coagulación ( $mg/L$ )

Para el valor de “Q”, se consideraron los valores detallados anteriormente en la tabla 01.

Para el valor de “SS”, se tomaron en cuenta los valores de turbiedad de ingreso del agua cruda también detallados en la tabla 01.

Para el valor de “Al”, se consideraron los valores tal y como se ha detallado en la tabla 02. El valor de “A” no fue considerado, ya que en el proceso de tratamiento de esta PTAP no se usan otros aditivos para la etapa de coagulación.

**Tabla 23. Cantidad de lodos producidos en el año 2018**

MES	CANTIDAD DE LODOS PRODUCIDOS	
	(kg)	VOLUMEN DE LODOS PRODUCIDOS ( $m^3$ )
Enero	16 853,709	16,237
Febrero	14 640,882	14,105
Marzo	9 849,143	9,489
Abril	13 698,392	13,197
Mayo	31 582,343	30,426
Junio	20 438,262	19,690
Julio	20 564,492	19,812
Agosto	12 437,398	11,982
Septiembre	10 084,148	9,715
Octubre	8 461,059	8,151
Noviembre	23 312,985	22,460
Diciembre	13 473,320	12,980
<b>TOTAL</b>	<b>195 396,133</b>	<b>188,243</b>

Fuente: EPSEL S. A.

En la tabla 23, se muestran los valores obtenidos después de haber calculado la cantidad de lodos según la ecuación (ver Anexo 1). Para el año 2018, la cantidad de lodos generados en la planta potabilizadora fue 195 396,133 kg, los cuales ocupan un volumen total de 188,243 m<sup>3</sup>; siendo el mes de mayo el mes de mayor generación de estos residuos (31 582,343 kg).

Además, para calcular la cantidad aproximada de sólidos generados del lavado de filtros y de la evacuación de lodos de los sedimentadores, se toma en cuenta lo afirmado por [27] , tomando en cuenta que teóricamente durante el tratamiento de potabilización del agua los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre el 60% y el 70% de los sólidos totales y los lodos de lavado de filtros representan entre el 30% y el 40% de estos sólidos.

Tomando en cuenta esta base teórica, en la Tabla 24 se muestran los resultados del cálculo de la cantidad de lodos del lavado de filtros, el cual representa un total de 30% del total de lodos producidos, mientras que los lodos de los sedimentadores representan un 70% del total.

**Tabla 24. Cantidad Teórica de Lodos Generados en el año 2018 (m<sup>3</sup>).**

MES	CANTIDAD TOTAL DE LODOS PRODUCIDOS	CANTIDAD DE LODOS DE LOS SEDIMENTADORES	CANTIDAD DE LODOS DEL LAVADO DE FILTROS
Enero	16,237	11,366	4,871
Febrero	14,105	9,873	4,231
Marzo	9,489	6,642	2,847
Abril	13,197	9,238	3,959
Mayo	30,426	21,298	9,128
Junio	19,690	13,783	5,907
Julio	19,812	13,868	5,943
Agosto	11,982	8,387	3,595
Septiembre	9,715	6,800	2,914
Octubre	8,151	5,706	2,445
Noviembre	22,460	15,722	6,738
Diciembre	12,980	9,086	3,894
<b>TOTAL</b>	<b>188,243</b>	<b>131,770</b>	<b>56,473</b>

Fuente: EPSEL S. A.

Como se observa en la Tabla 24, la cantidad de lodos generados en los sedimentadores para el año 2018 fue de 131, 770 m<sup>3</sup> mientras que la cantidad de lodos del lavado de filtros fue de 56,473 m<sup>3</sup>, siendo el mes de Mayo, el mes de mayor generación de estos residuos.

### 3.1.5. Disposición final de los efluentes

- **Eliminación de los efluentes**

Los residuos son evacuados diariamente. Durante este proceso, el personal operativo de la planta se hace cargo del control del sistema de evacuación ya programado, y si en caso alguno de los equipos falla, son los encargados de abrir las válvulas de limpieza para que este proceso no se detenga y afecte la eficiencia de las etapas de sedimentación y filtración. Se observó que las condiciones físicas en las que se retienen los residuos antes de ser evacuados de planta, son:

- ✓ Temperatura ambiente.
- ✓ Tiempo de almacenamiento variable, ya que se da de acuerdo al volumen de agua producido y a la turbiedad de ingreso del agua cruda.
- ✓ Un lugar seco.
- ✓ Un ambiente sin luz.

- **Disposición final del efluente**

De los dos tipos de residuos generados, ninguno es aprovechado actualmente por la empresa. Las aguas residuales del lavado de los filtros junto con las aguas residuales de la evacuación los lodos aluminosos generados de la operación de floculación y retenidos en los sedimentadores, son vertidos al cuerpo de agua más cercano para la planta, que en este caso es el canal Cois, el cual cruza la ciudad de Chiclayo en el límite con el distrito de José Leonardo Ortiz.

### 3.1.6. Caracterización de los efluentes

La caracterización de los lodos es la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en una muestra.

Estos parámetros varían generalmente con la calidad del agua cruda tratada, tecnología de tratamiento, tipo y cantidad de elementos químicos empleados, de forma tal que es difícil establecer una composición definitiva para estos; razón por la cual una caracterización de acuerdo con la naturaleza fisicoquímica y microbiológica se hace de suma importancia con el fin de poder establecer los métodos y equipos más apropiados para su tratamiento.

Esta actividad es aún más importante cuando se trata de su disposición a un cuerpo de agua; debido a que se debería cumplir con los parámetros ya establecidos según la normativa legal del Ministerio Nacional del Ambiente, y no afectar al cuerpo receptor.

El conocimiento de la naturaleza del efluente es elemental para la ejecución del proyecto y la propuesta de planes que mejoren la calidad medioambiental. Es por ello, que para determinarla, se realizó la toma de muestras, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

- Se definió el lugar donde era necesario tomar la muestra.
- Se ubicaron correctamente los equipos a utilizar (frascos).
- Se etiquetaron los frascos para poder identificar correctamente las muestras.
- Se tomaron las muestras y se llenaron en 2 frascos de plástico de 1 litro cada uno. Se llenaron los frascos en su totalidad para evitar en lo posible que quede aire dentro de los mismos.
- Se cerraron los recipientes correctamente y se transportaron las muestras al laboratorio de la empresa donde fueron analizadas.

#### **A. Toma de muestra del efluente**

La toma de las muestras se realizó al inicio del proceso de evacuación de lodos, exactamente al momento en que las aguas empiezan a ser descargadas de los tanque de evacuación. Los parámetros que se analizaron fueron: pH, Temperatura, DBO<sub>5</sub>, DQO, Aluminio y Sólidos Suspendidos Totales.

Estos análisis fueron realizados en los laboratorios de la empresa EPSEL S. A., los mismos que permitieron conocer las condiciones de los efluentes para darles el tratamiento más adecuado.

Para llevar a cabo dichos análisis, se eligió el punto de salida de lodo de purgas de uno de los decantadores con el fin de establecer una caracterización, aun cuando este no sea constante teniendo en cuenta las características fluctuantes del agua, las cuales varían de acuerdo a los diversos factores como la turbiedad del agua cruda que ingresa a la planta.



**Figura 6. Toma de muestra del efluente**

Fuente: EPSEL S. A

## B. Análisis de los resultados

La empresa utilizó sus procedimientos establecidos para realizar los análisis fisicoquímicos de la muestra tomada (ver Anexos 2, 3, 4 y 5), que están basados en los “Métodos Estándares para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales” (SMEWW-APHA-AWWA-WEF 19ava Edición).

Con la finalidad de analizar los resultados obtenidos, se elaboró la siguiente tabla, en la cual se confrontó a los parámetros analizados y sus resultados, y a los Límites Máximos Permisibles (LMP) decretados por la autoridad del medio ambiente (MINAM).

**Tabla 25. Comparación de los resultados de los análisis y los LMP de descarga**

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR DE LA PRUEBA	LMP
pH	unidad de pH	7	6,5-9
Temperatura	°C	28	< 35
Aluminio	mg/L	2,995	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	300	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	480	200
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	720	150

Fuente: Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM

Con respecto a la comparación se observa que:

- Existe un incremento notable en cuanto a las concentraciones de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos totales y Aluminio.
- Con relación a los sólidos totales se evidencia un incremento significativo de la concentración de este parámetro en los lodos. Debido a que este compuesto es acumulativo y se manejaron una gran cantidad de sólidos removidos durante un largo periodo de tiempo.
- La concentración de Aluminio es normal en los lodos, esto se debe a que el ion Aluminio que viene presente en el agente coagulante, se queda disuelto en el lodo, parámetro que se debe tener en cuenta al momento de sugerir una disposición del lodo como elemento para la recuperación de suelos, pues el Aluminio es un agente generador de erosión.
- Como se muestra en la Tabla 25, los valores de pH y Temperatura no superan los Límites Máximos Permisibles, mientras que los parámetros de Aluminio, DBO, DQO y SST, no cumplen con los LMP determinados por el MINAM. Por esta razón, se debe garantizar la disminución de estos valores con la propuesta de tratamiento.

### **3.1.7. Determinación del impacto ambiental generado**

Para determinar y medir los impactos que ocasiona la empresa al medio ambiente, que pueden ser positivos o negativos; se utilizó el método de la Matriz de Leopold, en base al resultado obtenido de las interacciones producidas entre los factores ambientales (filas) y las acciones que derivan de la actuación de la empresa (columnas).

#### **3.1.7.1. Identificación de los factores**

Los factores ambientales permitieron distinguir los elementos del medio cuya modificación es originada por las acciones, ya sea en forma positiva o negativa. De todos los aspectos e impactos que se pueden presentar en el desarrollo de un proyecto o de las actividades una empresa, mencionados en la Tabla 8 del apartado 2.2.6, se mencionan los que fueron identificados en el desarrollo de las actividades de la empresa en estudio en la Tabla 26.

**Tabla 26. Factores ambientales afectados**

<b>COMPONENTE AMBIENTAL</b>	<b>FACTORES AMBIENTALES</b>
Aire	Nivel de olor, Nivel de ruido, Gases y partículas
Suelo	Residuos sólidos u orgánicos
Agua	Calidad de fuentes de agua, Generación de efluentes, Consumo de agua
Flora	Alteración de la vegetación, Estructura y composición
Paisaje	Impacto visual
Población	Seguridad, Calidad de vida, Salud pública
Economía	Nivel de empleo

Fuente: EPSEL S.A.

Las acciones que afectan al medio son los procesos que realiza la empresa, los cuales ayudaron a dar una adecuada valoración a los impactos que se describen a continuación:

#### **Durante la producción de agua potable**

- Consumo de agua cruda.
- Generación de residuos sólidos (envases de sulfato de aluminio, polímeros)
- Consumo de energía para el funcionamiento de las máquinas y equipos.
- Ruido por el sonido de centrifugas y bombas.
- Vibraciones por funcionamiento de equipos mecánicos.
- Uso de personal para la operación y manipulación de los equipos que intervienen en el proceso.

#### **Durante la actividad de lavado de filtros**

- Consumo de agua potable durante el lavado de las unidades de filtración.
- Generación de aguas residuales.
- Consumo de energía de las bombas.
- Uso de personal.

#### **Durante la actividad de evacuación de lodos del sedimentador**

- Consumo de agua potable.
- Generación de aguas residuales (con alto contenido de DBO, DQO y SST)
- Consumo de energía.
- Emisión de olores desagradables, producto de la descomposición de materia.
- Uso de personal para la apertura de válvulas de evacuación.

### **Durante las actividades de mantenimiento de los equipos de la planta**

- Consumo de energía para realizar los ajustes mecánicos eléctricos necesarios.
- Generación de residuos sólidos (envases de lubricantes, envases de piezas y repuestos)
- Consumo de aceites y grasas para el engrasado de los equipos.
- Derrame por cambio de aceite a motores de equipos
- Uso de personal para limpieza de equipos y revisión de válvulas.

#### **3.1.7.2. Identificación de impactos**

Los recursos más afectados por la empresa son el aire, agua y suelo ya que en la limpieza y mantenimiento de filtros y sedimentadores, se generan aguas residuales con alto contenido de sólidos suspendidos, DBO y DQO.

En cuanto a los impactos al recurso aire se tienen ruido y emisión de olores. Con respecto al impacto sobre el suelo, éste se ve afectado por los residuos generados como envases plásticos, fundas, basura en general tanto orgánico como inorgánico.

El vertimiento de efluentes con contenidos de DBO, DQO y sólidos generados en el lavado de filtros y sedimentadores son principalmente los que más se deben tomar en cuenta.

A continuación se describen los impactos generados por las diversas actividades que realiza la empresa:

- **Contaminación del aire por malos olores debido a las actividades de Lavado de Filtros y Evacuación de lodos de los sedimentadores**

Los lodos que se generan como consecuencia de estas actividades, suelen ser de consistencia limosa y presentan una tonalidad variable entre marrón a gris. Además, cuanto mayor sea su tiempo de retención en los sedimentadores, tienden a volverse sépticos y a generar malos olores fácilmente. [28]

Gonzales [29], afirma que el lodo con alto contenido de materia orgánica genera olor que procede de su degradación, por lo que puede ocasionar un impacto negativo sobre población aledaña. Para su estudio utilizó un olfatómetro dinámico modelo T08 y siguió el Método Europeo Estandarizado (UNE-EN-2015), en el que obtuvo como resultado una concentración de olor de 2,3 OU/m<sup>2</sup>.s.

- **Contaminación del aire debido al ruido durante el tratamiento de agua potable y el mantenimiento de equipos**

Las principales máquinas que generan ruido son los compresores y las bombas. Al encontrarse la empresa en una zona urbana, genera perturbación para los operarios y al ambiente alrededor, elevando la cantidad de decibeles de su nivel habitual.

La Secretaria de Salud Laboral y Medio Ambiente de Cantabria, [30] en su investigación realizada afirman que los operarios de las PTAP pueden verse expuestos a niveles de ruido entre los 85 a 88 dB. Además, corroboran que la presencia de trabajadores en las salas donde se encuentran las máquinas de mayor ruido es puntual en la mayoría de ocasiones, por lo que se considera una intensidad baja ya que no están expuestos todas las horas de trabajo y sólo acceden a esta sala para posibles supervisiones que se realizan en poco tiempo o reparaciones de maquinaria inoperativa.

- **Contaminación del recurso hídrico por causa de las aguas residuales**

El vertimiento de efluentes con contenidos de sólidos generados en el lavado de filtros y purga de lodos son el principal problema para la empresa ya que no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento para estos, incumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente.

- **Contaminación del suelo debido a residuos sólidos generados en la PTAP**

En cuanto al impacto sobre el suelo este se ve afectado por los residuos generados como envases plásticos, bolsas, cajas, y basura en general tanto orgánica como inorgánica. En el área administrativa se genera aproximadamente 2,53 kg/día y en las áreas de mantenimiento y el departamento de planta un aproximado de 21,70 kg/mes.

**Tabla 27. Cantidad de residuos generados por las áreas administrativas**

RESIDUO SOLIDO	CANTIDAD (kg/día )
Papel Blanco	0,25
Cartón	0,15
Vidrio	0,08
PET	0,35
Residuos orgánicos	0,90
Residuos inertes	0,30
Material de escritorio variado	0,50
<b>TOTAL</b>	<b>2,53</b>

Fuente: EPSEL S.A.

**Tabla 28. Cantidad de residuos generados por el departamento de planta y Mantenimiento**

<b>RESIDUO SOLIDO</b>	<b>CANTIDAD (kg/mes )</b>
EPP's usados	3,50
Cartones	4,20
Bolsas de plástico	0,80
Envases de alcohol, thinner, combustible, hipoclorito de calcio	10,40
Bolsas de sulfato de cobre, sulfato de aluminio, polímero electrolítico	2,80
<b>TOTAL</b>	<b>21,70</b>

Fuente: EPSEL S.A.

- **Alteración de la vegetación**

Con respecto a la caracterización del medio biológico, la empresa se ubica en una zona mayormente urbana en la cual hay poca vegetación natural, por lo tanto, la alteración que produce es calificada como puntual ya que solo afecta a los alrededores de la zona y su importancia también es muy baja ya que no hay especies a las que perjudica. [31]

- **Alteración en el impacto visual**

Según la investigación realizada por Romero [31], la percepción visual que tuvo y según los datos recolectados por encuestas realizadas a los pobladores de la ciudad de Chiclayo, las acequias contribuyen de manera negativa al paisaje urbano.

La acumulación de la basura en el exterior del canal Cois y la descarga de efluentes no tratados, afecta en la imagen y la estética de la Ciudad de Chiclayo. Esta situación contradice al artículo 2° de la Constitución Política vigente en el Perú y el artículo 1 de la Ley General del Ambiente.

Además, Helmer y Hespanol [32], en su investigación afirman que los olores fuertes, los residuos sólidos y otros contaminantes pueden propiciar condiciones estéticas desagradables y reducir el atractivo visual de la ciudad.

- **Mejora de la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Chiclayo**

Ya que el agua es un recurso natural indispensable para la población y por ello, su potabilización y distribución es de gran importancia para los habitantes de la ciudad de Chiclayo.

Esta mejora en la calidad de vida, se refleja en la disminución del nivel de pobreza de la población expresado en el 99% de la población que tiene acceso a los servicios de agua potable, según reportes de pobreza del SISFOH.

- **Mejora en la salud de la población chiclayana con la producción de agua potable**  
El acceso al servicio de agua potable disminuye la tasa de morbilidad de enfermedades de origen hídrico en un 12% respecto a lugares en los que no se cuenta con este servicio, según informes estadísticos del Ministerio de Salud. Esto se debe a que la población mantiene adecuadas prácticas de higiene.
- **Afectación a la salud de los trabajadores**  
Al momento de realizar las operaciones de lavado de filtros y evacuación de lodos, ningún trabajador cuenta con equipos de protección personal necesarios como guantes, lentes, mascarilla y botas. Sin estos equipos se puede generar irritación en la piel o alergias por el uso de alguna sustancia tóxica.
- **Nivel de empleo en la Región Lambayeque**  
La especialización de las actividades productivas en la región está vinculada a la participación de la Población Económicamente Activa (PEA). Entre las principales actividades resalta el comercio con un 22,09% de participación; el sector agrícola con un 20,65%; transportista con un 10,88%; manufacturero con un 9,02%; mientras que los servicios de electricidad y agua representan solo un 2,44%. [33]

### **3.1.7.3. Determinación de la importancia y magnitud de los impactos ambientales**

Para cada actividad se determinó cuáles son los factores ambientales que se ven afectados, y se les asignó una calificación en función a su magnitud e importancia. La magnitud de la actividad fue colocada en la parte izquierda y la importancia en la parte derecha del casillero dividido por una línea diagonal.

La valoración de la magnitud fue asignada en un rango de 1 al 10, donde el 10 representa a la magnitud de mayor impacto y 1 representa la magnitud de menor impacto. Para las magnitudes de impactos beneficiosos se empleó el signo positivo mientras que para los impactos perjudiciales se empleó el signo negativo.

Del mismo modo, la valoración de la importancia se estableció en un rango del 1 al 10 (ver tabla 29). Partiendo de este proceso, se calcularon los promedios positivos y negativos, al igual que la concentración de los impactos, y se pudo identificar la actividad más beneficiosa y la más perjudicial.

**Tabla 29. Valores para determinar la Magnitud e Importancia de los Impactos**

MAGNITUD (EXTENSIÓN)	IMPORTANCIA (INTENSIDAD)	VALOR
Puntual	Muy Baja	1 – 2
Parcial	Baja	3 – 4
Medio	Moderada	5 – 6
Extenso	Alta	7 – 8
Total	Muy Alta	9 – 10

Fuente: [25]

#### 3.1.7.4. Matriz de identificación y cuantificación de impactos

Como resultado se obtuvo un promedio total de 278, con 222 impactos negativos y 56 positivos (ver tabla 30). Las actividades y factores evaluados son los siguientes:

- **Producción de agua potable**

Genera un impacto promedio de 26, siendo la principal etapa generadora de impactos positivos sobre el medio socioeconómico, debido a que la potabilización de agua es necesaria para una mejor calidad de vida y salud de la población.

- **Lavado de filtros**

Esta actividad tiene un promedio aritmético de -102 al utilizar gran cantidad de agua potable y generar efluentes que afectan directamente al cuerpo de agua más próximo de la planta de tratamiento.

- **Evacuación de lodos de los sedimentadores**

Esta actividad tiene un promedio de -130 ya que se utilizan grandes cantidades de agua potable y se generan efluentes que son vertidos al cuerpo de agua más cercano (Canal Cois) y causan un impacto visual poco agradable en la ciudad, aparte de malos olores.

- **Mantenimiento de equipos**

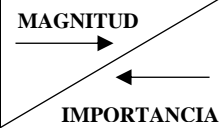
Esta actividad tiene un promedio aritmético de -16 ya que genera ruido, residuos sólidos y afectación a los trabajadores ya que no cuentan con la EPP's adecuadas.

Respecto a los factores ambientales afectados por las diferentes etapas de proceso se obtuvo que:

- ✓ Dentro de medio físico se tiene con mayor ponderado al factor generación de efluentes (-80), seguido de calidad de fuentes de agua (-42), consumo de agua (-40) y nivel de olor con (-28).
- ✓ Dentro de medio biológico, el factor impacto visual en los alrededores de la empresa, es el mayor factor afectado con un ponderado de -6.
- ✓ Dentro del medio socioeconómico, la salud pública obtuvo un ponderado de 18.

Por lo tanto, se concluye que la mayoría los impactos causados por EPSEL S. A. son negativos debido a que los efluentes exceden los límites máximos permisibles y no cumple con la autorización de vertimiento de efluentes a un cuerpo de agua receptor que exige la ley 29338.

Tabla 30. Matriz de Leopold de la empresa

SISTEMA	COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIONES		PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACIÓN DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	PROMEDIO ARITMÉTICO	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO POR SISTEMA	IMPACTO TOTAL
		FACTORES AMBIENTALES									
MEDIO FÍSICO	AIRE	Nivel de olor		-3/4	-4/4			-28	-42	-246	-222
		Nivel de ruido	-2/2				-2/3	-10			
		Gases y partículas		-1/2	-1/2			-4			
	SUELO	Residuos sólidos u orgánicos	-3/4				-2/2	-16	-42		
		Lixiviados					-3/2	-6			
		Calidad del suelo		-2/4	-3/4			-20			
	AGUA	Calidad de fuentes de agua		-3/6	-4/6			-42	-162		
		Generación de efluentes		-4/8	-6/8			-80			
		Consumo de agua		-4/5	-4/5			-40			
MEDIO BIOLÓGICO	FLORA	Alteración de la vegetación	-1/2				-2	-4	-10		
		Estructura y composición		-1/1	-1/1		-2				
	PAISAJE	Impacto visual		-1/3	-1/3		-6	-6			
MEDIO SOCIO ECONÓMICO	POBLACIÓN	Seguridad		-2/3	-2/2	-1/2	-12	18	34		
		Calidad de vida	4/4	-1/2	-1/2		12				
		Salud pública	4/6	-1/2	-1/2	-1/2	18				
	ECONOMÍA	Nivel de empleo	2/2	2/2	2/2	2/2	16				
<b>PROMEDIOS POSITIVOS</b>				44	4	4	4	56	<b>MAGNITUD</b> 		
<b>PROMEDIOS NEGATIVOS</b>				-18	-106	-134	-20	-278			
<b>PROMEDIOS ARITMÉTICOS</b>				26	-102	-130	-16	-222			

Fuente: [25]

### 3.1.7.5. Valorización de los impactos ambientales de la empresa

Después de haber identificado y cuantificado los impactos en el medio físico, biológico y socioeconómico, se realizó su valoración tal como se muestra en la Tabla 31, y luego se clasificaron en negativos o perjudiciales y positivos o beneficiosos.

Con respecto a los resultados de la valoración se obtuvieron 2 impactos severos negativos que están señalados de color amarillo y se producen por las actividades de lavado de filtros y evacuación de lodos de los sedimentadores. Este tipo de impactos causan daño al medio físico y para la recuperación de su condición inicial exigen medidas preventivas o correctivas.

Además, se obtuvo un total de 11 impactos compatibles negativos que están resaltados de color verde. Este tipo de impactos causan daño al medio, pero su recuperación se puede lograr de inmediato tras el cese de la actividad.

También se encontraron 17 impactos moderados negativos, que están sombreados de color naranja, mostrándose en mayor cantidad en las actividades de lavado de filtros y evacuación de lodos de los sedimentadores, con 7 acciones en cada uno, por lo cual se concluye que estos impactos deben tener medidas que ayuden a mitigarlos.

Asimismo, dentro de los impactos positivos o beneficiosos se encontraron 3 dentro del proceso de producción de agua potable, debido a que genera empleo y contribuye a una mejor calidad de vida para la población.

Por otro lado, se resalta que no se encontró ningún impacto crítico dentro de los impactos negativos y tampoco un impacto positivo alto o muy alto, debido a que estos no producen una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales.

Se concluye que esta valoración permitió tener una mejor visión de la importancia e influencia que tienen las acciones que se realizan dentro de una empresa o industria, ya que pueden ocasionar impactos críticos sin posible recuperación.

Finalmente, ya que la mayoría de ellos son negativos y se encuentran entre moderados y compatibles, se propuso tomar medidas correctoras para los impactos de mayor rango y así reducir la contaminación del medio físico. Las tablas de valoración para los resultados obtenidos se muestran en el anexo 6.

Tabla 31. Valoración De Impactos Ambientales de la empresa

SISTEMA	COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIONES	PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACIÓN DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
		FACTORES AMBIENTALES				
MEDIO FÍSICO	AIRE	Nivel de olor		-30	-30	
		Nivel de ruido	-27			-24
		Gases y partículas		-23	-23	
	SUELO	Residuos sólidos u orgánicos	-32			-24
		Lixiviados				-29
		Calidad del suelo		-27	-29	
	AGUA	Calidad de fuentes de agua		-45	-45	
		Generación de efluentes		-55	-55	
		Consumo de agua		-35	-35	
MEDIO BIOLÓGICO	FLORA	Alteración de la vegetación	-16			
		Estructura y composición		-15	-16	
	PAISAJE	Impacto visual		-27	-27	
MEDIO SOCIO ECONÓMICO	POBLACIÓN	Seguridad		-25	-25	-23
		Calidad de vida	38	-25	-25	
		Salud pública	38	-21	-21	-21
	ECONOMÍA	Nivel de empleo	31	29	29	31

Fuente: [25]

NEGATIVOS (perjudicial)			
Compatible: IM<25	Moderado: 25<IM<50	Severo: 50<IM<75	Crítico: IM>75
POSITIVOS (Beneficioso)			
Bajo: IM<25	Medio: 25<IM<50	Alto: 50<IM<75	Muy Alto: IM>75

Figura 7. Clasificación de Impactos según su valorización

### **3.1.7.6. Propuesta de mitigación de los impactos ambientales más relevantes de la empresa**

Después de haber realizado la valoración de los impactos que son causados por la empresa en estudio, se propuso mitigar los impactos de mayor importancia. Esta propuesta de mitigación se elaboró tomando en cuenta los impactos con mayor valoración negativa, los cuales fueron: la calidad del suelo, la calidad de fuentes de agua y generación de efluentes, el ruido y el consumo de agua.

- **Afectación a la calidad del agua por la generación de efluentes y afectación de la calidad del aire por el nivel de olor**

El recurso hídrico se ve afectado porque los efluentes del proceso son vertidos al cuerpo receptor sin un previo tratamiento, sobrepasando los límites máximos permisibles. Para disminuir el impacto que causa este aspecto se propuso tratar el efluente para que cumpla con los LMP y al ser vertidos no ocasionen impacto negativo en este recurso.

El aire también se ve afectado debido a que mientras se realiza el lavado de filtros y la evacuación de lodos, se libera un olor desagradable producto de la descomposición de materia orgánica contenida en el efluente, por lo que con la propuesta de tratamiento de estos lodos también se reducirá este impacto

- **Afectación por el nivel de ruido**

Es propio del proceso de producción de agua potable y del mantenimiento de los equipos del proceso. Como es de conocimiento la contaminación acústica causa sordera, fatiga e incluso problemas psicológicos. Por lo tanto, los trabajadores deben usar tampones que les permitan proteger el conducto auditivo y disminuyan la intensidad con la llega el sonido a los operarios.

### **3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS MÁS ADECUADOS PARA LOS EFLUENTES GENERADOS EN LA EMPRESA**

Una de las alternativas de solución al impacto ambiental que se genera debido a la acumulación de los lodos generados en las plantas potabilizadoras, se basa en gestionarlos adecuadamente a través de un tratamiento que garantice su adecuada disposición final.

Principalmente, el objetivo de que sean tratados es reducir el contenido de sólidos suspendidos y eliminar los olores desagradables, para que de esta manera no afecten negativamente el cuerpo receptor (canal Cois).

La selección del proceso de tratamiento más adecuado está influenciada por la necesidad de cumplir con la reglamentación ambiental y la necesidad de cooperar con la conservación del medio ambiente al menor costo posible.

Una solución óptima para minimizar el impacto ambiental que se genera debido a la acumulación del lodo, consiste en evitar su abandono en el medio. Es por ello que las alternativas se basan en gestionar adecuadamente los lodos formados a través de un tratamiento diseñado de manera tal que facilite su disposición final.

#### **3.2.1. Determinación de los tratamientos más adecuados para los efluentes**

Una vez realizado el diagnóstico al proceso de potabilización de agua y caracterizadas los efluentes generados en la empresa y al tener pruebas irrefutables de la contaminación de sus efluentes, es imprescindible proponer un sistema de tratamiento, que además permita el reingreso de agua tratada al y así poder reducir la contaminación que se genera.

Uno de los factores que más se debe tomar en cuenta para el tratamiento utilizado en los efluentes generados en las plantas potabilizadoras de agua, es la reducción del porcentaje de humedad, haciéndolos más concentrados y disminuyendo por consiguiente su volumen. Cabe señalar que los efluentes que provienen de la planta N°01 de la empresa presentan un contenido de humedad superior al 95%.

En las tablas N° 32, 33 y 34 se detalla el propósito, eficiencias de remoción, ventajas, desventajas y antecedentes de la aplicación de las diferentes opciones de tratamiento, con la finalidad de utilizar esta información en el método de factores ponderados.

**Tabla 32. Posibles Tratamientos primarios a aplicar para la propuesta de tratamiento**

	<b>DECANTACIÓN</b>	<b>TANQUES IMHOFF</b>												
<b>PROPÓSITO</b>	Remover de las aguas residuales aquella fracción de los sólidos que es sedimentable. Su período de retención nominal oscila entre 1,5 y 2,5 horas.	Disminuir el contenido de sólidos suspendidos en los efluentes. Su período de retención nominal varía desde 1,5 hasta 2 horas.												
<b>EFICIENCIA DE REMOCIÓN</b>	<p>Para [14] en la sedimentación se tienen las siguientes eficiencias:</p> <table> <tr> <td><b>DBO</b></td> <td>25-40%</td> </tr> <tr> <td><b>DQO</b></td> <td>15 %</td> </tr> <tr> <td><b>SST</b></td> <td>40 al 70%</td> </tr> </table>	<b>DBO</b>	25-40%	<b>DQO</b>	15 %	<b>SST</b>	40 al 70%	<p>Según [34] en los tanque imhoff se tienen las siguientes eficiencias:</p> <table> <tr> <td><b>DBO</b></td> <td>25 a 35%.</td> </tr> <tr> <td><b>DQO</b></td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td><b>SST</b></td> <td>40 al 50%</td> </tr> </table>	<b>DBO</b>	25 a 35%.	<b>DQO</b>	10%	<b>SST</b>	40 al 50%
<b>DBO</b>	25-40%													
<b>DQO</b>	15 %													
<b>SST</b>	40 al 70%													
<b>DBO</b>	25 a 35%.													
<b>DQO</b>	10%													
<b>SST</b>	40 al 50%													
<b>VENTAJAS</b>	<p>Según [35], presenta las siguientes ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor capacidad de tratamiento.</li> <li>• Alto rendimiento en cuanto a eliminación de contaminantes, sin embargo los efluentes necesitan tratamientos posteriores para alcanzar los niveles deseados.</li> <li>• Menores costos de operación y mantenimiento.</li> <li>• Fácil instalación si son prefabricados.</li> <li>• Insignificante impacto visual (suelen estar parcialmente enterrados) y sonoro (principalmente los estáticos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasto energético nulo. [35]</li> <li>• Bajos costos operativos y de mantenimiento. [35]</li> <li>• Rápida instalación de los equipos en el caso de adquirir los prefabricados. [35]</li> <li>• Ausencia de desperfectos electromecánicos. [35]</li> <li>• Corto tiempo de retención. [34]</li> <li>• La evacuación del lodo sedimentado es fácil porque presenta entre un 90 a 95% de humedad. [34]</li> </ul>												
<b>DESVENTAJAS [35]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es favorable para el proceso de digestión de los lodos generados (únicamente su decantación).</li> <li>• Insuficiente estabilidad ante sobrecargas hidráulicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor rendimiento de tratamiento frente a los decantadores.</li> <li>• Baja eficiencia en remoción de contaminantes, por lo que los efluentes necesitarían de tratamientos posteriores.</li> <li>• Acumulación de aceites y grasas en la parte superior</li> <li>• Insuficiente estabilidad ante sobrecargas hidráulicas.</li> <li>• Riesgo de contaminación de aguas subterráneas si la construcción es deficiente.</li> </ul>												

**Tabla 33. Tipos de Espesamiento aplicables a la propuesta de tratamiento**

	<b>POR GRAVEDAD</b>	<b>POR FLOTACIÓN</b>
<b>FUNCIONAMIENTO</b> [14]	El efluente ingresa a tanques circulares que poseen un sistema de arrastre central, el cual hace girar unas paletas ubicadas al fondo y cuya función es retirar el agua ocluida en los flóculos de los lodos. Es así como ocurre su espesamiento por simple sedimentación.	Los lodos se mezclan con aire, agua presurizada e insumos químicos para ayudarlos a flotar.
<b>PARAMETROS PARA DISEÑO</b>	Según [36] , los espesadores por gravedad de lodos adecuadamente operados cumplen con los siguientes parámetros: Concentración de lodo espesado 5 – 10 % (50 - 100g/L) Carga de sólidos 90 – 140 kg/m <sup>2</sup> .dia Carga hidráulica 0,6 – 1,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	Según [36] , los espesadores por flotación de lodos adecuadamente operados cumplen con los siguientes parámetros: Concentración de lodo espesado 3,5 – 4 % (35 - 40g/L) Carga de sólidos < 260 kg/m <sup>2</sup> .dia Carga hidráulica 0,45 – 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h
<b>VENTAJAS</b> [37]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos costos operacionales.</li> <li>• Bajos requerimiento de mano de obra.</li> <li>• Ideal para sedimentación rápida de lodos primarios.</li> <li>• Permite espesamiento y almacenamiento de los lodos.</li> <li>• No requiere área disponible en grandes cantidades.</li> <li>• No requiere químicos para acondicionamiento.</li> <li>• Consumo mínimo de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sus componentes son simples.</li> <li>• Al trabajar con presencia de aire, se inhiben los procesos anaerobios y con ello los malos olores.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b> [37]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genera olores.</li> <li>• Requiere de atención especializada por parte de los operarios.</li> <li>• No recomendable para</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo energético.</li> <li>• Alto requerimiento de área disponible.</li> <li>• Requiere de atención especializada por parte de los operarios.</li> <li>• Potencial de corrosión si se encuentra encerrado</li> <li>• Requiere adición de polímeros para obtener la óptima concentración de sólidos.</li> </ul>

**Tabla 34. Tipos de deshidratación para el sistema de tratamiento propuesto**

	<b>CENTRÍFUGA</b>	<b>FILTROS BANDA</b>	<b>FILTROS PRENSA</b>
<b>FUNCIONAMIENTO</b> [18]	Es un tipo de decantación que se realiza a través de un decantador cilíndrico con rotaciones de alta velocidad, lo cual crea un campo centrífugo similar a mil veces la fuerza de gravedad, lo que permite la precipitación del lodo deshidratado en su interior.	Una banda continua de tela filtrante atraviesa unos cilindros giratorios. El lodo se vierte de manera constante sobre la banda y después de traspasar los cilindros, se logra su compresión. Además, las placas rascadoras separan el lodo deshidratado de la banda.	Compuesto por un conjunto de placas metálicas, las cuales poseen telas filtrantes en su superficie. El lodo ingresa a las cámaras ubicadas cada dos placas adyacentes y es sometido a altas fuerzas de compresión.
<b>EFICIENCIA</b>	Se pueden producir lodos de concentración de materia seca cercana a 20%	Se pueden producir lodos de concentración de materia seca cercana a 25%	Se pueden producir lodos de concentración de materia seca cercana a 30%.
<b>VENTAJAS</b> [17]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel medio de eficiencia en captación de sólidos (95 - 96 %)</li> <li>• Bajo requerimiento de mano de obra (0.5 h/día)</li> <li>• Los costos de mantenimiento a corto plazo son de nivel bajo.</li> <li>• Sus costos de inversión son medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimiento de mano de obra intermedio (3 h/día)</li> <li>• Bajo consumo energético (5-20 kW/t).</li> <li>• Los costos de mantenimiento a corto plazo son de nivel bajo.</li> <li>• Sus costos de inversión son bajos.</li> <li>• Vida útil de la máquina nivel intermedio (5-10 años).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel alto de eficiencia de captación de sólidos (97-99%)</li> <li>• Bajo consumo de aditivos (2 - 4 kg/Tn)</li> <li>• Alto porcentaje de sequedad de la torta de lodos (20 - 40%)</li> <li>• Nivel de consumo energético medio (10-30 kW/t).</li> <li>• Los costos de mantenimiento a corto plazo son de nivel intermedio.</li> <li>• Larga vida útil de la máquina (10-20 años).</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b> [17]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de aditivos (6 - 9 kg/t)</li> <li>• Bajo porcentaje de sequedad de la torta de lodos (10 - 30%)</li> <li>• Alto consumo energético (40-60%).</li> <li>• Corta vida útil de la máquina (5 años).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel bajo de eficiencia en captación de sólidos (94 - 95%)</li> <li>• Alto consumo de aditivos (5 - 9 kg/t)</li> <li>• Bajo porcentaje de sequedad de la torta de lodos (10 - 26%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto requerimiento de mano de obra (5 h/día)</li> <li>• Su operación requiere de un operario, sin embargo puede capacitarse a uno de los actuales operarios para que desarrolle la actividad en ciertos periodos de tiempo</li> <li>• Sus costos de inversión son altos.</li> </ul>

### 3.2.2. Ponderación para la elección de los componentes del sistema de tratamiento de lodos residuales

Para la elección de los componentes para el sistema de tratamiento de los lodos residuales generados en el proceso de potabilización de la planta de EPSEL S. A, se investigó acerca de los diversos tratamientos y se evaluó cuáles serían los más adecuados, utilizando el Método de Factores Ponderados (Heizer y Barry, 2007).

Para los criterios de evaluación y selección, factores ponderados, se tomaron las características obtenidas del efluente de la empresa, la capacidad, las ventajas y desventajas, eficiencia, costos de tecnología, costos de operación y el mantenimiento necesario de los equipos.

Para la determinación de los componentes del sistema de tratamiento de los lodos residuales más adecuados se consideró la información del punto del 2.2. (Fundamentos Teóricos) y de las tablas N° 32, 33 y 34.

#### 3.2.2.1. Ponderación para la elección del tratamiento primario

##### ✓ Confrontación de factores

Según Arundel [38], los criterios que deben tomarse en cuenta para la elección del proceso de tratamiento y los que se utilizaron en la matriz de confrontación son los siguientes:

**Tabla 35. Factores confrontados para su ponderación**

A	Tiempo de retención
B	Eficiencia de remoción de solidos
C	Consumo de energía
D	Disponibilidad de tecnología
E	Efluente final uniforme
F	Mano de obra requerida
G	Costos de tecnología
H	Impacto ambiental

**Tabla 36. Confrontación de factores para su ponderación.**

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	TOTAL	PONDERADO
A		1	1	0	1	1	1	1	6	18%
B	1		1	1	1	0	0	1	5	15%
C	0	1		1	0	0	1	0	3	9%
D	0	0	1		1	0	1	1	4	12%
E	1	1	0	1		0	1	1	5	15%
F	0	0	0	1	0		0	0	1	3%
G	1	0	1	1	0	1		0	4	12%
H	1	1	1	0	1	1	0		5	15%
TOTAL	4	4	5	5	4	3	4	4	33	100%

Para el análisis se aplicó el criterio de importancia, el cual determina que factores son los más importantes de acuerdo a la conexión que existe entre estos, dando el valor de 1 si es más importante entre factores y 0 si no hay importancia.

Por lo tanto, la tabla 36 indica que los factores más importantes a tener en cuenta para la elección del tratamiento son: tiempo de retención, eficiencia de remoción, efluente final uniforme y el impacto ambiental de su instalación y funcionamiento.

Luego, se procede a otorgar, según criterio, una calificación a cada factor, teniendo en cuenta que la mayor calificación se le dará al factor que mejor cumpla con las características de cada opción de tratamiento evaluada. Para esto, la calificación estará en el rango de 1 a 5 puntos, según la importancia de cada factor tal como se muestra en la tabla N° 37.

**Tabla 37. Rango de calificación de factores**

PUNTAJE	ESCALA
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

**Tabla 38. Calificación de los factores predominantes para cada uno de los procesos analizados en el tratamiento primario**

Factor de selección de tratamiento	% de importancia	SEDIMENTACIÓN y/o DECANTACIÓN		TANQUES IMHOFF	
		Escala	Puntaje	Escala	Puntaje
A	18%	3	0,55	3	0,55
B	15%	4	0,61	2	0,30
C	9%	2	0,18	4	0,36
D	12%	3	0,36	3	0,36
E	15%	3	0,45	2	0,30
F	3%	3	0,09	3	0,09
G	12%	4	0,48	3	0,36
H	15%	3	0,45	2	0,30
TOTAL	100%		3,18		2,64

✓ **Resultado:**

El tratamiento primario adecuado para tratar los efluentes de la empresa, como lo muestra la tabla N° 38, es el tratamiento de decantación debido a que presenta un mayor puntaje de calificación a comparación de los otros tratamientos evaluados.

- A. Tiempo de retención:** La decantación y tanque imhoff requieren un tiempo de retención entre 1,5 y 2,5 h. por lo que obtuvieron el mismo puntaje de calificación.
- B. Eficiencia de remoción:** La decantación tiene una mayor eficiencia de remoción frente a otro tratamiento comparado, pues es capaz de remover entre 25-40% en DBO y entre 40-70% en Sólidos Suspendidos Totales.
- C. Consumo de energía:** Para [35], el consumo energético de los tanques Imhoff es nulo, es por ello que la decantación tiene un mayor puntaje a comparación con este tratamiento.
- D. Disponibilidad de Tecnología:** Ninguno de los tratamientos evaluados requieren materiales ni equipos costos o que necesiten ser importados del extranjero, lo cual permite una construcción rápida y económica. Por esta razón, se colocó el mismo puntaje a ambas opciones de espesamiento.
- E. Efluente final uniforme:** La decantación supera los porcentajes de remoción de los tanques Imhoff, (ver Tabla N°32), por lo que obtuvo puntuación mayor.

**F. Mano de obra requerida:** Para los dos tipos de tratamiento se necesita de mano de obra calificada es por ello que para este factor se ha considerado un mismo puntaje ya que no existen otro tipo de ventaja.

**G. Costo de Tecnología:** Según la **norma** peruana OS. 090 el diseño y construcción de tanques Imhoff es más costosa a comparación de los decantadores.

**H. Impacto ambiental:** el tratamiento con más ventaja es la decantación ya que no generaría impacto visual ni sonoro a diferencia del tanque Imhoff que además de generar impacto visual y sonoro, también existe el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

### 3.2.2.2. Ponderación para la elección del tipo de espesamiento

#### ✓ Confrontación de factores

Para Araque y Monsalve [39], en su investigación, los factores más adecuados para decidir el tipo de espesamiento para el tratamiento son:

**Tabla 39. Factores confrontados para su ponderación**

A	Concentración del lodo
B	Capacidad de procesamiento
C	Consumo de energía
D	Requerimiento de insumos
E	Área de terreno requerida
F	Mano de obra requerida
G	Costos de operación
H	Impacto ambiental

**Tabla 40. Confrontación de factores para su ponderación**

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	TOTAL	PONDERADO
A	1	1	1	0	0	1	1	5	16%	
B	1	1	1	1	1	1	0	6	19%	
C	1	1	0	0	0	1	0	3	10%	
D	1	1	0	1	1	1	1	5	16%	
E	0	1	0	0	1	0	1	2	6%	
F	0	0	0	1	0	1	0	2	6%	
G	0	1	1	1	0	1	0	4	13%	
H	0	0	1	1	1	1	0	4	13%	
TOTAL	3	5	4	5	2	4	5	31	100%	

Para el análisis se aplicó nuevamente el criterio de importancia. En la tabla N° 40 indica que los factores más importantes a tener en cuenta para la elección del tratamiento son: concentración de lodo, capacidad de procesamiento y el requerimiento de insumos adicionales.

Luego, se procedió a otorgar, según criterio, una calificación a cada factor, teniendo en cuenta que la mayor calificación se le dará al factor que mejor cumpla con las características de cada opción de tratamiento evaluada. Para esto, la calificación estará en el rango de 1 a 5 puntos, según la importancia de cada factor.

**Tabla 41. Calificación de los factores predominantes para la operación de espesamiento**

Factor de selección de tratamiento	% de importancia	ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD		ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN	
		Escala	Puntaje	Escala	Puntaje
A	16%	4	0,65	3	0,48
B	19%	3	0,58	3	0,58
C	10%	4	0,39	2	0,19
D	16%	3	0,48	2	0,32
E	6%	3	0,19	2	0,13
F	6%	3	0,19	2	0,13
G	13%	4	0,52	3	0,39
H	13%	2	0,26	3	0,39
TOTAL	100%		3,26		2,61

✓ **Resultado:**

El tipo de espesamiento más adecuado, como lo muestra la tabla N° 41, es el espesamiento por gravedad debido a que presenta un mayor puntaje de calificación a comparación del otro tratamiento evaluado.

**A. Concentración de lodo:** Con los espesadores por gravedad se obtiene una concentración de sólidos entre el 5 al 10 %, superior a los espesadores por flotación que tienen un 3,5 al 4% de concentración.

**B. Capacidad del proceso:** Ambos tipos de espesamiento pueden tener la capacidad requerida por el usuario, ya que eso depende de su diseño.

- C. Consumo de energía:** Para [37], el consumo energético de los espesadores por gravedad es mínimo, mientras que los espesadores por flotación si requieren de gran cantidad de energía para su funcionamiento.
- D. Requerimiento de insumos:** Los espesadores por flotación si requieren de adición de polímeros para obtener una óptima concentración de sólidos, a comparación de los espesadores por gravedad, para los cuales no es necesario el uso de químicos adicionales.
- E. Área de terreno requerido:** Según la norma peruana OS. 090 las dimensiones que requerirá cada uno de estos tratamientos dependerá del caudal máximo que necesite el sistema de tratamiento, sin embargo los espesadores por flotación si requieren de mayor cantidad de área disponible, lo cual es una desventaja.
- F. Mano de obra requerida:** Para el funcionamiento y operación de los espesadores por flotación se necesita de mano de obra calificada es por ello que para este factor se ha considerado un menor puntaje.
- G. Costo de operación:** En este factor el espesamiento por gravedad, según el Fondo Nacional del Ambiente tienen costos bajos de operación y mantenimiento, a comparación de los espesadores por flotación.
- H. Impacto ambiental:** En los espesadores por flotación, al trabajar con presencia de aire, se inhiben los procesos anaerobios y con ello los malos olores, lo cual si es una ventaja frente a los espesadores por gravedad, los cuales si generan olores.

### 3.2.2.3. Ponderación para la elección del equipo de deshidratación

#### ✓ Confrontación de factores

En el estudio realizado por Rodríguez [27], la selección del tipo de deshidratación que mejor se adapte a la PTAP analizada, tuvo en cuenta los factores mencionados en la Tabla 42, a los que considera de mayor importancia para esa etapa del proceso de tratamiento y los que se utilizaron para elaborar la matriz de confrontación.

**Tabla 42. Factores confrontados para su ponderación**

A	Eficiencia de deshidratación	E	Consumo de energía
B	Captación de sólidos	F	Costos de operación
C	Requerimiento de insumos	G	Costos de inversión
D	Requerimiento de mano de obra	H	Vida útil de la maquina

Para el análisis se aplicó también el criterio de importancia. En la tabla N° 43 indica que los factores más importantes a tener en cuenta para la elección del tratamiento son: eficiencia en el proceso de deshidratación, capacidad de captación de sólidos y la vida útil de la máquina.

**Tabla 43. Confrontación de factores para su ponderación**

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	TOTAL	PONDERADO
A		1	1	1	1	1	0	0	5	20%
B	1		1	0	1	1	0	0	4	16%
C	1	1		1	0	0	0	0	3	12%
D	0	0	1		0	1	0	0	2	8%
E	1	1	0	0		0	0	1	3	12%
F	0	0	0	1	0		1	0	2	8%
G	0	0	0	0	0	1		1	2	8%
H	0	0	0	1	1	1	1		4	16%
TOTAL	3	3	3	4	3	5	2	2	25	100%

Después, se procedió a otorgar, según criterio, una calificación a cada factor, teniendo en cuenta que la mayor calificación se le dará al factor que mejor cumpla con las características de cada opción de tratamiento evaluada. Para esto, la calificación estará en el rango de 1 a 5 puntos, según la importancia de cada factor.

**Tabla 44. Calificación de los factores predominantes para la operación de deshidratación**

Factor de selección de tratamiento	% de importancia	CENTRÍFUGA		FILTROS BANDA		FILTROS PRENSA	
		Escala	Puntaje	Escala	Puntaje	Escala	Puntaje
A	20%	3	0,60	2	0,40	4	0,80
B	16%	2	0,32	1	0,16	4	0,64
C	12%	3	0,36	2	0,24	4	0,48
D	8%	4	0,32	3	0,24	2	0,16
E	12%	2	0,24	4	0,48	3	0,36
F	8%	4	0,32	4	0,32	3	0,24
G	8%	3	0,24	4	0,32	2	0,16
H	16%	1	0,16	3	0,48	5	0,80
TOTAL	100%		2,56		2,64		3,64

✓ **Resultado:**

El equipo más adecuado para el proceso de deshidratación, como lo muestra la tabla N° 44, es el filtro prensa debido a que presenta un mayor puntaje de calificación a comparación de los otros equipos evaluados.

- A. Eficiencia de deshidratación:** los filtros prensa obtuvieron la calificación más alta en este factor debido a que de ellos se podrían producir lodos con una concentración en materia seca de aproximadamente 30%.
- B. Captación de sólidos:** La mayor calificación se asignó a los filtros prensa debido a que su porcentaje de captación de sólidos es de 99%, superando a las otras opciones evaluadas.
- C. Requerimiento de insumos:** Mediante este factor, se pudo comparar las distintas cantidades de aditivos que se necesitarían para la óptima operatividad de los distintos sistemas de deshidratación, lo cual se traduce en costos de operación más elevados. Los filtros prensa muestran un menor consumo de aditivo (2-4 kg), es por ello que se les asignó un mayor puntaje frente a las otras alternativas de deshidratación.
- D. Requerimiento de mano de obra:** Mediante este factor se pudo confrontar los diversos tratamientos según la cantidad de mano de obra necesaria para su operatividad, lo cual aumenta los costos del tratamiento de los lodos, aparte de la capacitación necesaria para que el cumplimiento de sus funciones y la operatividad de los equipos sea eficaz. Debido a que se requiere mayor tiempo y nivel de conocimiento para la operación de los Filtros Prensa, los filtros banda y la centrifuga obtuvieron puntajes mayores.
- E. Consumo de energía:** Según diversas investigaciones previas, los tratamientos más modernos tienen como desventaja un alto consumo energético. En consecuencia, la centrifuga tiene el puntaje más bajo, ya que consume entre 40 a 60 kW/ por tonelada deshidratada en el proceso.
- F. Costos de operación:** los filtros banda son los que tienen los menores costos de funcionamiento y mantenimiento, a comparación de las otras alternativas de deshidratación; es por ello que obtienen un mayor puntaje.
- G. Costos de inversión:** Este factor considera los costos de preparación del terreno, la adquisición de los equipos necesarios y la mano de obra necesaria para la instalación del equipo. Según el Fondo Nacional del Ambiente, la opción con el más alto costo de inversión es el filtro prensa debido a su complejidad.

**H. Vida útil de la maquina:** Se tomó en cuenta para cada una de las alternativas, partiendo de la base de que se destinaran recursos limitados para construcción, operación y mantenimiento que a futuro si se les da un buen direccionamiento se pueden favorecer, o por el contrario desfavorecer, si la experiencia y la manipulación de los recursos, equipos o unidades de tratamiento no son las mejores. El mayor puntaje se asignó a los filtros prensa ya que tienen el tiempo máximo de vida útil (10 a 30 años)

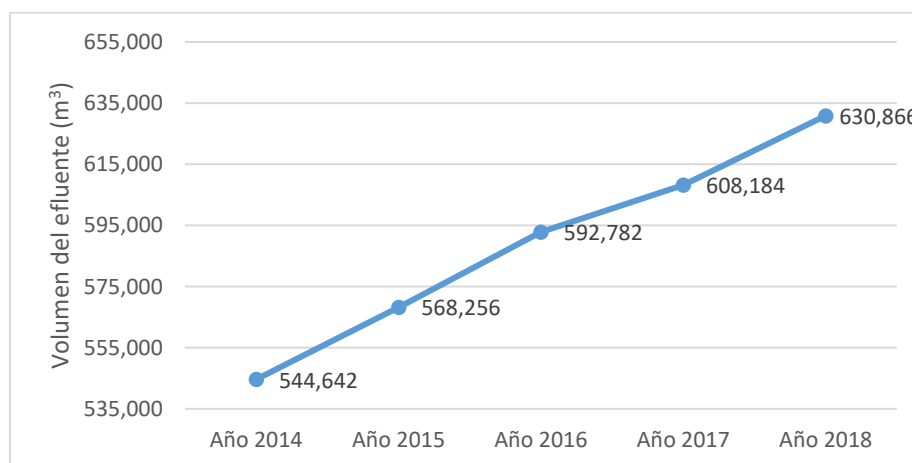
Aunque el espacio considerado para la ubicación del sistema tiene un área adecuada también es un factor a tener en cuenta ya que la PTAP tiene un espacio limitado, razón por la cual las lagunas de deshidratación y los lechos de secado fueron descartados como opciones para el tratamiento de los lodos.

### 3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PARA LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA N°1 DE EPSEL S. A.

#### 3.3.1. Pronóstico del efluente

Para diseñar los equipos del sistema de tratamiento, fue necesario, en primer lugar, realizar el pronóstico anual del volumen del efluente para los próximos 10 años, tomando en cuenta también el año actual del desarrollo de la investigación (2 019-2 028). Este pronóstico se realizó teniendo como base referencial el comportamiento de la data histórica y usando el software Excel.

Posteriormente, en la figura 8 se evidencia el comportamiento de la cantidad del efluente en los últimos 5 años (2014-2018) generado del proceso de potabilización de agua en la empresa.



**Figura 8. Comportamiento del efluente del proceso de potabilización de agua en la empresa EPSEL S. A.**

De igual forma, para efectuar el pronóstico se consideró la data histórica de la empresa, la cual se muestra en la Tabla 45 y detalla los volúmenes mensuales generados de efluente entre los años 2 014-2 018. Al presentar los datos una variabilidad y una tendencia ascendente en el periodo analizado, como lo muestra la figura 8, se aplicó el método de suavización exponencial doble (Metodo de Holt) para pronosticar.

**Tabla 45. Efluente generado por la empresa durante los años 2013 - 2018**

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EFLUENTE GENERADO (m<sup>3</sup>)</b>	<b>TOTAL ANUAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EFLUENTE GENERADO (m<sup>3</sup>)</b>	<b>TOTAL ANUAL (m<sup>3</sup>)</b>
2 013	Enero	36 328	518 743	2 014	Enero	36 656	544 642
	Febrero	31 580			Febrero	31 170	
	Marzo	36 074			Marzo	36 088	
	Abril	50 515			Abril	53 168	
	Mayo	46 200			Mayo	55 256	
	Junio	48 335			Junio	53 168	
	Julio	52 048			Julio	55 256	
	Agosto	50 515			Agosto	55 256	
	Septiembre	50 668			Septiembre	53 168	
	Octubre	42 120			Octubre	40 552	
	Noviembre	38 015			Noviembre	38 168	
	Diciembre	36 345			Diciembre	36 736	
2 015	Enero	33 696	568 256	2 016	Enero	55 552	592 782
	Febrero	31 600			Febrero	51 968	
	Marzo	44 792			Marzo	54 952	
	Abril	46 064			Abril	46 008	
	Mayo	53 184			Mayo	46 256	
	Junio	48 136			Junio	43 876	
	Julio	52 296			Julio	55 848	
	Agosto	52 888			Agosto	55 552	
	Septiembre	50 504			Septiembre	53 760	
	Octubre	50 224			Octubre	55 552	
	Noviembre	49 320			Noviembre	35 760	
	Diciembre	55 552			Diciembre	37 698	
2 017	Enero	47 748	608 184	2 018	Enero	43 130	630 866
	Febrero	39 684			Febrero	50 176	
	Marzo	45 352			Marzo	55 552	
	Abril	45 660			Abril	44 760	
	Mayo	46 252			Mayo	55 552	
	Junio	53 760			Junio	53 760	
	Julio	55 552			Julio	55 552	
	Agosto	55 552			Agosto	55 552	
	Septiembre	53 760			Septiembre	53 760	
	Octubre	55 552			Octubre	55 552	
	Noviembre	53 760			Noviembre	53 760	
	Diciembre	55 552			Diciembre	53 760	

**Tabla 46. Pronóstico del efluente (m<sup>3</sup>/mes)**

<b>MES</b>	<b>2 019</b>	<b>2 020</b>	<b>2 021</b>	<b>2 022</b>	<b>2 023</b>	<b>2 024</b>	<b>2 025</b>	<b>2 026</b>	<b>2 027</b>	<b>2 028</b>
Enero	43 130	43 741	44 068	44 068	44 478	44 579	44 579	44 736	44 539	44 539
Febrero	49 894	48 068	46 150	46 067	44 303	42 368	42 457	40 568	48 385	48 631
Marzo	56 453	55 522	54 029	54 044	52 208	49 825	49 176	46 487	43 186	42 019
Abril	47 260	48 337	48 946	50 757	50 928	50 468	51 241	50 084	48 127	47 627
Mayo	55 382	54 524	53 772	54 443	54 183	53 795	54 725	54 332	53 507	53 993
Junio	55 313	55 833	56 114	57 321	57 638	57 840	59 155	59 498	59 674	61 109
Julio	56 771	57 411	58 053	59 564	60 432	61 299	63 152	64 313	65 502	67 897
Agosto	56 868	57 717	58 631	60 327	61 584	62 958	65 247	67 102	69 155	72 378
Septiembre	54 956	55 808	56 767	58 419	59 782	61 339	63 746	65 922	68 424	72 057
Octubre	56 103	56 390	56 800	57 805	58 613	59 645	61 434	63 118	65 186	68 303
Noviembre	54 524	54 945	55 354	56 132	56 645	57 251	58 388	59 363	60 603	62 654
Diciembre	54 086	54 168	54 253	54 617	54 714	54 822	55 264	55 458	55 739	56 526
<b>TOTAL</b>	<b>640 741</b>	<b>642 465</b>	<b>642 938</b>	<b>653 563</b>	<b>655 509</b>	<b>656 189</b>	<b>668 566</b>	<b>670 982</b>	<b>682 025</b>	<b>697 734</b>

En la tabla 46 se muestra el pronóstico para los próximos diez años, la cual fue calculada tomando como base los datos mostrados en la tabla 45. Como se observa en el pronóstico, existirá un aumento anual del efluente generado por la empresa, pues para el primer año proyectado se tiene un volumen de 640 741 metros cúbicos, mientras que para el año 2 028 el volumen alcanzará los 697 734 metros cúbicos de efluentes que generará la empresa potabilizadora de agua.

### **3.3.2. Proceso del sistema de tratamiento propuesto**

#### **3.3.2.1. Bombeo de agua**

Inicialmente el agua de lavado de los filtros es bombeada hacia el tanque homogeneizador a través de 1 bomba centrífuga de 2 HP. El impulsor que se encuentra dentro de la bomba centrífuga rota y hace rotar el líquido impartiendo fuerza centrífuga al agua que rápidamente se mueve hacia afuera de la bomba, en este caso a la tubería de impulsión.

Del mismo modo, el agua de la purga de lodos que es retenida en los colectores exteriores de la PTAP, será bombeada mediante 1 bomba centrífuga, ya que este tipo de bombas son ideales para aguas con alto contenido de partículas. Para bombas de 2 HP, la tubería de succión e impulsión deben ser de 2,5 y 2 pulgadas respectivamente.

Para el bombeo de efluentes, se utilizarán lo siguientes accesorios:

- Tuberías de succión: Las tuberías de succión están conectadas desde los buzones hasta las bombas y a través del impulsor hacia el sistema de tratamiento.
- Tubería de impulsión: Es la tubería encargada de transportar hasta los equipos que conforman el sistema.
- Válvula Check: La válvula check permite que el agua no se regrese al momento de ser succionada.
- Válvula de compuerta. Permite controlar el flujo en caso de mantenimiento.

#### **3.3.2.2. Homogeneización**

Debido a que los lodos se evacuan de modo discontinuo de la planta y el contenido de sólidos en su composición son distintas, es necesario que sean transportados hacia un depósito de mezcla y homogeneización. Es por ello que luego de su ingreso al sistema de tratamiento, el efluente se almacenará en un tanque homogeneizador.

#### **3.3.2.3. Decantación**

Al llegar el agua bombeada al decantador, se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del decantador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua.

El agua de lavado de filtro está cargada de sulfato de aluminio, por ello esta carga es aprovechada en el decantador para así evitar usar algún tipo de coagulante. El material fangoso es depositado en el fondo del decantador, para luego ser bombeado hacia el espesador, mientras que el agua será bombeada hacia el exterior de la planta.

#### **3.3.2.4. Espesamiento**

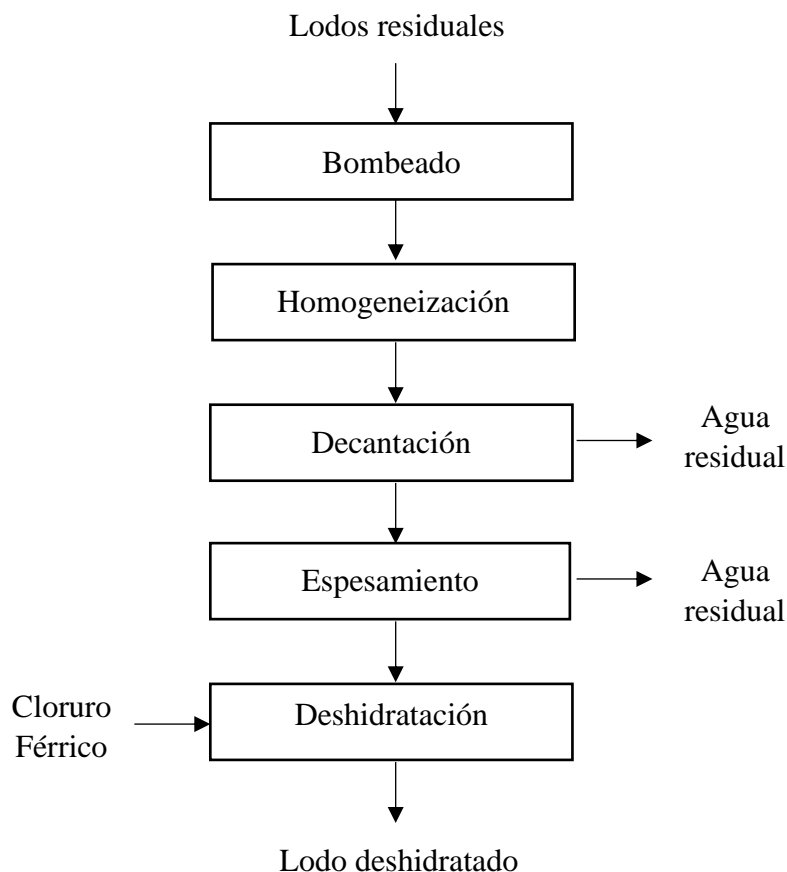
El fango que sale del decantador se conduce a otro tanque similar al de decantación. Este fango diluido se transporta hacia una cámara de alimentación central, en la cual se sedimenta, compacta y finalmente se evacua por la parte inferior. El sobrenadante de esta operación será enviado al decantador otra vez y el fango que ha sido concentrado y espesado en esta etapa tendrá como destino el filtro prensa.

#### **3.3.2.5. Deshidratación**

El objetivo de esta etapa es la eliminación del agua presente en el lodo previamente almacenado dentro del tanque de espesamiento, con lo cual se logrará mejorar sus características fisicoquímicas, aumentar el contenido de materia seca, reducir los costos de transporte debido a que se reduce el volumen de los lodos, mejorar en el manejo y transporte de los residuos, prevenir la liberación de malos olores y aumentar el poder calorífico del lodo por reducción de la humedad.

- **Filtro prensa:** para la Planta de Potabilización de agua de EPSEL S. A. se ha seleccionado este equipo como último equipo del sistema de tratamiento propuesto debido a los factores evaluados y calificados en el apartado 3.2.2.3.

A continuación, se muestra el Diagrama de Bloques del sistema de tratamiento propuesto para la empresa potabilizadora de agua.



**Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento propuesto**

### 3.3.3. Balance de materia

Después de haber realizado el pronóstico de los efluentes para los próximos 10 años se procede a realizar el balance de materia para cada operación del sistema de tratamiento para poder determinar la disminución de los parámetros contaminantes de los efluentes (aguas residuales del lavado de filtros y de los sedimentadores).

Para realizar el balance de materia es importante considerar datos como el flujo volumétrico del efluente, así como también eficiencia de remoción de contaminantes y producción de materia seca de cada operación a lo largo del sistema de tratamiento.

El flujo volumétrico que se va a utilizar es el flujo pronosticado en la tabla 46, sabiendo que la empresa labora los 365 días del año, entonces  $697\,734\text{ m}^3$  entre los 365 días equivale a  $1\,911,6\text{ m}^3/\text{día}$  y que serán base para el balance de materia ( $80\text{m}^3/\text{h}$ ).

Antes del balance de materia se realiza por motivos de cálculos la conversión de unidades de los valores de entrada del efluente. Los resultados se muestran a continuación:

$$\text{DBO} = \left( \frac{300\text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1\,912\text{ m}^3\text{ AR}}{\text{día}} \times \frac{1\text{ kg}}{10^6\text{ mg}} \times \frac{1000\text{ L}}{1\text{ m}^3\text{ AR}} \right)$$

$$\text{DBO} = 573,6\text{ kg/día}$$

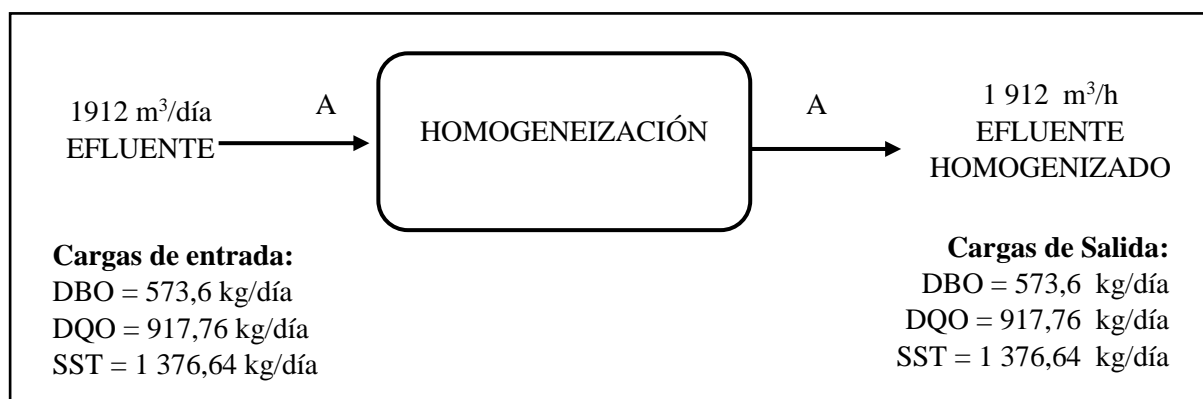
$$\text{DQO} = \left( \frac{480\text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1\,912\text{ m}^3\text{ AR}}{\text{día}} \times \frac{1\text{ kg}}{10^6\text{ mg}} \times \frac{1000\text{ L}}{1\text{ m}^3\text{ AR}} \right)$$

$$\text{DQO} = 917,76\text{ kg/día}$$

$$\text{SST} = \left( \frac{720\text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1\,912\text{ m}^3\text{ AR}}{\text{día}} \times \frac{1\text{ kg}}{10^6\text{ mg}} \times \frac{1000\text{ L}}{1\text{ m}^3\text{ AR}} \right)$$

$$\text{SST} = 1\,376,64\text{ kg/día}$$

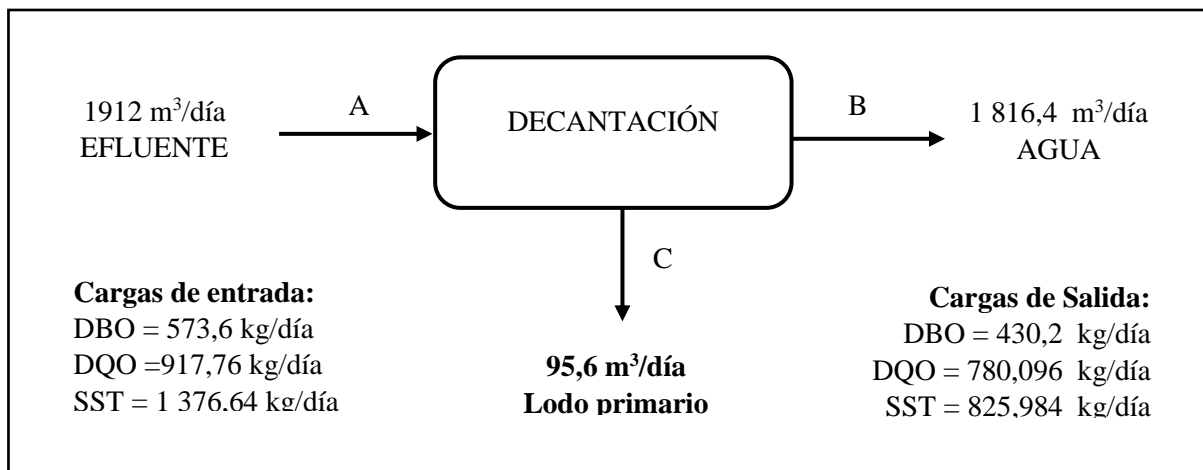
### A. Balance en el homogeneizador



**Figura 10. Balance de masa en el homogeneizador**

### B. Balance en el decantador

Para el balance en la etapa de decantación se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en el análisis físico-químico que se realizaron al efluente de la Planta de estudio, los cuales se muestran en la Tabla 26. Según Hernández, los porcentajes de remoción en el decantador son: DBO (25%), DQO (15%) y Sólidos Suspendidos Totales (40%).



**Figura 11. Balance de masa en el decantador**

$$DBO = \left( \frac{300 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1\,912 \text{ m}^3 \text{ AR}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3 \text{ AR}} \right) \times (0,75)$$

$$DBO = 430,2 \text{ kg/día}$$

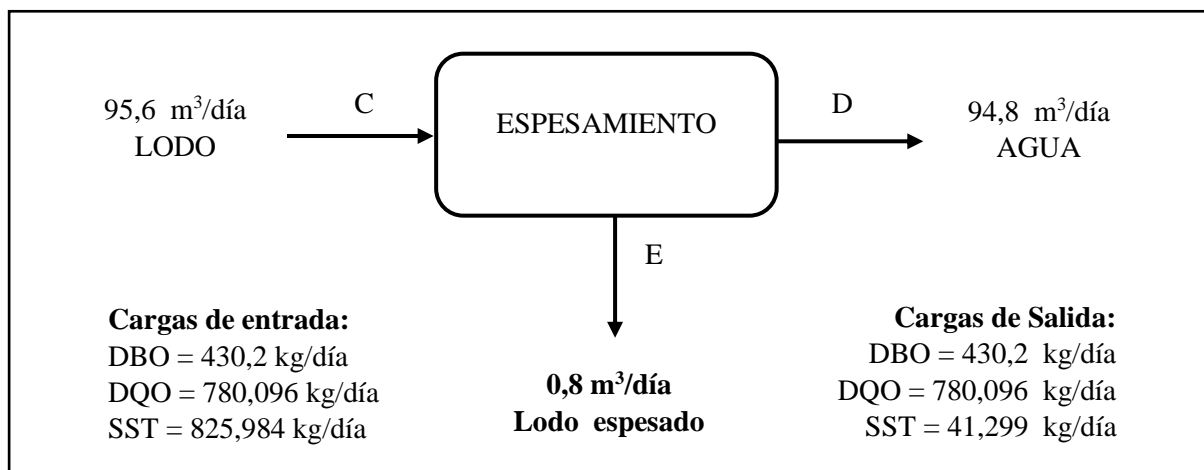
$$DQO = \left( \frac{480 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1\,912 \text{ m}^3 \text{ AR}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3 \text{ AR}} \right) \times (0,85)$$

$$DQO = 780,096 \text{ kg/día}$$

$$SST = \left( \frac{720 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1\,912 \text{ m}^3 \text{ AR}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3 \text{ AR}} \right) \times (0,60)$$

$$SST = 825,984 \text{ kg/día}$$

### C. Balance en el espesador



**Figura 12. Balance de masa en el espesador**

$$E = (825,984) \times (0,95)$$

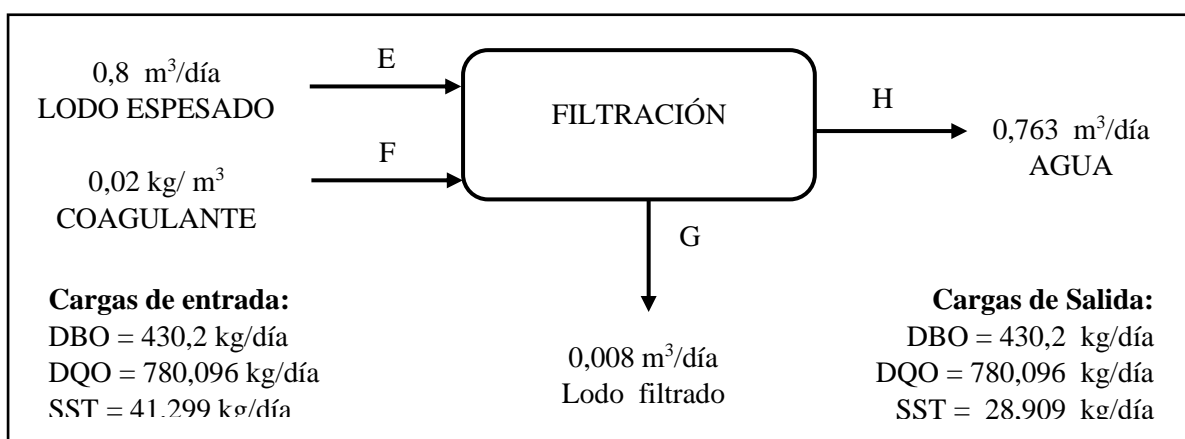
$$E = 784,685 \text{ kg/día}$$

“E” es la cantidad de lodos que serán removidos periódicamente de la operación de espesamiento

$$SST = 825,984 \times (0,05)$$

$$SST = 41,299 \text{ kg/día}$$

#### D. Balance en el filtro prensa



**Figura 13. Balance de masa en el filtro**

Para el cálculo de la cantidad de lodos generados se utilizaron los porcentajes de materia seca mencionados en la Tabla 30, en el cual se tiene como dato que el filtro prensa puede producir hasta un 30% en materia seca, por lo tanto:

$$G = (41,299) \times (0,3) + 2 \text{ kg}$$

$$G = 14,39 \text{ kg/día}$$

“G” es la cantidad de lodos que se generarán de la operación de filtración. El volumen de los lodos se calculó considerando que este sale del filtro prensa con un 28% de humedad y una densidad de 1 800 kg/m<sup>3</sup>, datos que fueron tomados como referencia del estudio realizado por García [40].

Entonces:

$$V_{lodo} = \frac{14,39 \text{ kg/día}}{1\,800 \text{ kg/m}^3} = 0,0079944 \text{ m}^3/\text{día}$$

Finalmente, la cantidad de Solidos Suspendidos Totales, se estimó en:

$$SST = (41,299) \times (0,70)$$

$$SST = 28,909 \text{ kg/día}$$

### 3.3.3. Parámetros finales del balance de materia

En la tabla 44 se muestra el resumen comparativo de los parámetros finales obtenidos después del sistema de tratamiento propuesto para la planta potabilizadora de agua, comparando y verificando que no excedan los Límites Máximos Permisibles establecidos por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.

**Tabla 47. Comparación de parámetros finales.**

Parámetro	Unidad	Parámetro del efluente de la empresa potabilizadora de agua	Parámetro del efluente tratado en el sistema propuesto	LMP para descargas a cuerpos de agua
DBO	mg/L	300	96,50	100
DQO	mg/L	480	110	200
SST	mg/L	720	15,11	150

Con esta comparación se determinó que los parámetros de los efluentes de la planta potabilizadora de agua, después de pasar por el sistema de tratamiento se encuentran dentro de los Límites Máximos Admisibles, tal como se muestra en la tabla 47.

### 3.3.4. Indicadores ecoeficientes

Según el análisis de la proyección realizada se determinó las diferentes capacidades:

#### ✓ Capacidad proyectada:

Se relaciona con la máxima producción teórica de efluente que tendrá que tratar, calculado según la proyección hasta el año 2028.

$$\text{Capacidad proyectada} = \frac{697\,734 \text{ m}^3/\text{año}}{365 \text{ días/año}} = 1\,911,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### ✓ Producción real

Se determinó el caudal, tomando en cuenta los datos de la producción del efluente en el año en que se realizó la investigación (2018).

$$\text{Producción real} = \frac{630\,866 \text{ m}^3/\text{año}}{365 \text{ días/año}} = 1\,728,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### ✓ Utilización

Es el porcentaje que se produce en la actualidad respecto a la capacidad proyectada.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Capacidad proyectada}}$$

$$\text{Utilización} = \frac{1\,728,4 \text{ m}^3/\text{día}}{1\,911,6 \text{ m}^3/\text{día}} \times 100$$

$$\text{Utilización} = 90,42 \%$$

#### ✓ Eficiencia de remoción

Se ha determinado mediante el porcentaje de reducción de sólidos presentes en el efluente generado por la planta potabilizadora.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\% SST_i - \% SST_f}{\% SST_i} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{720 - 15,11}{720} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = 97,9 \%$$

### 3.3.5. Dimensiones del sistema de tratamiento

Según el pronóstico del efluente realizado mediante el método de Holt, se obtuvo que en un periodo de 10 años (2019-2028), el caudal máximo que alcanzaran los efluentes de la planta de tratamiento en estudio serán de 72 378 m<sup>3</sup>/mes. Es por ello que los equipos requeridos para el proceso se dimensionan según el volumen de efluente que deberá tratar la planta, lo que significa una capacidad de 100,5 m<sup>3</sup>/h.

#### 3.3.5.1. Caudal de entrada

Para el diseño del sistema de tratamiento se consideró el caudal máximo horario, el cual se calculó tomando como dato principal el volumen del efluente proyectado al año 2028 (Tabla 46).

**Tabla 48. Caudales mínimos, medios y máximos pronosticados  
Para la planta de tratamiento**

Caudales	m <sup>3</sup> /mes	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo	42 019	1 938,15	80,76	0,022
Caudal promedio	58 145	1 400,63	58,36	0,016
Caudal máximo	72 378	2 412,61	100,53	0,028

### 3.3.5.2. Diseño de tanque homogeneizador

#### ✓ Volumen máximo acumulado para el proceso de homogenización

Según [27], El tanque deberá tener como mínimo 0,5 veces el volumen de lodos líquidos generados por la planta en el proceso de evacuación de lodos de los sedimentadores, de esta forma el volumen del tanque que se dispondrá para la planta será:

$$V_H = \frac{1}{2} * V_{LL}$$

Donde:

$V_H = \text{Volumen maximo acumulado (m}^3\text{)}$

$V_{LL} = \text{Volumen del efluente a tratar (m}^3\text{)}$

Entonces:

$$V_H = \frac{1}{2} (100,53\text{m}^3) = 50,265 \text{ m}^3$$

#### ✓ Volumen del tanque homogeneizador

Según investigaciones anteriormente realizadas, es recomendable considerar un margen de 20% superior al volumen máximo calculado anteriormente, por ello se optó por las siguientes medidas:

$$V_t = 60,318 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_t = \text{Volumen del tanque homegeneizador (m}^3\text{)}$

#### ✓ Radio del tanque homogeneizador

$$V_t = \pi \times r^2 \times h = 60,318 \text{ m}^3$$

Donde:

$V_t = \text{Volumen del tanque homegeneizador (m}^3\text{)}$

$r = \text{radio del tanque homegeneizador (m)}$

$h = \text{altura del tanque homegeneizador (m)}$

Considerando una altura de 4m y despejando la ecuación, el radio del tanque es:

$$r = \sqrt{\frac{V_t}{\pi \times h}} = \sqrt{\frac{60,318}{\pi \times 4}} = 2,191 \text{ m}$$

Por cuestiones de diseño más exactas se considerará 2,5m.

#### ✓ **Espesor del tanque**

Se utilizó la siguiente formula:

$$e = \frac{D_t}{16} = \frac{5}{16} = 0,3125 \text{ m}$$

Donde:

$e$  = espesor del tanque homogeneizador (m)

$D_t$  = diámetro del tanque homogeneizador (m)

### 3.3.5.3. DECANTADOR

#### ✓ **Velocidad ascensional**

$$V_{asc} = \frac{Q}{S}$$

Siendo:

$S$  = Superficie de decantacion ( $m^2$ )

$Q$  = Caudal a tratar ( $m^3/h$ )

$V_{asc}$  = Velocidad ascensional (m/h)

**Tabla 49. Velocidades ascensionales a caudal máximo**

Tipo de decantador	Velocidad a caudal máximo		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	1,40 m/h	1,75 m/h	2,1 m/h
Decantadores rectangulares	1,26 m/h	1,54 m/h	1,82 m/h

Fuente: Hernandez [14]

#### ✓ **Área de decantación**

Partiendo de la ecuación  $V_{asc} = \frac{Q}{S}$ , se calcula la superficie necesaria del decantador para el caudal máximo de tratamiento del efluente.

$$S = \frac{Q}{V_{asc}} = \frac{100,8 \text{ m}^3/\text{h}}{1,75 \text{ m/h}} = 57,6 \text{ m}^2$$

### ✓ Tiempo de retención

Es el cociente entre el volumen del tanque de decantación y el caudal a tratar.

$$t_R = \frac{V}{Q}$$

Siendo:

$V = \text{Volumen de decantación (m}^3\text{)}$

$Q = \text{Caudal a tratar (m}^3\text{/h)}$

$t_R = \text{Tiempo de retención (h)}$

En la Tabla 51, se pueden observar los valores del tiempo de retención para el proceso de decantación.

**Tabla 50. Tiempo de retención**

Tipo de caudal	Tiempo de retención		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Caudal medio	1,95 h	2,60 h	3,90 h
Caudal máximo	1,30 h	1,95 h	2,60 h

Fuente: Hernández [14]

Por lo tanto, se toma el valor típico del tiempo de retención para el caudal medio máximo de diseño que se ha considerado para la propuesta, equivalente a 1,95 h.

El volumen es igual a :

$$V = t_R \times Q$$

$$V = 1,95 \text{ h} \times 100,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 196,56 \text{ m}^3$$

### ✓ Diámetro del decantador

Para calcular el diámetro del tanque de decantación, se utilizó la siguiente formula:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}}$$

Donde:

$\emptyset = \text{Diámetro del decantador (m)}$

$S = \text{Superficie de decantacion (m}^2\text{)}$

**Entonces:**

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 (57,6)}{\pi}} = 8,564 \text{ m}$$

✓ **Altura del decantador**

Para los decantadores circulares de flujo horizontal, se debe cumplir:

$$\emptyset < 35 \text{ m}$$

$$h < 3,5 \text{ m}$$

Por lo que se comprueba que el diámetro calculado anteriormente es factible y además, la altura típica para el tanque de decantación es de 3m.

✓ **Dimensiones de la zona de entrada**

Para los decantadores circulares de flujo horizontal, pueden tomarse las siguientes relaciones que se muestran en la Tabla 52.

**Tabla 51. Dimensiones en decantadores circulares**

Relación	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
$\emptyset_1 / \emptyset$	0,05	0,1	0,2
$h_1 / h$	0,25	0,40	0,65

Fuente: Hernández [14]

$\emptyset_1 = \text{Diámetro del cilindro central de entrada (m)}$

$h_1 = \text{Altura del cilindro central desde el borde superior del decantador (m)}$

$\emptyset = \text{Diámetro del decantador (m)}$

$h = \text{Altura del decantador (m)}$

El diámetro del cilindro central de entrada, se obtiene de la relación  $\frac{\emptyset_1}{\emptyset} = 0,1$ .

Entonces:

$$\emptyset_1 = \emptyset \times 0,1 = 8,564 \times 0,1 = 0,8564 \text{ m}$$

La altura del cilindro central desde el borde superior del decantador, se obtiene de la relación  $\frac{h_1}{h} = 0,4$ . Entonces:

$$h_1 = h \times 0,4 = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

### ✓ Longitud del vertedero de salida

Se define como carga sobre vertedero al cociente entre el caudal a tratar y la longitud del vertedero. Se utilizó la siguiente fórmula para calcular:

$$V_{vert} = \frac{Q}{L}$$

Siendo:

$L$  = Longitud necesaria del vertedero

$Q$  = Caudal a tratar ( $m^3/h$ )

$V_{vert}$  = carga sobre vertedero ( $m^3/h/m$ )

**Tabla 52. Carga sobre vertedero ( $m^3/h/m$ )**

Tipo de decantador	Velocidad a caudal máximo		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	5	9,5	18
Decantadores rectangulares	5	10	26

Fuente: [14]

$$L = \frac{Q}{V_{vert}} = \frac{100,8 m^3/h}{9,50 m^3/h/m} = 10,526 m$$

### ✓ Barrederas de fangos

Siendo  $V_r$ , la velocidad lineal de las barrederas de fondo en decantadores, pueden tomarse los valores que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 53. Velocidad de barrederas de fondo ( $m^3/h/m$ )**

Velocidad de barrederas de fondo	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
$V_r$ (m/min)	0,3	0,6	1,2

Fuente: Hernández [14]

Se toma en cuenta el valor típico que es  $0,6 m^3/h/m$ . Además, las inclinaciones de los fondos para dichas rasquetas en este tipo de decantadores suelen ser del 0,5% al 2%.

### ✓ Pocetas de fangos

Los lodos sedimentados se irán almacenando y concentrando en unas cavidades o pocetas practicadas en el fondo del decantador. Desde allí serán extraídos o purgados a intervalos de tiempo prefijados.

El volumen necesario de las pocetas necesarias vendrá dado por la ecuación:

$$V = Q_f \times T_r$$

Donde:

$V$  = Volumen de pocetas ( $m^3$ )

$Q_f$  = Caudal medio de fangos producidos ( $m^3/h$ )

$T_r$  = Tiempo de retención del fango en pocetas (h)

En la Tabla 55, se muestran los valores usuales del tiempo de retención en pocetas.

**Tabla 54. Tiempo de retención en pocetas de decantadores (h)**

Tipo de decantador	Tiempo de retención		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares sin rasquetas de espesador	0,5	2	5
Decantadores circulares con rasquetas de espesador	4	6	8
Decantadores rectangulares	4	10	24

Fuente: [14]

Entonces:

$$V = Q_f \times T_r = 3,983 \text{ m}^3/h \times 6 = 23,898 \text{ m}^3$$

#### 3.3.5.4. ESPESADOR

##### ✓ Capacidad

El cálculo de la cantidad de fango generado se toma de lo calculado en el balance de materia procedente de la decantación.

$$P_l = 95,6 \text{ kg/día}$$

##### ✓ Carga de sólidos

Relaciona la masa de fango y la superficie de espesamiento. Este ratio viene dado en peso de sólidos por unidad de tiempo y superficie útil del espesador ( $kg/m^2 \cdot día$ ). En la tabla 56 se indican los valores recomendados para su diseño en función del origen de los fangos a espesar.

**Tabla 55. Valores de diseño de un espesador según la carga de solidos**

TIPO DE FANGO	CARGA DE SÓLIDOS (kg/m <sup>2</sup> .dia)
Fango primario	90 – 130
Fangos activos	20 – 35
Fangos mixtos	40 – 70
Fangos de aireación prolongada	25 – 35
Fangos de estabilización aerobia	30 – 40

Fuente: Hernández [14]

Se escoge el valor de 90 kg/m<sup>2</sup>.dia debido a que el tipo de fango procedente de los sedimentadores es un fango primario.

#### ✓ Carga hidráulica

La carga hidráulica incide en la forma de la curva de sedimentación, en su capacidad de formación y en la separación de los sobrenadantes. Esta ratio también es utilizada para el dimensionamiento de espesadores y relaciona el caudal del fango y la superficie de espesamiento.

Esta ratio está expresado en volumen de sólidos por unidad de tiempo y superficie útil de espesador (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h), En la tabla 57 se muestran los valores recomendados para el diseño de un espesador de gravedad en función del origen de los fangos a espesar.

**Tabla 56. Valores de diseño para la carga hidráulica de un espesador**

TIPO DE FANGO	CARGA HIDRÁULICA (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)
Fango primario	< 1,40
Fangos activos	< 0,45
Fangos mixtos	< 0,90
Fangos de aireación prolongada	< 0,45
Fangos de estabilización aerobia	< 0,45

Fuente: Hernández [14]

✓ **Superficie de espesamiento**

Se calculó utilizando la siguiente formula:

$$S_e = \frac{C_{ss} * Q_s}{C_s}$$

Donde:

$S_e$  = Superficie de espesador ( $m^2$ )

$Q_s$  = Caudal medio de fangos producidos ( $m^3/dia$ )

$C_s$  = Carga de sólidos ( $kg/m^2.dia$ )

$C_{ss}$  = Concentración de sólidos ( $kgSS/m^3$ )

Entonces:

$$S_e = \frac{C_{ss} * Q_s}{C_s} = \frac{(8kgSS/m^3)(95,6 m^3/dia)}{90 kg/m^2.dia} = 8,498 m^2 = 8,5m^2$$

✓ **Diámetro**

Sabiendo que el tanque espesador es circular, se calculó el diámetro del mismo con la siguiente fórmula:

$$A_e = \pi \times r^2 = 8,5 m^2$$

$$r = 1,645 m$$

$$D = 3,29 m$$

✓ **Altura del espesador**

Según [14], la altura del espesador repercute directamente en la capacidad de espesamiento. Los valores comprendidos entre 2,50 y 4 metros son los más apropiados, desde un enfoque técnico y económico. Es por ello que se optó por una altura de 4 metros para el espesador.

✓ **Tiempo de retención**

Adquiere un carácter decisivo al superar un periodo de tiempo determinado (6-8 horas, generalmente), en el cual inician las reacciones anaeróbicas de los lodos. Puesto que los tiempos de retención normalmente empleados son siempre superiores a las 24h, se recomienda, con carácter general, adoptar medidas contra olores. La tabla 58, muestra los valores para el diseño de un espesador en función del origen de los fangos a espesar.

**Tabla 57. Valores de diseño para el tiempo de retención**

TIPO DE FANGO	Fango primario	Fangos activos	Fangos mixtos	Fangos de aireación prolongada	Fangos de estabilización aerobia
<b>TIEMPO DE RETENCIÓN (h)</b>	> 24	> 24	> 24	> 24	> 24

Fuente: Hernández [14]

A continuación, en la Tabla 59, se muestra un resumen de los parámetros de diseño ya mencionados con su respectivo valor elegido.

**Tabla 58. Parámetros de diseño seleccionados para el espesador**

PARAMETRO	VALOR
Carga máxima de solidos	130 kg/m <sup>2</sup> .dia
Carga hidráulica	1,40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h
Altura del espesador	4 m
Tiempo mínimo de retención	24 h
Concentración de salida	10 %

Fuente: Hernández [14]

### 3.3.5.5. FILTRO PRENSA

#### ✓ Caudal de entrada

En el balance de masa se obtuvo que, el volumen de lodos que llegaría al filtro prensa es de 0,8 m<sup>3</sup> y con un tiempo de operación de filtrado de una hora, se tendría que:

$$Q_{entrada} = \frac{0,8 \text{ m}^3}{1 \text{ h}} = 800 \text{ L/h}$$

#### ✓ Área de filtración

La tasa de filtración para este tipo de filtros es de 100 L/m<sup>2</sup>-h. Por lo que el área se determinó con la siguiente fórmula:

$$A_{filtro} = \frac{Q_{entrada}}{T_{filtracion}} = \frac{800 \text{ L/h}}{100 \text{ L/m}^2 - \text{h}} = 8 \text{ m}^2$$

#### ✓ Número de placas

Las dimensiones del filtro prensa recomendadas para el volumen calculado anteriormente son de 1 m por lado y cuadradas, y con una profundidad de 1,5

pulgadas (0,0381 m). Con esto, el volumen que tiene un marco para el secado del lodo es de  $0,04 \text{ m}^3$ .

Para calcular la cantidad de placas que se necesitan para poder filtrar a presión todo el volumen de lodo concentrado en una purga es de:

$$N_{placas} = \frac{V_{lodo}}{V_{marco}} = \frac{0,8 \text{ m}^3}{0,04 \text{ m}^3} = 20$$

### 3.3.6. Área disponible para la instalación del sistema de tratamiento

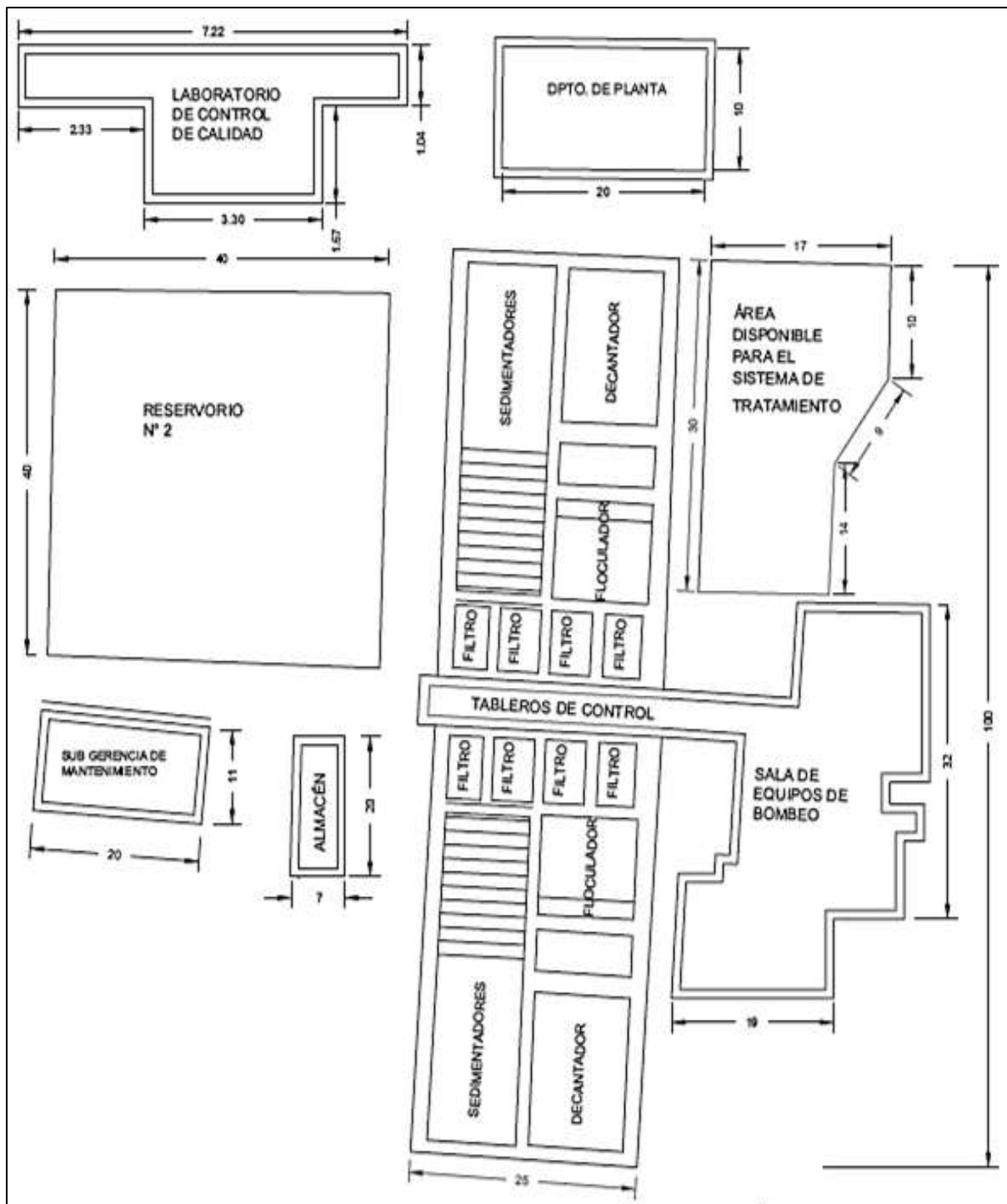
El sistema de tratamiento propuesto debe ser instalado cerca de la Planta N° 1 de EPSEL S. A. cerca de los equipos de filtración. No se pudo tener acceso al plano de la planta N° 01, sin embargo, se pudo obtener un aproximado del área disponible para la instalación del sistema mediante la Medición con Google Earth Pro.

Se usó este programa para medir las dimensiones del terreno disponible a través de la vista satelital. A continuación, se muestra la figura 14 con las mediciones hechas en el programa.



**Figura 14. Medida de área disponible para el sistema de tratamiento**

En base a lo antes mencionado se estima que la Planta de Agua Potable N° 1 – EPSEL S. A. – Chiclayo, cuya distribución se muestra en la lámina L-01 tiene disponibles  $550,92 \text{ m}^2$  disponibles para la instalación de los equipos que conforman el sistema de tratamiento propuesto.





**USAT**  
Universidad Católica  
*Summa Cum Laude*

UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN OTOBRO DOMINICANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
PAPA Nº 1 (E. SPINOL) S.A. PARA MINIMIZAR EL IMPACTO  
AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD

SECCION DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
LA PAPA Nº 1 (E. SPINOL) S.A.

PROYECTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
LA PAPA Nº 1 (E. SPINOL) S.A.

INGENIERÍA INDUSTRIAL

INTEGRANTES:  
DANIELA MONTENEGRO  
YELLYN DEL ROSARIO PULGAR

FECHA: 2012-03-10

L - 01

### 3.3.7. Distribución de planta

Con las dimensiones calculadas de todos los equipos para el sistema de tratamiento, a partir de tres superficies principales, se hallará el área total que ocupará todo el sistema de tratamiento, para esto se hará uso del método Guerchet ayudando a determinar de manera general las áreas principales para los equipos del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto:

- **Superficie estática (Ss):** Esta es la superficie productiva, es decir el área que ocupan físicamente los equipos, maquinas e instalaciones.

$$S_s = A \times L$$

- **Superficie de gravitación (Sg):** Es la superficie utilizada por los operarios que laboran en la planta de tratamiento. Esta superficie se obtiene multiplicando la superficie estática por el número de lados (N) de cada equipo utilizado.

$$S_g = S_s \times N$$

- **Superficie de evolución (Se):** Es la superficie que hay que reservar entre los puestos de trabajo para los desplazamientos del personal y paso de los caudales.

$$S_e = k \times (S_s + S_g)$$

Donde “k” es una constante propia del proceso determinada a partir de la altura promedio de los elementos que se desplazan entre el doble de la altura promedio de los elementos que permanecen fijos.

- **Superficie total (St):** Es la suma de las tres superficies antes mencionadas teniendo en cuenta todos los puestos involucrados en la planta de tratamiento.

$$S_t = S_s + S_g + S_e$$

**Tabla 59. Método de Guerchet para la instalación del sistema de tratamiento**

Elemento	n	N	Largo (L)	Ancho (L)	SS	SG	Altura (h)	SE	S	ST
<b>Elementos móviles</b>										
Operarios	1		0,5	1	0,5		1,65			2,15
<b>Elementos fijos</b>										
Bombas	7	3	0,4	0,3	0,12	0,36	0,50	0,21	0,69	4,84
Tanque homogeneizador	1	2	5,00	5,00	25,00	50,00	4,00	33,09	108,09	108,09
Tanque de sedimentación	1	2	8,00	8,00	64,00	128,00	3,00	84,71	276,71	276,71
Tanque de espesamiento	1	2	3,50	3,50	12,25	24,50	4,00	16,21	52,96	52,96
Filtro prensa	1	4	4,50	1,60	7,20	28,80	1,70	15,88	51,88	51,88
Panel eléctrico	1	3	0,80	0,50	0,40	1,20	1,50	0,71	2,31	16,14
Compresor	1	3	1,00	0,40	0,40	1,20	0,50	0,71	2,31	2,31
Bomba dosificadora	1	3	0,40	0,30	0,12	0,36	0,50	0,21	0,69	0,69
Tanque de lodos	1	2	1,00	1,00	1,00	2,00	1,50	1,32	4,32	4,32
Tolva de cal	1	2	1,50	1,50	2,25	4,50	1,50	2,98	9,73	9,73
<b>Superficie Total m<sup>2</sup></b>										<b>515,99</b>

Para el cálculo de la constante “k” se utilizó la siguiente fórmula:

$$k = \frac{\text{Altura promedio de elementos móviles}}{2 \times \text{Altura promedio de elementos fijos}}$$

$$k = 0,5 \left( \frac{1,65}{1,87} \right) = 0,44$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en el método de Guerchet, en el cual se muestran las medidas de los equipos y máquinas necesarias para la propuesta del sistema de tratamiento, nos indica que el área requerida para el sistema propuesto es de 516 m<sup>2</sup>., como lo indica la Tabla N° 59. En base a ello se realizó el diseño de la propuesta detallado en la lámina L-02.



### **3.4. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PROPUESTO**

#### **3.4.1. Costo de inversión para el sistema de tratamiento propuesto**

Para determinar los costos de inversión se consideraron aspectos como la inversión tangible la cual está conformada por los costos en obras de ingeniería civil, equipos y maquinaria para el tratamiento de las aguas residuales, los accesorios para la instalación y el recurso humano.

Otro aspecto considerado fue la inversión intangible, conformada por los gastos de la empresa y puesta en marcha del sistema de tratamiento. Los costos para la propuesta se dan en base a los metros calculados vistos en la tabla N° 59.

##### **3.4.1.1. Costos tangibles**

Para garantizar un óptimo funcionamiento de la propuesta primero se debe de asegurar un área de terreno adecuada para la instalación de equipos y maquinarias del sistema de tratamiento.

Además, se debe considerar las principales obras de ingeniería civil que se necesitan realizar para la puesta en marcha de la propuesta, las características y costos de inversión de los equipos y maquinas necesarios, el costo de las bombas centrífugas que serán utilizadas para transportar los lodos y la conducción del agua residual a tratar y el motor para la agitación del coagulante.

El conjunto de actividades que involucran las obras de construcción civiles, se dividen principalmente en:

- Estudio topográfico
- Excavación de tierra
- Nivelación del terreno
- Limpieza de terreno
- Construcción de las estructuras de concreto

A continuación, en la tabla 60 se muestra los costos de mano de obra, accesorios y equipos, en la cual se obtuvo un total de \$ 17 268, 47 dólares del costo de inversión tangible para el sistema propuesto (tipo de cambio S/ 3,35).

**Tabla 60. Costos de Inversión Tangible para el proyecto**

DESCRIPCIÓN DE RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
<b>Obras de ingeniería</b>				
Estudio topográfico	Und	1	1050,00	1 050,00
Excavación de tierra	m <sup>2</sup>	516	10,50	5 418,00
Nivelación del terreno	m <sup>2</sup>	516	4,00	2 064,00
Limpieza del terreno	m <sup>2</sup>	516	1,50	774,00
Estructuras de concreto	und	1	1525,00	1 525,00
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>10 831,00</b>
<b>Equipos y/o maquinas</b>				
Bomba centrífuga 2HP	und	7	235,00	1645,00
Compresor	und	1	820,50	820,50
Tanque de lodos	und	1	110,00	110,00
Filtro prensa	und	1	3200,00	3200,00
Agitador para tanque	und	1	42,18	42,18
Motor para agitador	und	1	350,99	350,99
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>6168,67</b>
<b>Accesorios</b>				
Tuberías PVC	Ø = 4''	16	3,75	60,00
Codos	Ø = 4''	10	1,40	14,00
Válvula check	Ø = 4''	4	40,00	160,00
Tee's	Ø = 4''	4	1,20	4,80
Válvulas esféricas	Ø = 4''	2	15,00	30,00
Tuberías PVC	Ø = 2,5''	4	3,75	15,00
Codos	Ø = 2,5''	4	1,40	5,60
Válvula check	Ø = 2,5''	2	40,00	80,00
Tee's	Ø = 2,5''	4	1,20	4,80
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>268,80</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>17 268,47</b>

**3.4.1.2. Costos intangibles**

En la tabla 61 se muestran los costos intangibles para el sistema de tratamiento, aquí se consideraron los controles operativos y de mantenimiento, ya que, según la SUNASS, las

estructuras del sistema de tratamiento deben contemplar la ejecución de programas de limpieza y desinfección como mínimo de 2 veces al año.

También se incluyó el costo de la asesoría técnica requerida para realizar la construcción y los costos de entrenamiento de personal, con el fin de que puedan supervisar el correcto funcionamiento del sistema. Para estos costos se obtuvo un total de \$1 265, 75.

**Tabla 61. Costos de Inversión Intangible**

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL (\$)
Controles operativos y de mantenimiento	485,00
Asesoría técnica	680,00
Gastos de capacitación de personal	100,75
<b>TOTAL</b>	<b>1 265,75</b>

Por lo tanto en la tabla 62 se muestra la inversión total requerida para llevar a cabo el presente proyecto, la cual asciende a la suma de \$19 460,93 calculado a partir de la suma de las inversiones tangibles y las inversiones intangibles.

**Tabla 62. Inversión total para la propuesta**

<b>Inversión Tangible</b>	<b>17 268,47</b>
Obras de ingeniería	10 831,00
Equipos y maquinaria	6168,67
Accesorios	268,80
<b>Inversión Intangible</b>	<b>1 265,75</b>
Asesoría técnica	680,00
Controles operativos y de mantenimiento	485,00
Gastos de entrenamiento de personal	100,75
Imprevistos (4%)	926,711
<b>TOTAL</b>	<b>19 460,93</b>

### 3.4.2. Sanciones y multas por contaminar los recursos hídricos

La entidad encargada de vigilar, fiscalizar la calidad del agua y controlar los vertimientos de aguas residuales tratadas a las empresas, sin un previo tratamiento a un cuerpo receptor y cumpliendo con los límites máximos permisibles, es la Autoridad Nacional del Agua (ANA)

que se basa en la Ley N° 29338 ley de Recursos Hídricos que se describe en el marco de referencia, en el punto 2.2.8.

En la tabla 63 se muestran las sanciones y multas por incumplimiento de la ley, donde la empresa tendría una denuncia grave con una multa de 2 a 5 UIT por efectuar vertimientos de aguas residuales en los cuerpos de agua.

**Tabla 63. Costo por multas de acuerdo a la infracción**

		TIPO DE INFRACCIONES	MULTAS
	Leve	Contaminar las fuentes naturales de agua, superficiales o subterráneas	0,5 – 2 UIT
Denuncias	Grave	Vertimiento de aguas residuales en los cuerpos de agua o efectuar reúso de agua sin autorización de la Autoridad Nacional del Agua	2 – 5 UIT
	Muy grave	Arrojar residuos sólidos a cuerpos de agua natural o artificial	5 – 10 000 UIT

Fuente: Ley 29338

Según lo descrito en la Tabla 63, la empresa tendría que pagar un monto de s/ 21 500 soles (en dólares es un monto de \$ 6 417,91 (con el tipo de cambio S/ 3,35) ya que cada UIT cuesta s/. 4 300.

### 3.4.3. Costos del sistema de tratamiento

#### 3.4.3.1. Costo de energía

Para el cálculo de la energía consumida por el sistema de tratamiento propuesto se tendrá en cuenta la energía que consumen las bombas centrifugas que se instalaran para la conducción del efluente, además de un motor para el homogeneizador y un compresor para el funcionamiento del filtro prensa.

El costo de energía del sistema de tratamiento propuesto se determina mediante la potencia de los equipos a utilizar y el costo actual kW- h de energía para el sector industrial equivalente a \$0,12. En la tabla 64 se muestra el consumo de energía de cada equipo y el costo que genera.

**Tabla 64. Costos por consumo de energía**

EQUIPOS	CONSUMO (kW)	TIEMPO (h/día)	ENERGIA DIARIA (kW/h)	COSTO DE ENERGIA (\$) por kW/h	COSTO TOTAL (\$/día)
Bomba centrífuga del efluente de 2 HP (2x1,49)	2,9828	8	23,862	0,120	2,863
Bomba centrífuga para lodos de 2 HP (3x0,21)	0,63	4	2,520	0,120	0,302
Bomba centrífuga para afluente de 2HP (2x1,49)	2,9828	4	11,931	0,120	1,432
Motor para agitador	0,5	8	4,000	0,120	0,480
Compresor	3,73	2	7,460	0,120	0,895
				<b>TOTAL</b>	<b>5,973</b>

### 3.4.3.2. Costo por tratamiento de efluente

Para el cálculo del costo de energía consumida por el sistema de tratamiento para cada m<sup>3</sup> de efluente tratado se dividió el costo total del consumo de energía (\$ 5,973) entre la cantidad de efluente tratado al día (1911,6 m<sup>3</sup>/día), teniendo un costo de \$0,0031/m<sup>3</sup>. En la tabla 65 se muestra el costo de energía que consumirá el sistema de tratamiento para los años pronosticados.

**Tabla 65. Costos de energía para el sistema propuesto**

AÑO	GENERACIÓN DE EFLUENTE (m <sup>3</sup> /año)	COSTO TOTAL DE TRATAMIENTO (\$/año)
2019	640 741,00	2 002,01
2020	642 465,00	2 007,39
2021	642 938,00	2 008,87
2022	653 563,00	2 042,07
2023	655 509,00	2 048,15
2024	656 189,00	2 050,28
2025	668 566,00	2 088,95
2026	670 982,00	2 096,50
2027	682 025,00	2 131,00
2028	697 734,00	2 180,08

### 3.4.3.3. Costo de insumos

El único insumo utilizado en el sistema de tratamiento es el Cloruro Férrico ( $\text{Cl}_3\text{Fe}$ ), el cual ayudará a un óptimo tratamiento del efluente. Para obtener el costo total por la utilización de este aditivo al año, se consideró que se debe agregar 0,02 kg por cada  $\text{m}^3$  de lodo que ingresa al filtro prensa y que este insumo tiene un costo de \$2,72/kg.

A continuación, en la Tabla 66 se muestra el costo anual del insumo utilizado, en relación a la cantidad de lodo a tratar en el filtro prensa.

**Tabla 66. Costo del aditivo por año**

AÑO	CANTIDAD DE LODO A TRATAR EN FILTRO PRENSA ( $\text{m}^3/\text{año}$ )	COSTO TOTAL ANUAL DE (\$/año)
2019	256,80	1 396,99
2020	259,30	1 410,59
2021	263,50	1 433,44
2022	268,68	1 461,62
2023	271,00	1 474,24
2024	275,21	1 497,14
2025	279,40	1 519,94
2026	281,36	1 530,60
2027	284,15	1 545,78
2028	286,00	1 555,84

### 3.4.3.4. Disposición final del lodo deshidratado

Se propuso vender el residuo para que sea utilizado como material de cobertura en relleno sanitario o como recuperador de suelos.

**Tabla 67. Ingresos por venta del residuo**

<b>AÑO</b>	<b>PRODUCCIÓN DE LADOS (kg/año)</b>	<b>PRECIO DE VENTA (\$/kg)</b>	<b>INGRESOS POR VENTAS (\$/año)</b>
2019	4 823,32	0,50	2 411,66
2020	4 836,30	0,50	2 418,15
2021	4 839,86	0,50	2 419,93
2022	4 919,84	0,50	2 459,92
2023	4 934,49	0,50	2 467,25
2024	4 939,61	0,50	2 469,81
2025	5 032,78	0,50	2 516,39
2026	5 050,96	0,50	2 525,48
2027	5 134,10	0,50	2 567,05
2028	5 252,35	0,50	2 626,18

#### **3.4.4. Análisis costo beneficio de la propuesta**

Para evaluar la rentabilidad del proyecto es necesario utilizar la herramienta costo-beneficio, el cual es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) del proyecto.

En la tabla 68 se muestra la relación costo-beneficio, siendo los ahorros e ingresos parte del beneficio que genera el proyecto. Los costos de inversión tangible, inversión intangible, costos de energía del sistema de tratamiento y costo anual de compra de coagulante forman parte de los costos de la propuesta.

El beneficio costo se empieza a generar desde el cuarto año (\$ 6 923,10), lo cual indica el inicio de la recuperación de la inversión hecha por la empresa. El costo para el desarrollo del proyecto será cubierto por la empresa.

**Tabla 68. Costo Beneficio de la propuesta**

DESCRIPCIÓN	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
<b>BENEFICIOS</b>											
Ahorro de pago por multas por infracción	6417,91	6268,65	6268,65	6268,65	6268,65	6268,65	6268,65	6268,65	6268,65	6268,65	VAI Beneficio
Ingreso por venta de lodo	2 411,66	2 418,15	2 419,93	2 459,92	2 467,25	2 469,81	2 516,39	2 525,48	2 567,05	2 626,18	
<b>TOTAL BENEFICIO</b>	<b>8829,57</b>	<b>8686,80</b>	<b>8688,58</b>	<b>8728,57</b>	<b>8735,90</b>	<b>8738,46</b>	<b>8785,04</b>	<b>8794,13</b>	<b>8835,70</b>	<b>8894,83</b>	
<b>COSTOS</b>											
Costo de energía del sistema de tratamiento	2 002,01	2 007,39	2 008,87	2 042,07	2 048,15	2 050,28	2 088,95	2 096,50	2 131,00	2 180,08	VAC Costo
Costo de inversión	19 460,93										
Costo de Cloruro Férrico	1 396,99	1 410,59	1 433,44	1 461,62	1 474,24	1 497,14	1 519,94	1 530,60	1 545,78	1 555,84	
<b>TOTAL COSTO</b>	<b>22 859,93</b>	<b>3 417,99</b>	<b>3 442,31</b>	<b>3 503,69</b>	<b>3 522,39</b>	<b>3 547,42</b>	<b>3 608,88</b>	<b>3 627,09</b>	<b>3 676,78</b>	<b>3 735,92</b>	
FLUJO	-14 030,36	5 268,81	5 246,27	5 224,88	5 213,51	5 191,04	5 176,16	5 167,04	5 158,92	5 158,90	
FLUJO ACUMULADO	<b>-14 030,36</b>	<b>-8 761,55</b>	<b>-3 515,28</b>	<b>1 709,60</b>	6 923,10	12 114,14	17 290,30	22 457,33	27 616,26	32 775,16	
<b>RELACIÓN COSTO BENEFICIO</b>	<b>1,60</b>										

$$B/C = \$ 87 717,56 / 54 942,41 = \$ 1,60$$

Después del análisis se puede concluir que el proyecto es rentable pues la relación beneficio-costos es mayor a la unidad, por cada dólar invertido la empresa se obtendrá \$0,60 de ganancia en los próximos años.

### 3.4.5. Identificación del impacto ambiental después de la propuesta

El vertimiento de efluentes con alto contenido de sólidos generados en el lavado de filtros y evacuación de lodos retenidos en los sedimentadores según lo evaluado en el primer objetivo es el impacto más importante. Para poder identificar si el sistema de tratamiento propuesto ayuda a disminuir el impacto ambiental se realizó una nueva evaluación.

#### 3.4.5.1. Matriz de identificación y cuantificación de impactos

Con respecto a la primera matriz Leopold, se modificaron los factores ambientales que presentaron mayor impacto, con lo cual el impacto total se reduce de (-222) a (-88) tal como se observa en la Tabla 69.

- **Medio físico**

- ✓ Dentro del componente ambiental AIRE el factor “nivel de olor” disminuye a (-8), el “nivel de ruido” se mantiene en (-10) y gases y partículas en (-4). Debido a esto, el impacto por componente disminuye de (-42) a (-22).
- ✓ Dentro del componente ambiental AGUA los factores que disminuyen son la “calidad de fuentes de agua” (-4) y “generación de efluentes” (-8), por lo que su impacto se reduce de (-162) a (-52).
- ✓ Con la nueva propuesta el impacto ambiental en este sistema se redujo de (-246) a (-116).

- **Medio biológico**

- ✓ Dentro del componente ambiental PAISAJE el factor “Impacto visual” disminuye de (-6) a (-2).
- ✓ El impacto ambiental en este sistema decreció de (-10) a (-6).

Tabla 69. Matriz de Leopold después de la propuesta

SISTEMA	COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIONES		PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACIÓN DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	PROMEDIO ARITMÉTICO	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO POR SISTEMA	IMPACTO TOTAL
		FACTORES AMBIENTALES									
MEDIO FÍSICO	AIRE	Nivel de olor		-2/2	-2/2			-8	-22	-116	-88
		Nivel de ruido	-2/2				-2/3	-10			
		Gases y partículas		-1/2	-1/2			-4			
	SUELO	Residuos sólidos u orgánicos	-3/4				-2/2	-16	-42		
		Lixiviados					-3/2	-6			
		Calidad del suelo		-2/4	-3/4			-20			
	AGUA	Calidad de fuentes de agua		-1/2	-1/2			-4	-52		
		Generación de efluentes		-2/2	-2/2			-8			
		Consumo de agua		-4/5	-4/5			-40			
MEDIO BIOLÓGICO	FLORA	Alteración de la vegetación	-1/2				-2	-4	-6		
		Estructura y composición		-1/1	-1/1		-2				
	PAISAJE	Impacto visual		-1/1	-1/1		-2	-2			
MEDIO SOCIO ECONÓMICO	POBLACIÓN	Seguridad		-2/3	-2/2	-1/2	-12	18	34		
		Calidad de vida	4/4	-1/2	-1/2		12				
		Salud pública	4/6	-1/2	-1/2	-1/2	18				
	ECONOMÍA	Nivel de empleo	2/2	2/2	2/2	2/2	16				
<b>PROMEDIOS POSITIVOS</b>				44	4	4	4	56			
<b>PROMEDIOS NEGATIVOS</b>				-18	-52	-54	-20	-144			
<b>PROMEDIOS ARITMÉTICOS</b>				26	-48	-50	-16	-88			

Fuente: [25]

#### IV. CONCLUSIONES

1. Los efluentes de la empresa potabilizadora de agua generan un impacto ambiental negativo sobre el Canal Cois ya que los análisis físicos químicos realizados, indicaron que los efluentes, excedían los límites máximos permisibles para vertimientos a un cuerpo receptor donde el DBO tenía 300 mg/L, los SST 720 mg/L y la DQO 480 mg/L. También se identificaron los impactos que genera la empresa al medio ambiente mediante la matriz de Leopold, dando como resultado un total de -222, del cual los factores de mayor impacto fueron la generación de efluentes y la calidad de las fuentes de agua.
2. La evaluación y selección del tratamiento, se realizó en base a las características, ventajas, desventajas y remoción de los sólidos suspendidos totales para que luego, a través del método de factores ponderados se obtenga el tratamiento que permita disminuir en mayor cantidad, donde se encontró que se debía realizar el espesamiento de los lodos por gravedad y la deshidratación de los lodos mediante un filtro prensa.
3. El diseño del tratamiento del sistema se basó en 4 etapas: primero la homogeneización del efluente, luego la sedimentación; seguido del espesamiento y finalmente la deshidratación.
4. Para el análisis costo beneficio se estimaron los gastos generados para la implementación del sistema de tratamiento, las multas por verter efluentes sin un previo tratamiento y el ingreso por la venta del residuo para uso en relleno sanitario. El costo total para los 10 años proyectados es de \$ 54 942,41 y el beneficio de \$ 87 717,56. La relación de B/C fue de \$ 1,60 lo cual indica que el proyecto es rentable para la empresa por que reducirá las multas y obtendrá ingresos por la venta del lodo deshidratado que produce. Aunque el tiempo de recuperación de la inversión a realizar será en el cuarto año (2023), lo más importante es que contribuirá a minimizar el impacto ambiental y cuidar las fuentes de agua de la ciudad.

## V. RECOMENDACIONES

1. Hacer un seguimiento de la calidad del efluente utilizando análisis físicos-químicos, análisis microbiológicos, turbidez y temperatura y además realizar más estudios para su tratamiento con la finalidad de poder contar con más opciones aplicables y así poder minimizar los impactos negativos que estos pueden ocasionar a las fuentes de agua y/o medio ambiente.
2. Realizar una investigación con la finalidad de determinar si es posible la reutilización del agua que sale del proceso de tratamiento planteado, ya que esto permitiría aprovechar el recurso hídrico al máximo.
3. Elaborar un Plan de Manejo Ambiental detallado que permita una eficiente gestión de residuos los sólidos generados por la empresa y de esta manera disminuir el impacto negativo al suelo. Además, este debe podría incluir las recomendaciones de prevención, control, mitigación y compensación que deben ser llevadas a cabo en la Planta con la finalidad de que sus actividades sean ambientalmente positivas.
4. Aplicar los conocimientos académicamente adquiridos sobre Seguridad y Salud Ocupacional y contribuir con la implementación y gestión de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en esta empresa, contribuyendo de manera directa con la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales y reduciendo el impacto negativo respecto al medio socio económico.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. N. d. E. e. Informática, «Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales,» 2015.
- [2] J. Gutiérrez, A. Ramirez, R. Rivas y D. Linares, «Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua,» *Ingenierías: Universidad de Medellín*, vol. 53, pp. 13-27, 2014.
- [3] A. Amador, E. Veliz y M. Bataller, «Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones,» *CENIC Ciencias Químicas*, vol. 46, pp. 1-10, 2015.
- [4] T. Ahmad, K. Ahmad y M. Alam, «Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options,» *Procedia Environmental Science*, vol. I, nº 35, pp. 950-955, 2016.
- [5] C. García, «Tratamiento de efluentes para la planta de potabilización Los Cuervos,» tesis de maestría en Ingeniería Ambiental, Colombia, 2014.
- [6] A. Kelessidiss y A. Stasinakis, «Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries,» *Waste Management*, vol. VI, pp. 86-95, 2012.
- [7] F. Acuña y S. Ignacio, «Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile,» Trabajo de fin de grado, Universidad de Chile, Chile, 2015.
- [8] G. Ahumada, «Apunte del curso "Procesos de Tratamiento de Aguas",» Universidad de Chile, 2012.
- [9] N. Z. W. a. W. A. (NZWWA), «Management of Water Treatment Plant Residuals,» Nueva Zelanda, 1998.
- [10] L. Sandoval, A. Martin, M. Piña y L. Montellano, «Estudio piloto para reducir el volumen de los lodos de plantas potabilizadoras,» 1997.
- [11] D. Cornwell y J. Sussan, «Characteristics of Acid Treated Alum Sludges,» *Journal AWWA*, vol. X, nº 71, pp. 604-608, 1979.
- [12] C. Marín Gil, *Determinación de la dosis óptima de lodos aluminosos para ser utilizadas en el proceso de coagulación en aguas residuales provenientes del sector sur de la comuna del café - Parque Industrial, Pereira*, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
- [13] J. Rojas, «Tratamiento de Aguas Residuales,» Teoría y Principios de Diseño, 2004.
- [14] A. Hernández, Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales, Madrid: Ibergarceta Publicaciones S.L., 2015.
- [15] F. Astudillo Córdova y L. Bermeo Barros, «Diseño de un sistema automatizado de secado, almacenamiento y despacho de lodos deshidratados de la planta de tratamiento de agua potable SUSTAG y simulación mediante un software especializado,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2011.

- [16] M. A. Ralgosa Restrepo, «EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS PROVENIENTES de las plantas de potabilización de agua de los municipios del departamento de Risaralda mediante el análisis costo - beneficio,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2012.
- [17] E. Moretón, *Filtración de Lodos Industriales*, España: Máster en Ingeniería Ambiental y Gestión del Agua, 2007.
- [18] F. Ramirez Quiroz, «Lodos producidos en el tratamiento de agua potable,» *Tecnica Industrial*, vol. I, nº 275, pp. 47-52, 2008.
- [19] M. V. Martinez Cordova, «Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final de lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable,» Escuela Politécnica Nacional , Quito, 2012.
- [20] M. Cordova Padilla, *Formulación y Evaluación de Proyectos*, Segunda ed., Bogotá: Ecoe - Ediciones, 2013.
- [21] *LEY 29338-LEY DE RECURSOS HIDRICOS*, 2009.
- [22] *Decreto Supremo N° 001-2015-Vivienda , Construcción y Saneamiento*, 2015.
- [23] I. Español Echániz, «HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL,» PROBIDES, Rocha, 2002.
- [24] H. Rodriguez, *Estudios de Impacto Ambiental. Guía Metodológica*, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005.
- [25] A. Garmendia, A. Salvador, C. Crespo y L. Garmendia, *Evaluación de Impacto Ambiental*, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A., 2010.
- [26] G. Espinoza, «GESTIÓN Y FUNDAMENTOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL,» ANDROS impresores, Santiago , 2002.
- [27] J. Rodriguez, «Propuesta Metodológica para tratamiento de lodos provenientes de la Planta de Potabilización en la Sabana de Bogotá,» Proyecto de fin de grado, Bogotá, 2013.
- [28] A. Aldana y R. Perez, «Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en la PTAP El Espinal - Tolima,» Universidad de la Salle , Bogotá, 2017.
- [29] I. Gonzales, «Generación, Caracterización y Tratamiento de lodos de EDAR,» tesis doctoral, Universidad de Cordova, Córdoba, 2016.
- [30] L. Cicero, A. Nieto y S. Revilla, «Estudio Potabilización de Agua: Condiciones Ambientales y Laborales,» Comisiones Obreras de Cantabria, Cantabria, 2010.
- [31] B. Romero, «Impactos Ambientales Significativos Generados por las Acequias Cois, Pulen y Yortuque de la Ciudad de Chiclayo, Peru: Propuesta de un Plan de Mitigación,» *The Biologist*, vol. VIII, nº 2, pp. 150-163, 2010.
- [32] R. Helmer y I. Hespanol, «Control de la contaminación del agua,» CEPIS, OPS, OMS, Lima, 199.

- [33] J. Portocarrero, J. Pisfil y R. Melendez, «Prospectiva Territorial de Lambayeque al 2030,» Chiclayo, 2017.
- [34] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, «Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización,» Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Lima, 2005.
- [35] A. INGNOVA, *Diseño de EDAR en pequeñas poblaciones*, 2010.
- [36] J. Suarez y A. Jacome, *Espesamiento de fangos de estaciones depuradoras de aguas residuales*, Coruña: Universidad de Coruña, 2007.
- [37] H. a. S. I. A. y. Científicos, *Espesamiento de Lodos*, Dinamarca, 2011.
- [38] J. Arundel, *Tratamiento de Aguas Negras y Efluentes Industriales*, Segunda ed., España: Gamma, 2002, p. 133.
- [39] D. Araque y L. Monsalve, «Evaluación de alternativas para el manejo y disposición final de los lodos generados en la planta de potabilización del Municipio de Melgar - Tolima,» Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario, Bogotá, 2018.
- [40] C. García, «Tratamiento de Efluentes para la Planta de Potabilización Los Cuervos,» Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2014.
- [41] N. C. C. Camacho, «Tratamiento de agua para consumo,» *Ingeniería Industrial*, vol. I, nº 29, pp. 153-170, 2011.
- [42] M. d. Salud, «Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano,» Dirección General de Salud Ambiental, Lima, Perú, 2011.
- [43] J. M. Collogo Flores, «Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio,» *DYNA*, vol. 78, nº 165, pp. 18-27, 2011.
- [44] J. R. Nuñez y M. Peña, *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P. y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante*, Cartagena: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Química, 2011.
- [45] C. Lowy, «*La Voz del interior*» en *Conferencia. El ambiente y problemas ambientales*, Córdoba, 2012.
- [46] M. Collar, B. Teychene y L. Lemée, «Comparison of three different wastewater sludge and their respective drying processes: Solar, thermal and reed beds and the Impact on organic matter characteristics,» *Journal of Environmental Management*, vol. II, pp. 60-67, 2016.
- [47] D. Sbarato, J. Ortega y V. Sbarato, *Planificación y Gestión de los estudios de Impacto Ambiental*, Argentina, 2010.
- [48] F. N. d. Ambiente, «Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residual en el Perú,» Fondo nacional del ambiente, Perú, 2010.

- [49] Norma OS.090-Plantas de tratamiento de aguas residuales, 2009.
- [50] S. Carrasquero, K. Terán, M. Mas, G. Colina y A. Díaz, «Evaluación de un tratamiento fisicoquímico en efluentes provenientes del lavado de vehículos para su reutilización,» *Revista Arbitrada Venezolana*, vol. 10, nº 2, pp. 122-139, 2015.
- [51] A. A.-G. e. al, «Treatment of Wastewater from car Washes Using Natural Coagulation and Filtration System,» *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, p. 136, 2016.
- [52] S. A. Chuchón Martínez y C. A. Aybar Escobar , «Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La totora", Ayacucho, Peru,» *Ecología Aplicada*, vol. 7, nº 1-2, pp. 165-171, 2008.
- [53] E. Rocha Castro, «Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas,» Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, 2010.
- [54] G. Soto Alvarez y M. Soto Benavidez, «Desalación de agua de mar mediante sistema de osmosis inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Islas Damas, Región de Coquimbo,» Centro del Agua para Zonas Áridas y semiáridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC), Coquimbo, 2013.
- [55] Environmental Protection Agency, «Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Desinfección con ozono,» Market Street, Philadelphia, 2002.
- [56] A. P. Restrejo Mejía, A. Arango Ruiz y L. F. Garces Giraldo, «La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas,» *Producción + Limpia*, vol. 1, nº 2, pp. 58-77, 2006.
- [57] R. Zanetti , R. Etchepare y J. Rubio , «More Environmentally Friendly vehicle washes: Water reclamation,» *Journal of Cleaner production*, vol. 37, pp. 115-124, 2012.
- [58] S. Ramalho Rubens, Tratamiento de aguas residuales, Barcelona: Editorial Reverté, 2013.
- [59] B. Svensson, L. Mathiasson, L. Martensson y P. Kangsepp, «Evaluation of filter Material for treatment of Different Types of Wastewater,» *Journal of Environmental protection*, vol. 2, nº 7, pp. 888-894, 2012.
- [60] H. Janik y A. Kupiec, «Trends in modern car washing,» *Polish J, of Environ, Stud*, vol. 16, nº 6, pp. 927-931, 2007.
- [61] E. Rocha Castro, «Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas,» Universidad Autónoma de Chihuahua, España, 2010.
- [62] J. M. Ortega, «La Osmosis Inversa como Proceso de Potabilización en España,» de *XXII CONGRESO DE CENTROAMERICA Y PANAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL " SUPERACION SANITARIA Y AMBIENTAL: EL RETO"*, Tegucigalpa, 2001.
- [63] J. Moscoso y T. Alfaro, «Panorama de experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales en lima metropolitana y callao,» Promoción del desarrollo sostenible, Lima, 2015.

- [64] FluidMix Effective Mixing, «FluidMix effective Mixing,» FluidMix effective Mixing, 22 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.agitadoresfluidmix.com/agitador-industrial-vhs/>. [Último acceso: 22 Octubre 2018].
- [65] Carbotecnia, «Carbotecnia,» 22 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/producto/equipo-de-carbon-activado-8-x-40/>. [Último acceso: 22 Octubre 2018].

## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Determinación del volumen de los lodos de la PTAP

$S = 86,4 * Q ( 0,44 Al + SS + A )$							
	K	k	Q	Al	SS	A	S
	Constante 1	Constante 2	Caudal de ingreso (m <sup>3</sup> /s)	Dosis de Aluminio (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)	Otros aditivos (mg/L)	Lodos producidos (kg/día)
Enero	86,40	0,44	0,5480	18,00	3,87	0,00	561,79
Febrero	86,40	0,44	0,5800	15,26	2,96	0,00	488,03
Marzo	86,40	0,44	0,5820	9,96	2,11	0,00	328,30
Abril	86,40	0,44	0,6010	12,20	3,38	0,00	456,61
Mayo	86,40	0,44	0,5610	24,00	11,06	0,00	1 052,74
Junio	86,40	0,44	0,5870	15,90	6,37	0,00	681,28
Julio	86,40	0,44	0,6030	18,65	4,88	0,00	685,48
Agosto	86,40	0,44	0,5540	12,00	3,33	0,00	414,58
Septiembre	86,40	0,44	0,5960	7,75	3,09	0,00	336,14
Octubre	86,40	0,44	0,5440	6,27	3,22	0,00	282,04
Noviembre	86,40	0,44	0,5460	28,46	3,84	0,00	777,10
Diciembre	86,40	0,44	0,5400	14,00	3,41	0,00	449,11

## **Anexo 2. Procedimiento para medición de pH - Método electrométrico**

### **1. Objetivo y principio del análisis**

El objetivo del método es determinar el valor de pH de muestras de agua potable y residuales que se obtiene por medidas potenciométricas usando un electrodo de vidrio. El pH se define como el logaritmo del inverso de la concentración de iones de hidrógeno y representa el grado de alcalinidad o acidez de una solución.

En las aguas crudas el pH tiene un valor óptimo en el cual se logra una mejor coagulación. En las aguas tratadas, se relacionan los valores del pH con los de Alcalinidad para conocer mediante la curva de Baylis la calidad corrosiva o incrustante del agua.

### **2. Interferencias**

Los iones sodio causan interferencias cuando se miden pH altos, por la baja actividad del ión hidrógeno. A pH menores de 12 el error es insignificante, debido a que la membrana del electrodo está compuesta por un vidrio especial que arroja bajo error, sin embargo, a pH mayores que 12 se debe agregar un valor de corrección.

### **3. Rango de trabajo**

El rango de trabajo de pH es de 0 a 14

### **4. Reactivos**

- a) Soluciones Buffer Certificados de pH 4.01, 7.00 y 10.00
- b) Solución de EDTA, 0.1M: Pesar 37.2 g de la sal sólida de dietil-tetramino acético, disolver y diluir a 1 litro con agua destilada.
- c) Acido clorhídrico, HCl, 0.1M: Medir 8.5ml de HCl concentrado y diluir a 1 litro con agua destilada.

### **5. Materiales**

- a) Vasos de 150 ml.

### **6. Equipos**

- a) pH meter CG 840
- b) Electrodo combinado de pH.

### **7. Procedimiento**

Preparación del electrodo de pH.

7.1 El electrodo de pH consta de las siguientes partes:

- a) Cámara interna
- b) Orificio de llenado
- c) Electrodo de referencia
- d) Unión de referencia
- e) Bulbo sensor de pH

- 7.2 Limpiar el bulbo con agua destilada. Llenar el electrodo por el orificio de llenado con la solución electrolítica de  $KCl_3$  mol/L, el nivel de llenado debe encontrarse una pulgada por encima del nivel de la muestra. Agitar el electrodo como un termómetro clínico, para remover las burbujas de aire.
- 7.3 Almacenamiento del electrodo.  
El electrodo de pH debe almacenarse en 200 ml de solución buffer de pH 7 al cual se agregó 1 g de KCl.
- 7.4 Limpieza del electrodo  
Para eliminar sales inorgánicas, sumergir el electrodo en una solución ácida de HCl 0.1 M por 30 minutos. Luego enjuagar con agua destilada y sumergir el electrodo en una solución de EDTA 0.1 M por 15 minutos.
- 7.5 Para eliminar los residuos de aceites y grasas, sumergir el electrodo en metanol por 30 minutos.
- 7.6 Para eliminar residuos de proteínas, sumergir el electrodo en una solución de hipoclorito de sodio al 10% por 5 minutos.
- 7.7 Después de realizar algún procedimiento de limpieza, drenar la solución interna y rellenar la cámara con solución electrolítica.

## 8. Medición

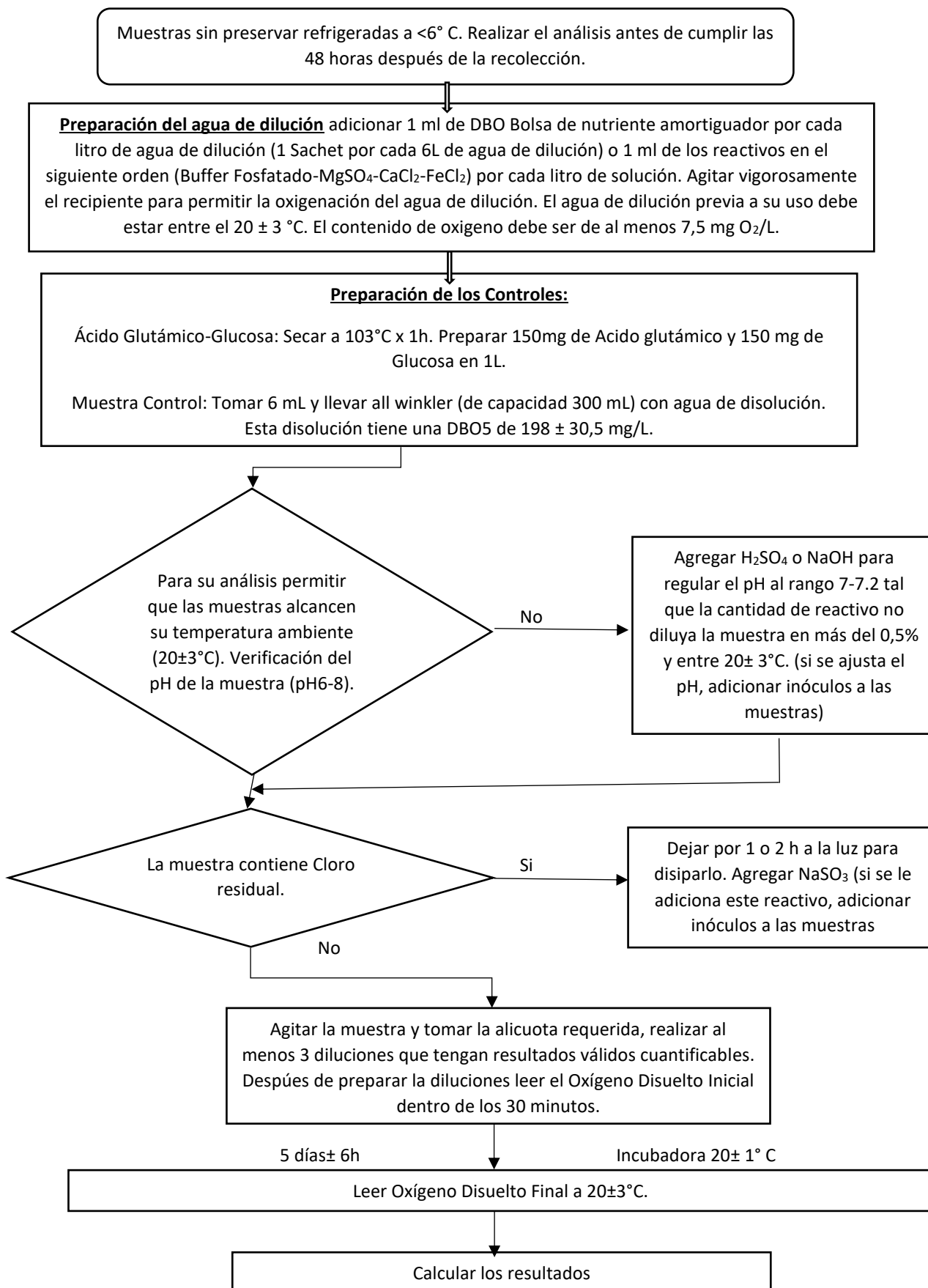
Calibración de pH usando 2 buffer

- Sumergir el electrodo en la primera solución tampón y oprimir la respectiva tecla de valor de pH. En la pantalla aparecen << Cal >>, <<WAIT>>, <<P1>> y el respectivo valor. Cuando está identificada la solución tampón, el indicador <<WAIT>> es intermitente; tan pronto como el valor se ha estabilizado, se apaga <<WAIT>>. El indicador <<P2>> intermitente invita a continuar con la calibración.
- El electrodo se enjuaga con agua destilada y se repite el proceso con la segunda solución tampón. Cuando el medidor de valor-Ph ha asumido la calibración aparece <<CAL>> y <<OK>>, luego el punto cero del electrodo en <<pH>> y la pendiente en <<%>>. Ahora se encuentra preparado el medidor de valor – pH con el electrodo para la medición. Si se desea que aparezcan el punto cero y la pendiente en forma repetida, es necesario oprimir una de las teclas de valor de tamponamiento y luego la tecla <<pH>>.

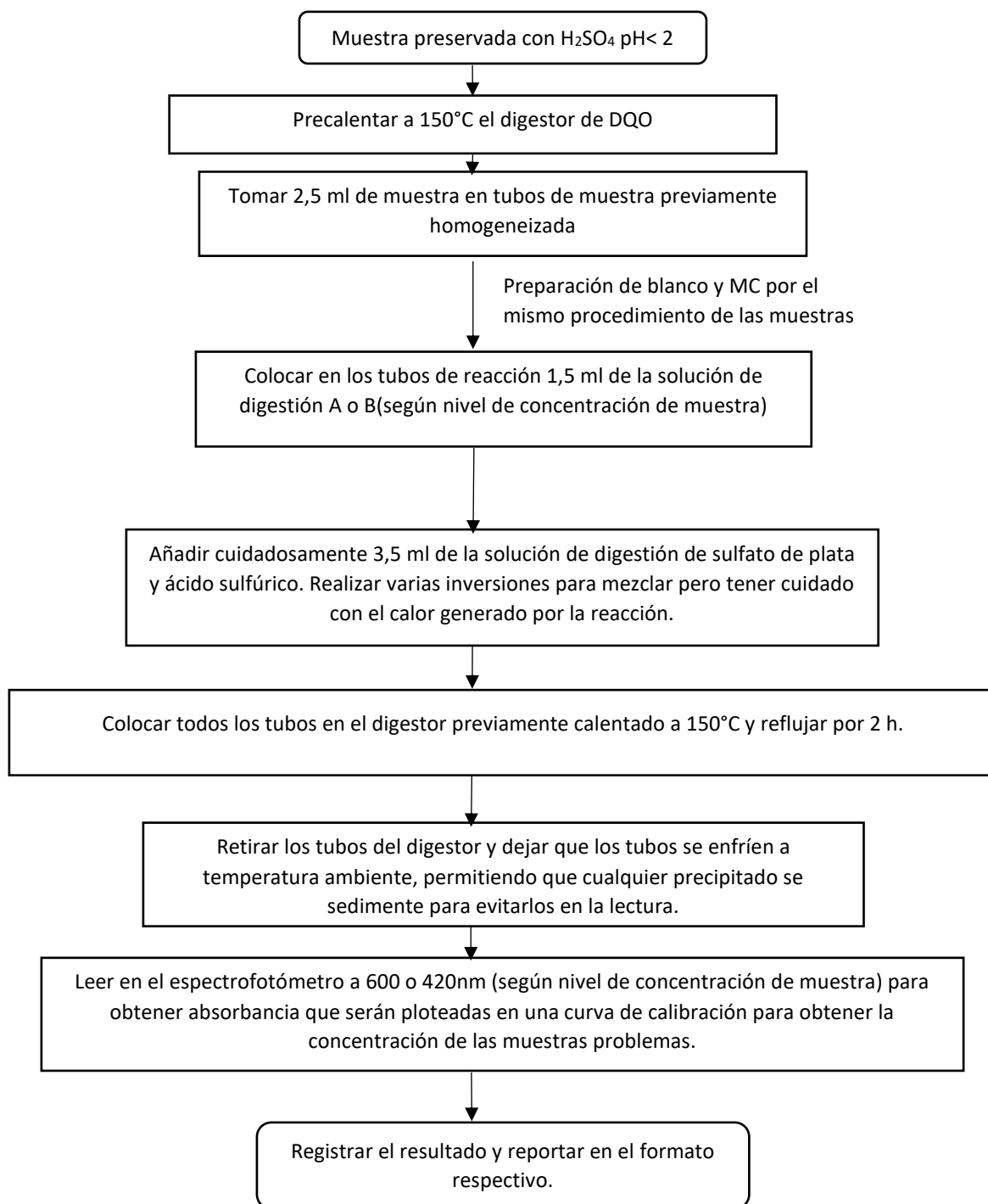
## 9. Referencias

- Standard Methods for the examination of Water and Waster, 19 th Edition 95.
- Manual de Procedimientos de análisis de agua de Sunass. Vol- 1. 1998.

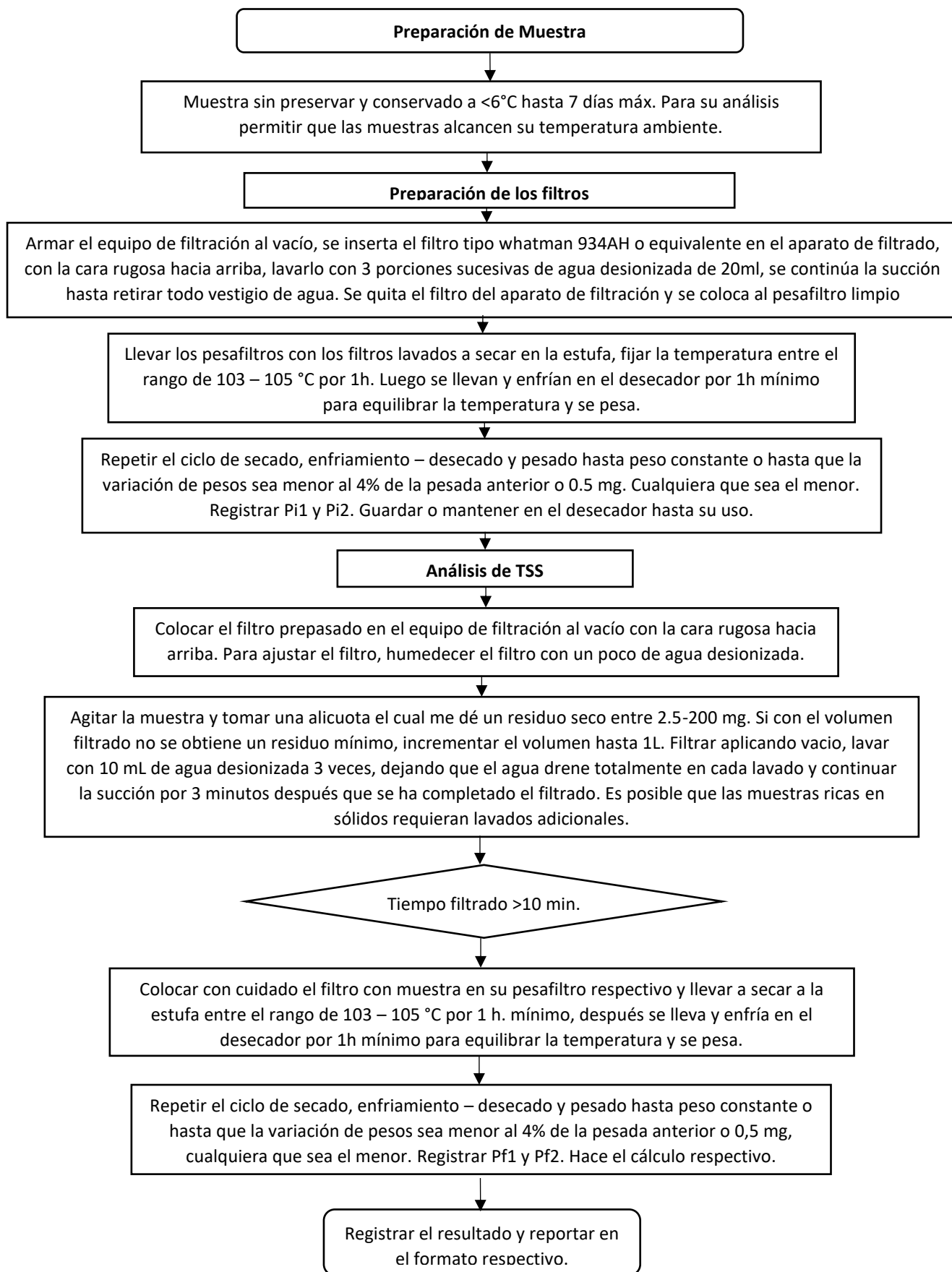
### Anexo 3. Procedimiento para análisis de DBO<sub>5</sub>



#### Anexo 4. Procedimiento para análisis de DQO



## Anexo 5. Procedimientos para análisis de Sólidos Suspendidos Totales



### Anexo 6. Valoración de los impactos

#### 1) Valoración del aire

FACTORES AMBIENTALES CONSIDERADOS		ACCIONES			
		PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACIÓN DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
AIRE	Nivel de olor		CI (-) IN = 2 EX = 2 MO = 4 PE = 2 RV = 1 SI = 2 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 4 IM = -30 <b>Moderado</b>	CI (-) IN = 2 EX = 2 MO = 4 PE = 2 RV = 1 SI = 2 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 4 IM = -30 <b>Moderado</b>	
	Nivel de ruido	CI (-) IN = 2 EX = 1 MO = 4 PE = 1 RV = 2 SI = 2 AC = 1 EF = 4 PR = 4 MC = 1 IM = -27 <b>Moderado</b>			CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 4 PE = 1 RV = 2 SI = 2 AC = 1 EF = 4 PR = 4 MC = 1 IM = -24 <b>Compatible</b>
	Gases y partículas		CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 4 PE = 1 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -23 <b>Compatible</b>	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 4 PE = 1 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -23 <b>Compatible</b>	

## 2) Valoración del suelo

FACTORES AMBIENTALES CONSIDERADOS		ACCIONES			
		PRODUCCION DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACION DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
SUELO	Residuos sólidos u orgánicos	CI (-) IN = 2 EX = 2 MO = 4 PE = 2 RV = 4 SI = 2 AC = 1 EF = 4 PR = 4 MC = 1 IM = -32 <b>Moderado</b>			CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 4 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 1 IM = -24 <b>Compatible</b>
	Lixiviados				CI (-) IN = 1 EX = 2 MO = 1 PE = 2 RV = 4 SI = 2 AC = 1 EF = 4 PR = 4 MC = 4 IM = -29 <b>Moderado</b>
	Calidad del suelo		CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 2 PE = 2 RV = 2 SI = 2 AC = 4 EF = 4 PR = 4 MC = 2 IM = -27 <b>Moderado</b>	CI (-) IN = 1 EX = 2 MO = 2 PE = 2 RV = 2 SI = 2 AC = 4 EF = 4 PR = 4 MC = 2 IM = -29 <b>Moderado</b>	

## 3) Valoración del agua

FACTORES AMBIENTALES CONSIDERADOS		ACCIONES			
		PRODUCCION DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACION DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
AGUA	Calidad de fuentes de agua		CI (-) IN = 4 EX = 2 MO = 4 PE = 4 RV = 4 SI = 1 AC = 4 EF = 4 PR = 4 MC = 4 IM = -45 <b>Moderado</b>	CI (-) IN = 4 EX = 2 MO = 4 PE = 4 RV = 4 SI = 1 AC = 4 EF = 4 PR = 4 MC = 4 IM = -45 <b>Moderado</b>	
	Generación de efluentes		CI (-) IN = 8 EX = 1 MO = 4 PE = 4 RV = 4 SI = 1 AC = 4 EF = 4 PR = 4 MC = 4 IM = -55 <b>Severo</b>	CI (-) IN = 8 EX = 1 MO = 4 PE = 4 RV = 4 SI = 1 AC = 4 EF = 4 PR = 4 MC = 4 IM = -55 <b>Severo</b>	
	Consumo de agua		CI (-) IN = 4 EX = 2 MO = 1 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 4 IM = -35 <b>Moderado</b>	CI (-) IN = 4 EX = 2 MO = 1 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 4 IM = -35 <b>Moderado</b>	

## 4) Valoración de la flora y paisaje

FACTORES AMBIENTALES CONSIDERADOS		ACCIONES			
		PRODUCCION DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACION DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
FLORA	Alteración de la vegetación	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 2 PE = 1 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 1 MC = 2 IM = -16 <b>Compatible</b>			
	Estructura y composición		CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 1 PE = 2 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 1 MC = 1 IM = -15 <b>Compatible</b>	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 1 PE = 2 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 1 MC = 2 IM = -16 <b>Compatible</b>	
PAISAJE	Impacto visual		CI (-) IN = 2 EX = 1 MO = 4 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 4 MC = 2 IM = -27 <b>Moderado</b>	CI (-) IN = 2 EX = 1 MO = 4 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 4 MC = 2 IM = -27 <b>Moderado</b>	

## 5) Valoración de la población

FACTORES AMBIENTALES CONSIDERADOS		ACCIONES			
		PRODUCCION DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACION DE LODOS DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
POBLACIÓN	Seguridad		CI (-) IN = 2 EX = 2 MO = 2 PE = 2 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -25	CI (-) IN = 2 EX = 2 MO = 2 PE = 2 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -25	CI (-) IN = 2 EX = 2 MO = 2 PE = 2 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 2 IM = -23
			Moderado	Moderado	Compatible
	Calidad de vida	CI (+) IN = 4 EX = 2 MO = 4 PE = 4 RV = 2 SI = 1 AC = 4 EF = 1 PR = 4 MC = 2 IM = 38	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 2 PE = 4 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 4 IM = -25	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 2 PE = 4 RV = 2 SI = 1 AC = 1 EF = 4 PR = 2 MC = 4 IM = -25	
	Medio	Moderado	Moderado		
	Salud publica	CI (+) IN = 4 EX = 1 MO = 4 PE = 2 RV = 4 SI = 2 AC = 4 EF = 4 PR = 2 MC = 2 IM = 38	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 1 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -21	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 1 PE = 2 RV = 4 SI = 1 AC = 1 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -21	CI (-) IN = 1 EX = 1 MO = 1 PE = 2 RV = 4 SI = 2 AC = 4 EF = 1 PR = 2 MC = 4 IM = -21
	Medio	Compatible	Compatible	Compatible	

### 6) Valoración económica

FACTORES AMBIENTALES CONSIDERADOS		ACCIONES			
		PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE	LAVADO DE FILTROS	EVACUACIÓN DE Lodos DE SEDIMENTADORES	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS
ECONOMÍA	Nivel de empleo	CI (+)	CI (+)	CI (+)	CI (+)
		IN = 2	IN = 2	IN = 2	IN = 2
		EX = 2	EX = 2	EX = 2	EX = 2
		MO = 2	MO = 1	MO = 1	MO = 2
		PE = 4	PE = 2	PE = 2	PE = 4
		RV = 4	RV = 4	RV = 4	RV = 4
		SI = 1	SI = 1	SI = 1	SI = 1
		AC = 4	AC = 4	AC = 4	AC = 4
		EF = 4	EF = 4	EF = 4	EF = 4
		PR = 1	PR = 1	PR = 1	PR = 1
		MC = 1	MC = 2	MC = 2	MC = 1
		IM = 31	IM = 29	IM = 29	IM = 31
		Medio	Medio	Medio	Medio

## Anexo 7. Ficha técnica de bomba centrífuga

## Centrífugas

- Máxima profundidad: 8 m
- Tensión: 120 V
- Frecuencia: 60 Hz



**Motor con bobinas de COBRE**

**2x** Mayor durabilidad



**Capacitor** mayor potencia al arranque



**Impulsor** de latón



**Balero** metálico



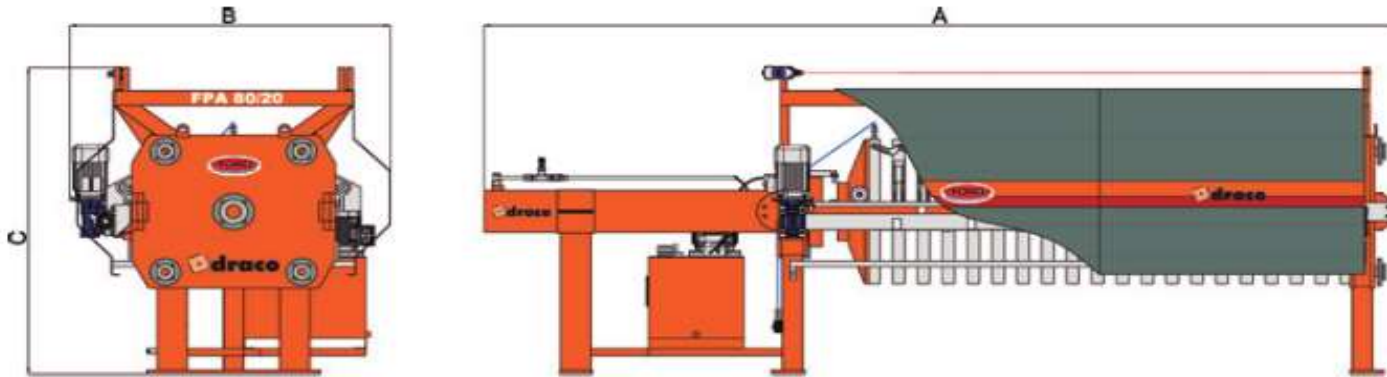


2 HP

<b>Código:</b>	<b>10066</b>
Clave:	<b>BOAC-2</b>
<b>Flujo máximo:</b>	<b>190 L/min</b>
<b>Altura máxima:</b>	<b>42 m</b>
Ø Entrada / salida:	1 1/2 NPT / 1 NPT
Ciclo de trabajo:	<b>50 min. de trabajo x 20 min. de descanso</b>
Máximo diario:	<b>6 Horas</b>
Dimensiones:	B 21 x A 26 x F 37 cm
Peso:	19.6 kg
Empaque:	<b>CAJA 1</b>

## Anexo 8. Ficha técnica de filtro prensa

## Especificaciones Técnicas FPA (Ejecución cerrada y abierta)



MODELO	Nº de placas	Nº de cámaras	Longitud mm (A)	Anchura mm (B)	Altura mm (C)	Peso en vacío (Kg)	Peso en carga (Kg)	Superficie filtrante total (m <sup>2</sup> )	Volumen torta total FP (l)	Tamaño placas y telas
FPA 47/	5	4	1.455	1.167	1.396	660	688	1,5	21	470
	10	9	2.330	1.167	1.396	800	860	3,3	47	470
	15	14	3.170	1.167	1.396	940	1.035	5,2	73	470
	20	19	4.030	1.167	1.396	1.100	1.230	7,0	98	470
	25	24	4.910	1.167	1.396	1.260	1.420	8,9	124	470
	30	29	5.775	1.167	1.396	1.410	1.605	10,7	150	470
Caudal bomba (l/m): 6,8    Volumen depósito (l): 30    Potencia: 3 Kw    Calculado para un espesor de torta de: 32 mm										
FPA 63/	10	9	2.415	1.350	1.508	1.380	1.490	5,9	85	630
	15	14	3.270	1.350	1.508	1.500	1.670	9,1	132	630
	20	19	4.145	1.350	1.508	1.620	1.850	12,4	179	630
	25	24	5.030	1.350	1.508	1.780	2.080	15,6	226	630
	30	29	6.200	1.350	1.508	1.900	2.250	18,9	273	630
	Caudal bomba (l/m): 12+4    Volumen depósito (l): 55    Potencia: 2,2 Kw    Calculado para un espesor de torta de: 32 mm									
FPA 80/	15	14	3.565	1.585	1.700	2.500	2.790	15,3	224	800
	20	19	4.475	1.585	1.700	2.730	3.125	20,7	305	800
	25	24	5.535	1.585	1.700	2.970	3.470	26,2	385	800
	30	29	6.295	1.585	1.700	3.100	705	31,6	465	800