

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES Y SU REUTILIZACIÓN EN LA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL TUMÁN S. A. A. PARA DISMINUIR LOS COSTOS
DE PRODUCCIÓN**

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

AUTOR

OSWALDO RAMIREZ CHACON

ASESOR

DIANA PECHE CIEZA

<https://orcid.org/0000-0002-1787-9758>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES Y SU REUTILIZACIÓN EN LA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL TUMÁN S. A. A. PARA DISMINUIR LOS
COSTOS DE PRODUCCIÓN**

PRESENTADA POR:

OSWALDO RAMIREZ CHACON

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

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR:

Annie Mariela Vidarte Llaja
PRESIDENTE

William Enrique Escribano Siesquen
SECRETARIO

Diana Peche Cieza
VOCAL

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a:

Mi familia y esposa Karina Chávez Asenjo quien siempre estuvo a mi lado preocupándose por mí en cada momento, queriendo siempre lo mejor para mi porvenir, que junto a mis adorados hijos Dariana, Milán y Mateo fueron el pilar principal para poder culminar con éxito este gran paso.

A la familia Ramírez Chacón, a mi padre, madre, hermanos y sobrinos por su incondicional y continuo apoyo de manera voluntaria, contribuyeron en la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la vida y la gran familia que tengo.

A mi asesora Ing. Diana Peche Cieza por su continuo apoyo y paciencia en la realización de esta tesis y también a mis profesores por toda su enseñanza.

A los profesionales y trabajadores de la Empresa Agroindustrial Tumán S. A. A. quienes con su gran aporte, permitieron concretar el desarrollo de la misma.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Bases teóricas científicas	17
2.2.1. Aguas residuales	17
2.2.1.1. Tipos de aguas residuales	17
2.2.2. Parámetros de calidad de los efluentes	18
2.2.3. Sistemas de tratamiento de efluentes	23
2.2.4. Límites Máximos Permisibles (LMP)	37
2.2.5. Norma Técnica Peruana S90	37
2.2.6. Metodologías aplicables para la identificación y valoración de impactos Ambientales	38
2.2.7. Método de Ponderación de Factores	42
2.2.8. Diseño de medidor de caudal	44
III. RESULTADOS	46
3.1. Cuantificar y determinar la caracterización de las aguas residuales	46
3.1.1. La empresa	46
3.1.2. Descripción del proceso productivo	46
3.1.3. Situación de los efluentes industriales en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A. 51	
3.1.4. Toma de muestra	51
3.1.5. Caracterización de los efluentes	52
3.1.6. Impactos ambientales generados	54
3.2. Determinar el mejor sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.	58
3.2.1. Empleo de factores ponderados para la elección del tratamiento secundario	58
3.2.2. Ponderación de los tratamientos secundarios	61
3.3. Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en la empresa	63
3.3.1. Pronóstico de efluentes	63
3.3.2. Balance de materia del sistema	64

3.3.3.	Tratamiento en la laguna de sedimentación secundaria.....	71
3.4.	Análisis costo beneficio de la propuesta del sistema de tratamiento	94
3.4.1.	Costos de inversión.....	94
3.4.2.	Gastos administrativos.....	97
3.4.3.	Disminución de costos de producción – Análisis del beneficio.....	98
3.4.4.	Análisis del costo- beneficio.....	98
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
4.1.	CONCLUSIONES	103
4.2.	RECOMENDACIONES	104
V.	REFERENCIA	105
VI.	ANEXOS	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tratamiento utilizado según el tipo de contaminante	23
Tabla 2. Remoción de las lagunas aerobias.....	27
Tabla 3. Remoción de las lagunas anaerobias.....	27
Tabla 4. Remoción de las lagunas facultativas	27
Tabla 5. Remoción de las lagunas de maduración	27
Tabla 6. Remoción de las lagunas de sedimentación	28
Tabla 7. Aspectos de las lagunas de sedimentación.....	28
Tabla 8. Comparación de lagunas de sedimentación	28
Tabla 9. Eficiencia de remoción de lodos activados	28
Tabla 10. Aspectos del tratamiento de lodos activados	31
Tabla 11. Evaluación del tratamiento de lodos activados	32
Tabla 12. Aspectos de los reactores	32
Tabla 13. Remoción de los contaminantes empleando reactores.....	32
Tabla 14. Evaluación del tratamiento de los filtros percoladores	34
Tabla 15. Rendimiento medio de depuración.....	34
Tabla 16. Causa u origen producidos por algunos contaminantes	35
Tabla 17. Componentes, origen y formas de remoción en los efluentes.....	36
Tabla 18. LMP para vertido de efluentes a cuerpos receptores	36
Tabla 19. Eficiencia de remoción de los contaminantes con relación al tratamiento	36
Tabla 20. Criterio de ponderación Leopold	40
Tabla 21. Criterios de Evaluación de la Matriz de Significancia Ambiental.....	40
Tabla 22. Clasificación del Nivel de Importancia.....	41
Tabla 23. Volumen hídrico adquirido por la empresa Tumán para su producción de azúcar..	52
Tabla 24. Volumen hídrico utilizado en la etapa de lavado.	52
Tabla 25. Resultados de análisis EPSEL.....	53
Tabla 26. Matriz de Leopold impactos ambientales en la industria azucarera.....	55
Tabla 27. Matriz Causa Efecto de evaluación de Impacto Ambiental	57
Tabla 28. Eficiencia de remoción de los tratamientos secundarios.....	60
Tabla 29. Área de terreno requerido de los tratamientos secundarios	60
Tabla 30. Consumo de energía de los tratamientos secundarios	60
Tabla 31. Características de los tratamientos secundarios	60
Tabla 32. Rangos de calificación	62
Tabla 33. Cuadro de análisis entre los factores ponderados	62

Tabla 34. Calificación de los factores con respecto a los sistemas de tratamiento	62
Tabla 35. Proyección del caudal de las aguas residuales en la etapa de lavado de caña de azúcar	64
Tabla 36. Cantidad de material cribado de agua residual	65
Tabla 37. Porcentaje de remoción de contaminantes después del desengrasado	67
Tabla 38. Periodo de retención.....	68
Tabla 39. Resultados de la sedimentación primaria.....	69
Tabla 40. Balance de masa en el reactor	70
Tabla 41. Cálculo del sustrato en el reactor (S)	71
Tabla 42. Valores típicos de coeficientes cinéticos en procesos de lodos activados	71
Tabla 43. Remoción de contaminantes en el sedimentador secundario	75
Tabla 44. Caudales pronosticados en la producción de azúcar	79
Tabla 45. Resultados obtenidos para el diseño del canal de entrada.....	79
Tabla 46. Diseño de rejillas gruesas Parámetros técnicos.	79
Tabla 47. Cálculo para dimensionar las rejillas de desbaste grueso.....	81
Tabla 48. Cálculo para dimensionar las rejillas de desbaste fino	81
Tabla 49 .Diseño de trampas de grasas sus especificaciones técnicas.....	82
Tabla 50. Trampas de grasa Dimensiones recomendadas según caudal de diseño	82
Tabla 51. Dimensiones típicas para canales Parshall	83
Tabla 52 . Dimensiones finales para el diseño del Canal Parshall propuesto	83
Tabla 53 . Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria	84
Tabla 54 . Dimensiones de sedimentador primario.....	86
Tabla 55. Parámetros del reactor aerobio propuesto	86
Tabla 56. Dimensiones del reactor aerobio propuesto	86
Tabla 57. Dimensiones de sedimentador Secundario.....	87
Tabla 58. Método de Guerchet para la instalación del sistema de tratamiento del agua residual del proceso de producción en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.	91
Tabla 59. Costo de inversión de obras preliminares en el terreno	94
Tabla 60. Inversión en Obras de concreto para la planta de tratamiento	95
Tabla 61. Costos de maquinaria y/o equipos.....	96
Tabla 62. Accesorios para el tratamiento de aguas residuales	97
Tabla 63. Inversiones intangibles para la planta de tratamiento.	97
Tabla 64. Capital de trabajo.	99
Tabla 65. Inversión total para la planta de tratamiento.	99
Tabla 66. Sueldos de trabajadores de la planta	100
Tabla 67. Costos del departamento de producción	100

Tabla 68. Disminución de Costos de producción área trapiche.	100
Tabla 69. Disminución de costos por consumo de agua industrial	101
Tabla 70. Análisis costo beneficio	102

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Clasificación de los sólidos totales	22
Fig. 2. Tipos de lagunas de estabilización.....	29
Fig. 3. Sistemas metabólicos	29
Fig. 4. Etapas del proceso de lodos activados	33
Fig. 5. Evaluación de la matriz Leopold	41
Fig. 6. Esquema tradicional de un canal de Parshall.....	45
Fig. 7. Etapa de producción de la caña de azúcar	50
Fig. 8. Balance Hídrico de los efluentes de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.	53
Fig. 9. Consumo hídrico para el proceso productivo de azúcar	63
Fig. 10. Registro de consumo hídrico etapa de lavado de caña de azúcar	63
Fig. 11. Balance hídrico de desbaste.	65
Fig. 12. Diagrama de bloque de las aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán	76
Fig. 13. Datos ingresados en el Software H canales para diseñar el canal de entrada.	78
Fig. 14. Soplador de lóbulo rotativo.....	89
Fig. 15. Difusores tradicionales para lodos activados	89
Fig. 16. Plano de planta de tratamiento.	92
Fig. 17. Plano de planta de tratamiento.	93

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se centra en un diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales con la intención de disminuir los costos, por el uso excesivo del recurso hídrico en el proceso de producción de azúcar, llegando a consumir bajo una licencia de abastecimiento de agua la cantidad de 6 307 200 m³ anuales, generando gran cantidad de efluentes, determinándose que el agua residual va directamente al canal de regadío y el exceso, al cauce del río Chancay sin previo tratamiento, es por ese motivo que se procedió a caracterizar el agua residual, indicando que los parámetros DBO, DQO, coliformes totales, grasas y aceites se ubican fuera del límite máximo permisible, así mismo analizando su composición se procedió a evaluar los diferentes sistemas de tratamiento, llegando a seleccionar mediante factores ponderados, el mejor sistema de tratamiento siendo por lodos activados el tratamiento elegido, cabe indicar que para el diseño del sistema de tratamiento se desarrolló un tratamiento de desbaste, desengrasado, sedimentación primaria y sedimentador secundario, empleando el método Guerchet, para calcular las medidas exactas de las máquinas a emplear en cada uno de las etapas del tratamiento y se consideró usar el agua tratada para la etapa del lavado por lo que se proyectó la cantidad de agua empleada en el dicho proceso de lavado siendo esta de 1 576 800 m³ anuales, Asimismo se desarrolló el análisis costo beneficio, la inversión será S/ 489 434,55 teniendo un periodo de recuperación de 3 años, con un VAN de S/ 74 765,81 y un TIR de 19% que indica que es fiable y rentable la inversión por el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Tratamiento, aguas residuales, lodos activados, proceso, medio ambiente.

ABSTRACT

The present research work focuses on a wastewater treatment system design with the intention of reducing costs due to the excessive use of water resources in the sugar production process, arriving to consume under a license to supply water. water the amount of 6 307 200 m³ per year, generating a large amount of effluents, determining that the wastewater goes directly to the irrigation channel and the excess to the channel of the chancay river without previous treatment, that is why the water was characterized residual, indicating that the parameters BOD, COD, total coliforms, fats and oils are located outside the maximum permissible limit, likewise analyzing their composition we proceeded to evaluate the different treatment systems, arriving to select by weighted factors, the best system of treatment being activated by activated sludge, it should be noted that for the design of the treatment system a treatment of roughing, degreasing, primary sedimentation and secondary sedimentation was developed, using the Guerchet method, to calculate the exact measurements of the machines to be used in each of the stages of the treatment and it was considered to use the treated water for the washing stage so the amount of water used in the washing process was projected, this being 1 576 800 m³ per year. Also, the cost benefit analysis was developed, the investment will be 489 434, 55 with a recovery period of 3 years, with a VAN S / 74 765.81 and a TIR of 19% that indicates that the investment in the wastewater treatment system is reliable and profitable.

Keywords: Treatment, wastewater, muds activated, process, environment.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día uno de los factores que está afectando a la sociedad y el medio ambiente es la cantidad excesiva de efluentes contaminantes, vertidos directamente al alcantarillado y al cauce de los ríos sin ningún tipo de tratamiento. Las actividades que principalmente generan este tipo de efluentes son las empresas industriales, seguida de las actividades urbanas, entre otros; afectando de esta manera el estado natural del recurso hídrico; generando un problema por el aumento de escasez de agua dulce a nivel mundial. Debido a ello, es importante tener distintas opciones de tratamiento, que permitan la reutilización de este recurso y puedan ser utilizadas de forma amigable para el medio ambiente que conlleve a un beneficio, tanto económico como social, de forma económica, por la reducción del consumo del recurso hídrico y social, por la disminución del impacto al medio ambiente. [1].

En la región Lambayeque, provincia de Chiclayo, distrito de Tumán, se ubica la empresa Agroindustrial Tumán S.A.A. que tiene como principal actividad la obtención de azúcar, obtenida a través de un tratamiento industrial, utilizando como materia prima, la planta llamada caña de azúcar. El producto final, azúcar, se comercializa de manera local e internacional.

El recurso hídrico para la producción de azúcar que la empresa agroindustrial Tumán requiere, es de 6 307 200 m³ anuales, estas aguas pertenecen al reservorio Tinajones, el cual es abastecido primordialmente por las aguas del río Chancay, a tal efecto, el promedio mensual del consumo de agua para el proceso productivo de caña de azúcar es de 525 600 m³ por mes con un flujo fijo de 200 litros por segundo, sabiendo que el principal consumidor de agua es la etapa de lavado, tomando en cuenta que, el consumo de agua promedio anual para dicha etapa es de 1 576 800 m³, se genera un reembolso monetario al estado peruano por concepto de agua industrial por año de S/ 351 957,25 también se observa que el importe total de los últimos 4 años registrados por concepto de costo por uso de agua industrial para el proceso productivo de caña de azúcar y para la etapa de lavado asciende a S/ 5 276 897 y S/ 1 319 224,25 respectivamente.

Las aguas residuales es uno de los factores principales contaminantes en la actividad industrial, [2]; por consiguiente, las empresas canalizan presupuestos económicos con el objetivo de paliar dicho problema, con el propósito de disminuir la repercusión en la contaminación de los cuerpos receptores, la misma que, constituye una significativa sanción

ante las autoridades responsables en la evaluación y fiscalización ambiental, por ende, es importante potenciar e incentivar programas de antelación al interior de las instituciones.

Sin embargo, en la realización de procesos industriales como la producción de azúcar, se desarrollan diversas actividades que constituyen una fuente generadora de efluentes contaminados, haciendo uso excesivo del agua, elevando los costos de producción y a la vez contaminando el medio ambiente. En este sentido, la empresa Agroindustrial Tumán, pese a las acciones ambientales que se vienen implementando, genera durante el proceso productivo para obtener azúcar, gran cantidad de efluentes, que requieren de manera inmediata la aplicación de estrategias ambientales dentro de la industria, si se desea ser más productiva y competitiva.

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿En qué medida un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A. disminuirá los costos de producción?, asimismo, este proyecto de investigación tiene por objetivo general, diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales y su reutilización en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A. para disminuir los costos de producción, para ello, se ha previsto plantear cuatro objetivos específicos los cuales son: cuantificar y determinar la caracterización de las aguas residuales y el impacto ambiental generado en el distrito de Tumán, determinar el mejor sistema de tratamiento de aguas residuales, diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en la empresa y por último realizar un análisis de costo- beneficio de la propuesta del sistema de tratamiento.

En el presente trabajo de investigación, se justifica la reducción de los costos vinculados al consumo indebido de agua en la industria azucarera, del mismo modo, evaluar su impacto en el ambiente, tomando en cuenta las propuestas de tratamiento como instrumento de solución al problema.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el 2013, J. Zambonino [1], en la investigación desarrollada con relación al “*Análisis de alternativas para el tratamiento de aguas industriales del ingenio azucarero del norte Iancem*”, formula la solución a las aguas residuales resultantes de la industria azucarera, al respecto, se establecieron como indicadores clave los siguientes: DBO, DQO, sólidos suspendidos, aceites y grasas; antes de ser descargados a cuerpos receptores. Los objetivos de dicho estudio se encontraron relacionados a: analizar las variantes de tratamientos de los efluentes y proponer un sistema de tratamiento que ofrezca las características idóneas de tales aguas, la metodología se trató de la comparación de remoción de los factores contaminantes señalados anteriormente, a través de ventajas y desventajas evaluados por los criterios tanto operacionales, económicos y ambientales (costos de operación, área superficial, calidad de efluente en DBO, operación y mantenimiento, requerimiento de energía eléctrica, ausencia de malos olores, cumplimiento con la normativa ambiental vigente, control de vida silvestre y tiempo de retención), en relación, a los resultados obtenidos se concuerda que el tratamiento más eficiente es “lodos activados”, en el cual, los gastos anuales de operación y mantenimiento y los costos de construcción son 106 305,22 y 10 608,25 dólares.

En el 2014, G. Torres [3], en su investigación titulada “*Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros*”, sustenta que de los muchos parámetros que ayudan a evaluar la calidad del agua, se deben tener presente los más relevantes estipulados en la normativa ambiental vigente y cuyo análisis ayudara a evidenciar la eficacia del tratamiento aplicado al efluente residual industrial y deduce que entre las características autónomas de las aguas residuales de origen alimenticio se encuentra el contar con un elevado índice de biodegradabilidad, el cual la transforma menos apta ante tratamientos fisicoquímicos convencionales. Al aplicar técnicas avanzadas de oxidación los resultados probaron que la efectividad en la remoción de materia orgánica es elevada, y por procesos biológicos se puede mejorar en los efluentes, los filtros biológicos que se encuentran adheridos al lecho filtrante se basan en la actividad de una comunidad de microorganismos (biomasa). En el agua los microorganismos producen energía al oxidar la materia orgánica, y por esta razón es una

fuentes de nutrientes, siendo útiles para aguas de riego verificando la producción de lodos y de acuerdo a lo que establecen las afirmaciones teóricas, para efluentes provenientes de este tipo de industrias, resulta ser más eficientes los tratamientos biológicos.

En el 2015, M. Cuenca, [2], en su tesis doctoral titulada “*Selección de un sistema de desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas*”, se centró en el análisis de los procesos mediante un análisis jerárquico denominado AHP, realizado mediante un análisis de los procesos Delphi y técnicas como Vikor, que permite una mejor elección de tratamiento para la desinfección de los efluentes contaminados y permite su reutilización y el reuso de las aguas tratadas. Mediante dicho análisis se determinaron los criterios y la selección, la cual fue calificada por un grupo de jueces especializados en la materia; los criterios considerados fueron: costo de capital, fiabilidad del sistema, costo de operaciones y mantenimiento, obteniendo una puntualización de 24,42%; 2,68%, 20,92% respectivamente; cabe indicar que según los expertos se tuvo un puntaje más elevado en los aspectos económicos, está por encima de los criterios ambientales y técnicos, influyendo de esta manera en la selección de tecnología dicho criterio. Determinando de esta manera que los procesos de tratamiento de aguas residuales influyen de manera evidente el aspecto económico.

En el 2015, A. Llopis [4], en una investigación denominada “*Advanced technologies applied to effluents from wastewater treatment plants*”, indica que los tratamientos de ozonificación y las tecnologías como UV/ H₂O₂, permiten la degradación de los componentes contaminantes, como es el caso de BP, que se realiza en la primera etapa de oxidación. Asimismo, se elimina de forma efectiva el US y costos compuestos producto de oxidación que son la acumulación del proceso. En altas dosis de oxidante, en el efluente de MBR, se confirmó su obstinación a la ozonización por la peculiar presencia de LMMA. El mecanismo de oxidación radical no selectiva de V / H₂O₂, por el contrario, dio como resultado efluentes CAS y MBR finales en los que estaban presentes el HS y todos los compuestos LMM. Además, la monitorización de las fracciones de materia orgánica con LC-OCD demostró que la reducción de la aromaticidad del efluente que disminuye en SUVA) no se correlacionó estrictamente con la depleción completa de HS en los efluentes para ambos tratamientos avanzados. En resumen, aunque la ozonización y UV / H₂O₂ eficazmente suprimieron las distintas fracciones DOM, la

composición final de los efluentes tratados entre los procesos de oxidación implicados, fue significativamente diferente.

En el 2015, S. Garcia [5], en su investigación denominada “Modelling, Optimisation and Control of Anaerobic Co-digestion Processes” se centra en la cinética de disgregación fragmentada propuesta para sustratos sólidos los cuales brinda un concepto adecuado sobre unos experimentos por lotes. A partir de lotes, los parámetros obtenidos de sustratos únicos suministraron resultados favorables de simulación en la co-digestión semicontinua de múltiples sustratos. Los protocolos novedosos de lotes experimentales se evidencian como una maniobra oportuna para la evaluación de medidas cinéticas y un método para concentrar indagaciones cinéticas de pruebas por lotes en un modelo AcoD, el cual es apoyado en el método de ADM1 validado como una herramienta confiable para representar procesos de co-digestión de desechos sólidos. Los resultados proponen que el modelo será útil en futuras indagaciones para probar la viabilidad de otras mezclas de residuos y para ampliar tácticas de control para mejorar las mezclas con el fin de optimar el rendimiento de los digestores.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Aguas residuales

Se tiene por concepto de aguas residuales a aquellas aguas que proceden de origen doméstico e industrial, que por el accionar de los seres humanos con el fin de que sus necesidades sean resueltas, se han visto sometidas a una transformación significativa en sus características físicas, químicas, biológicas, entre otras, considerándose sus componentes un riesgo o un peligro para la salud y al ambiente, por esta razón deben ser dispuestas adecuadamente [6]. En ese sentido, se puede definir lo siguiente.

2.2.1.1. Tipos de aguas residuales

2.2.1.1.1. Aguas residuales domesticas o aguas negras

Son aguas de consumo doméstico y otras actividades similares. Se recolectan a través de sistemas de alcantarillado interconectados. Entre sus características, podemos destacar que su contenido de sólidos es menor al 1%, la fuente de

bacterias patógenas provienen del sistema digestivo, que es el principal indicador de contaminación por agentes biológicos en el agua. [7].

2.2.1.1.2. Aguas residuales blancas

Son producto de diversos factores climáticos, tales como: lluvias, granizo, lixiviados y otras fuentes, estas fuentes traerán partículas en suspensión y residuos y sustancias físicas en la atmósfera cuando caigan a la superficie de la tierra, el área o superficie donde caen, las características químicas y biológicas de este proceso natural, pueden causar serios problemas al sistema de tratamiento, resultando en un aumento del caudal [8].

2.2.1.1.3. Aguas residuales industriales

Este tipo de agua es producto de actividades industriales, y sus características dependen de la tarea, proceso o subproceso en la que se utilizó, luego, teniendo en cuenta la concentración de contaminantes existentes, el agua se descarga al receptor o fuente receptoras [7].

2.2.1.1.4. Aguas residuales agrícolas y ganaderas

Proviene principalmente de actividades ganaderas y escorrentías de zonas agrícolas, donde los contaminantes provienen de diversos procesos, como la limpieza en los corrales, generándose remoción de excrementos y materia orgánica de los alimentos suministrados; en la agricultura, el uso de pesticidas, fertilizantes, herbicidas, entre otras sustancias utilizadas como método tradicional para lograr buenos rendimientos de cultivos. [9].

2.2.2. Parámetros de calidad de los efluentes

2.2.2.1. Parámetros Físicos

- a) Temperatura: Es un indicador primordial para el pleno crecimiento y desarrollo de la micro-fauna, asimismo, indica la base principal de las características químicas del agua, por ello, la variación de la temperatura del agua da por resultado la disponibilidad de oxígeno disuelto, transporte de nutrientes y la óptima segregación de sólidos-líquidos [10].

- b) Olor: Es el resultado de componentes volátiles o gaseosos. Son el resultado de la descomposición de la materia orgánica o elementos químicos utilizados en grado industrial, las propiedades físicas se puede lograr utilizando diluciones al patrón extraído con agua inodora a una temperatura de 40 °C [11].
- c) Color: El efluente suele ser gris, y su color varía debido a diferentes factores que afectan directamente al cuerpo de agua. Por ejemplo: el tiempo de propagación en el sistema de drenaje y la reacción de las bacterias anaeróbicas en él cual el color inicial se vuelve gris oscuro y cuando se vuelve negro, se define como efluente séptico, el color existente en el agua es producto de la interacción del sulfuro metálico a través del azufre liberado en presencia de anaerobios microbianos [12].
- d) Turbidez: Se relaciona con los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua y es una medida muy importante para controlar la calidad de elementos residuales y coloidales. Asimismo, interfiere con los métodos de tratamiento del agua, como la desinfección química o la radiación ultravioleta, lo que reduce su efecto de control, sobre estos que es un peligro para los usuarios [7].
- e) **Contenidos en Sólidos:**
1. Sólidos Totales (ST): Se refiere a la suma de los sólidos disueltos y suspendidos en una muestra de agua que también puede contener 50% de materia orgánica, y estos sólidos están expuestos a diversos procesos de degradación química, física y biológica [12].
 2. Sólidos Disueltos Totales (SDT): Es el resultado de la etapa de filtración y su composición se expresa en las siguientes fracciones: 40% de materia orgánica y 60% de compuesto inorgánico [12].
 3. Sólidos Fijos y Volátiles: Los sólidos fijos son el resultado de los sólidos totales o también denominados disueltos o suspendidos, después de llevar un ejemplar y sea calcinada durante un tiempo determinado a 550°C, encontrándose material orgánico e inorgánico, del cual se volatiliza como bióxido de carbono y agua. Sin embargo, el material inorgánico es inerte, no se puede distinguir en su totalidad lo orgánico de lo inorgánico debido a que algunas sales minerales se descomponen,

4. Sólidos Sedimentables: son aquellos Sólidos disueltos y suspendidos en sus diferentes formas. En la figura 1 se logra diagramar la clasificación de los sólidos totales.

2.2.2.2. Parámetros Químicos

- a) pH: Es medido con un instrumento llamado pH metro y es un indicador para medir el potencial de hidrógeno en una disolución. Encontrándose el rango de medición de 1 a 14, los números menores o iguales a 7 tienen características ácidas, y los números mayores a 7 tienen características alcalinas o básicas, según el rango de valores encontrados, promoverán el crecimiento y proliferación de microorganismos [11].
- b) Nitrógeno: Es requerido por los organismos, en la digestión de proteínas, ácidos nucleicos y otras sustancias necesarias para su metabolismo, produciendo iones de amonio, siendo estos letales los cuales deben ser eliminados en el menor tiempo posible, esta exclusión debe ser mediante amoniaco, que se utiliza como nutriente en el crecimiento de las plantas, provocando graves daños en la estabilidad de la flora acuática a causa del proceso de eutrofización [7].
- c) Fósforo: Se encuentra presente en los efluentes, en concentraciones que oscilan entre 4 a 15 mg/L, pudiéndose encontrar como fósforo elemental, orto-fosfatos, poli-fosfatos, formando parte de los nutrientes necesarios para el crecimiento de algas o plantas acuáticas, [13].

2.2.2.3. Parámetros de Materia orgánica:

- a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la principal unidad de medida necesaria para determinar la cantidad de oxígeno disuelto requerido para la biodegradación aeróbica de la materia orgánica., en condiciones de temperatura y tiempo específicos. Este procedimiento se lleva a cabo en un lapso de tiempo de cinco días, en donde, se determina la oxidación bioquímica de la materia orgánica, permitiéndoseos descubrir el volumen necesario de oxígeno para afianzar biológicamente la carga existente; la unidad de medida es O₂/L [14].
- b) Demanda Química de Oxígeno (DQO): Su unidad de medición es O₂/L. y consiste en un proceso o método de prueba de laboratorio con la intención de determinar la cantidad necesaria de oxígeno en el fragmento de materia orgánica

existente en la muestra, el cual, puede ser propenso o expuesto a oxidarse, bajo condiciones acidas, debido a la presencia del dicromato o permanganato, este análisis toma un tiempo de alrededor 3 a 4 horas y cuanto mayor sea consumo químico de oxígeno, mayor será el grado de contaminación. [14].

- c) Oxígeno Disuelto (OD): El oxígeno es un indicador importante cuando se desea evaluar la calidad del agua, puede ser utilizado para determinar sus potencialidades al albergar vida, del mismo modo, determinar sus reacciones al momento de realizar vertimientos en las fuentes receptoras, es por esa razón, que se debe priorizar el análisis de balance de esta molécula. Cabe señalar que, resulta muy difícil de separar el oxígeno en el agua, dependiendo de la temperatura y presión [13].
- d) Aceites y Grasas: Son aquellas cuyas propiedades lipídicas, resultan ser difícilmente solubles en agua, que debido a sus densidades diferentes, regularmente permanecen en la superficie, generando la creación de espuma y nata, dando origen a un problema en el curso del tratamiento, es por esa razón, que deben ser removidas desde las etapas iniciales por métodos como flotación, para después proceder a su vertimiento en fuentes naturales. La causa principal se debe a los desechos alimenticios y labores de limpieza [8].

2.2.2.4. Parámetros Biológicos

- a) Indicador de Bacterias:

Al realizar, la toma de medida de la carga microbiana en los efluentes, se tiene que tener muy en cuenta los grupos existentes en estas aguas, así como también, aquellos que intervienen en su tratamiento, como especímenes patógenos, utilizado como indicador de degradación e impacto, esta clase de parámetros se emplean en la identificación de la toxicidad de los afluentes tratados, cabe precisar que, la *Escherichia Coli* es la bacteria de mayor ponderación, por tratarse de una bacteria de propiedades letales para la salud humana [15]. En la tabla 1 se logra identificar los diferentes tipos de tratamiento de acuerdo al tipo de contaminante presente en las aguas residuales.

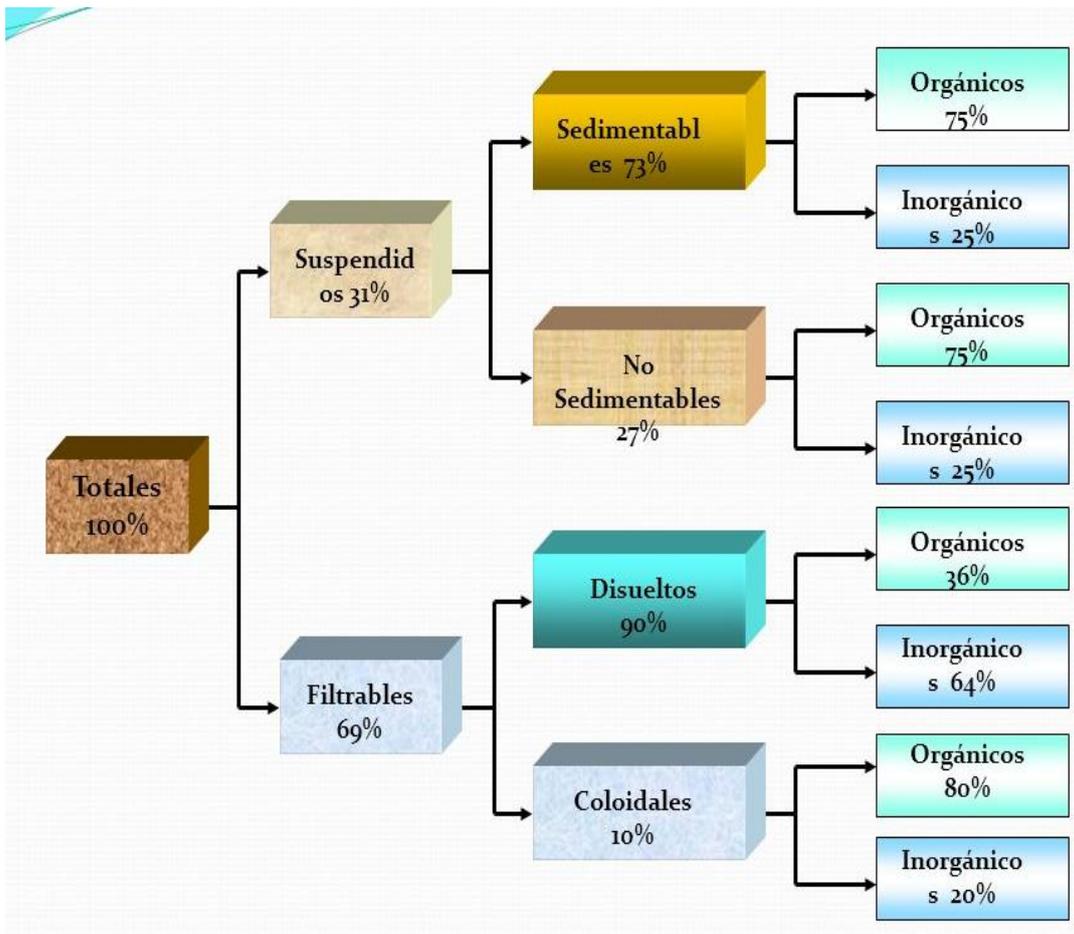


Fig. 1. Clasificación de los sólidos totales

Fuente: [27]

Tabla 1. Tratamiento utilizado según el tipo de contaminante

CONTAMINANTES	SISTEMA DE TRATAMIENTO
Sólidos en suspensión	Sedimentación, desbaste, filtración, flotación, adición de polímeros
Materia Orgánica biodegradable	Fangos activados, película fija: Filtros percolares, discos biológicos. Sistemas Físico químicos
Patógenos	Cloración ,Hipo cloración, Ozonización, Radiación UV
Nitrógeno	Nitrificación, Desnitrificación
Fósforo	Adición de sales metálicas, coagulación sedimentación con sal
Materia Orgánica refractaria	Absorción en carbón, ozonización terciaria
Metales Pesados	Precipitación química, intercambio de iones
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio de iones, Ósmosis inversa, Electrodiálisis

Fuente: [15]

2.2.3. Sistemas de tratamiento de efluentes

2.2.3.1. Pre- tratamiento

a) Desbaste

Es un proceso que se aplica con el objetivo de separar partículas grandes o de considerable proporción, que representen daños sustanciales en el proceso de tratamiento de las aguas residuales, utilizando un sistema de rejillas, las cuales, se pueden clasificar en: desbastes gruesos y desbastes finos, teniendo una separación entre 40 – 100 mm y de 10 a 25 mm respectivamente, con relación a su limpieza y mantenimiento puede ser operado de manera manual o automática [16].

b) Desaceitado y Desengrasado

Fundamentalmente implica la erradicación de sustancias más livianas que el agua como las grasas, los aceites y las espumas entre otras, que opera inyectando aire en el proceso de desengrasado, con la intención de separar los lípidos, de los efluentes, llevando a flotación estas sustancias. La implementación de este procedimiento se realiza con la finalidad de prevenir obstrucciones en los procesos siguientes. Este tratamiento se realiza en la misma zona que el desarenado [17].

2.2.3.2. Tratamiento primario

a) Sedimentación o Decantación:

Es aquel proceso que por acción de la fuerza de gravedad se realiza la separación de las moléculas, que debido a esta acción, conducirá dichas partículas hasta la parte inferior del estanque que las contiene, para que este proceso sea más efectivo, se debe determinar el tamaño, peso, densidad, teniendo en cuenta las características morfológicas, entre otras. El objetivo es lograr la sedimentación del 60% de material suspendido y el 30% de materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales, de igual forma, evitando obstrucciones en los procesos siguientes [18].

b) Homogenización

Se realiza combinando las aguas, teniendo como objetivo neutralizar las propiedades tanto físicas, como químicas y biológicas (DBO, DQO, color, pH, partículas suspendidas, carga bacteriana, entre otras), igualmente teniendo presente el flujo de las aguas residuales, con la finalidad de conservar un caudal semejante o similar al ingresar al sistema de tratamiento, pues la capacidad de la estructura, tendrá un porcentaje de la circulación total de los efluentes por día que será igual al 60% [19].

c) Filtración

Se forma al pasar una cierta cantidad de agua a través de un lecho poroso, para evitar el paso de sustancias o elementos que no se pueden separar durante el proceso de sedimentación, se suele utilizar arena como lecho filtrante que se descompone en capas y se realizará por dos métodos.: Adherencia y transporte, el primero se realiza por reacción química, en el segundo método es cuando queda atrapado entre la brecha que se forma entre grano y grano [19].

d) Flotación

Es una fase física, que aprovecha la diferencia de densidades de los residuos líquidos o Sólidos, para poder ser disgregados, empleando como medio de flotación corrientes de aire, elevando las partículas a la parte superior del

estanque, dando por resultado el arrastre de los materiales innecesarios para el sistema, que serán eliminados posteriormente [18].

e) Coagulación- Floculación

Se forma por los llamados flóculos, que son la aglomeración de partículas coloidales de una sola masa, aumentando así el volumen y peso, para ir sedimentando al fondo del estanque que contiene el agua a tratar, lo que favorece el mejor manejo del sustrato, los compuestos utilizados, en el proceso de coagulación se tiene: sulfato de aluminio, sulfato férrico y cloruro férrico, cabe señalar que al utilizar estos compuestos se debe considerar el valor de pH del agua. [20].

2.2.3.3. Tratamiento secundario

Son aquellos sistemas de tratamientos, en el que, la reducción de la materia orgánica resulta de las reacciones biológicas y elementos suspendidos, resultando como indicadores los parámetros de DBO y DQO de las aguas residuales, pudiendo ser mediante:

a) Lagunas de Estabilización

La finalidad de estas estructuras es retener las aguas residuales, en donde, las algas y bacterias se biodegradan mediante procesos aerobios, anaerobios, facultativos y de maduración, resultando en la degradación de sólidos sedimentables y materia orgánica. En este proceso, es importante destacar las condiciones ambientales (lluvia, relieve, temperatura, velocidad del viento, entre otros.), [21]. Los modelos de lagunas de estabilización son: Aerobias, Anaerobias, Facultativas y lagunas de Maduración.

- **Aerobias:**

Este proceso implica la estabilización de la materia orgánica mediante la oxidación de los nutrientes presentes en las aguas residuales, y los elementos también pueden ser aportados por bombas de aireación o naturalmente mediante la transformación y fotosíntesis de protozoos o algas presentes en estanques [39]. En la tabla 2 se puede observar los parámetros con sus características de remoción.

- Anaerobias:

Se realiza por reacción de microorganismos anaerobios, que por falta de oxígeno, se requiere un tiempo de retención prolongado para el proceso de degradación de la materia orgánica, encontrándose los lodos y sedimentos en la parte inferior del estanque, y en la parte superior, presenta partículas suspendidas., [40]. Se puede apreciar el parámetro con sus características específicas de remoción en la tabla 3.

- Facultativas:

Básicamente presenta dos áreas, la parte superior o superficial, en donde aparecen microorganismos aerobios y en la profundidad o parte inferior se ubica los anaerobios, la profundidad de la estructura es de 1 a 2 metros y, cabe señalar las presencia de algas que proporcionan la cantidad necesaria de oxígeno para el mejor funcionamiento, [40]. Se puede apreciar las características de remoción de cada parámetro en la tabla 4.

- Maduración:

Este tipo de laguna utiliza como etapa final entre los sistemas de estabilización en serie, debido a su elevada eficiencia en la remoción de agentes biológicos (por su maduración o condiciones ambientales expuestas), no es necesario agregar químicos desinfectantes, también se utilizan en la nitrificación de las aguas residuales, [39].

En las lagunas de sedimentación el proceso de remoción, tabla 6, se considera con un valor de importancia regular, debido a la interacción de los organismos presentes en las aguas residuales (sin adición de sustratos), en términos de consumo de energía, se necesita una capacidad mínima, porque solo será utilizada para poner en marcha las bombas de aire, para tal efecto, la empresa designará un presupuesto para su adecuado mantenimiento, la tasa de generación de residuos sólidos obtenidos mediante este método, es solo productos de la lixiviación por gravedad, y las características físicas del efluente resultante (color y partículas finas suspendidas), no cambian mucho con relación al tiempo de retención, dependiendo del grado o la calidad del efluente que desee tratar, toma alrededor

de 2 a 10 días como se puede observar en la tabla 7. Este proceso necesita una gran superficie de terreno, considerando el flujo diario de los efluentes, así como también no será necesario para su mantenimiento personal capacitado.

Tabla 2. Remoción de las lagunas aerobias

Parámetro	Remoción
Tiempo de retención	3 – 5 días
DBO	80 – 95%
Tiempo de limpieza	2 – 4 años
Profundidad del estanque	0,3 – 0,45 m

Fuente: [39].

Tabla 3. Remoción de las lagunas anaerobias

Parámetro	Remoción
Tiempo de retención	5 - 12 días
DBO	50 – 70 %
SST	20 – 60 %
Profundidad del estanque	2 – 5 m

Fuente: [40].

Tabla 4. Remoción de las lagunas facultativas

Parámetro	Remoción
Tiempo de retención	2 – 5 días
DBO	80 – 90%
SST	63 – 75%
Profundidad del estanque	1 – 2 m

Fuente: [40].

Tabla 5. Remoción de las lagunas de maduración

Parámetro	Remoción
Tiempo de retención	2 – 4 días
DBO	60 – 80%
Profundidad del estanque	0.9 – 1.5 m

Fuente: [39].

Tabla 6. Remoción de las lagunas de sedimentación

Tratamiento "Lagunas"	Eficiencia de la remoción (%)		
	DBO	DQO	SS
Anaeróbicas	50-70	-	20-60
Airadas	80-95	-	85-95
Facultativas	80-90	-	63-75
Maduración	60-80	-	85-95

Fuente: [34].

Tabla 7. Aspectos de las lagunas de sedimentación

Aspectos de Laguna de Estabilización	
Periodo de retención	2 - 10 días
Consumo de energía	> 15 W/m ³
Profundidad de Laguna	2,5 - 5 m

Fuente: [40].

Tabla 8. Comparación de lagunas de sedimentación

Lagunas de estabilización	
Ventajas	Desventajas
Bajo costo de mantenimiento y operación.	Altos costos de construcción.
Estabilización de la materia orgánica	Grandes extensiones de terreno.
Capacidad de retención de grandes volúmenes de efluentes.	Poca capacidad de transformación de la materia orgánica.

Fuente: [39].

Tabla 9. Eficiencia de remoción de lodos activados

Parámetro	Unidad de medida	Porcentaje de remoción (%)
DQO	mg/L	85 - 90
DBO	mg/L	90 - 98
Sólidos suspendidos	mg/L	85 - 98
Coliformes fecales	UFC	60 - 90

Fuente: [32].



Fig. 2. Tipos de lagunas de estabilización

Fuente: [38].

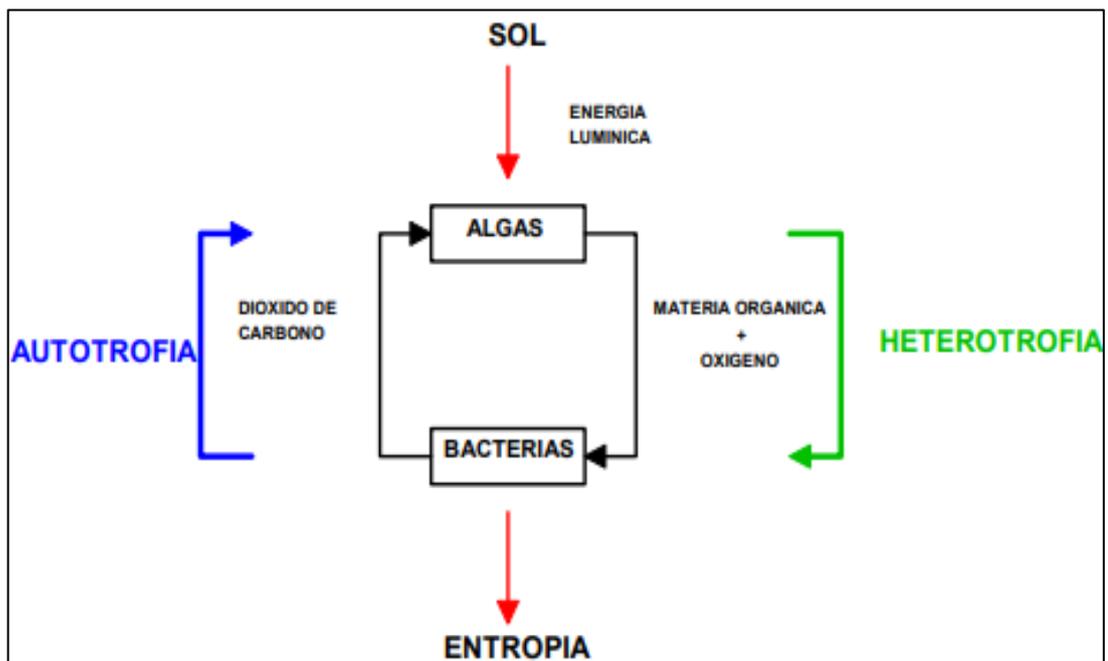


Fig. 3. Sistemas metabólicos

Fuente: [21].

En la figura 3 se puede observar el sistema metabólico, el cual implica dos procesos heterotrofia y autotrófica. La primera es descrita como la captación de sol en las algas, de la cual se obtiene materia orgánica y oxígeno, resultado de ello se generan bacterias. El otro proceso es que, de la bacteria sale dióxido de carbono, el cual es adquirido por las algas y que la transforma en materia, siendo de esta manera un ciclo.

En la tabla 8 se puede observar la comparación de las ventajas y desventajas de implementar una laguna de sedimentación.

b) Lodos Activados

Proceso biológico, mediante el cual, los microorganismos degradan los compuestos orgánicos que se hallan en las aguas residuales, mediante sistemas aerobios, que hacen circular continuamente aire, proporcionando la creación de biomasa, dióxido de carbono y agua. Los sólidos en suspensión y los coloides existentes se depositan o sedimentan en la parte inferior de la laguna. El lodo activado o sustrato que procede del sistema digestivo bacteriano, es descargado en las lagunas de estabilización para aumentar la carga biológica [22].

Este proceso aumenta su efectividad al agregar sustratos vivos que aceleran el proceso de degradación, por lo que, presenta una mejor calidad del efluente y teniendo un consumo mínimo de energía empleada, porque solo se utilizará en el funcionamiento de las bombas de aire. La generación de residuos será mayor al tratamiento por laguna de estabilización, debido a la degradación y aglomeración de sólidos en suspensión, la determinación del tiempo de retención esta relacionada con el material adicionado, es por eso, mientras más alto el porcentaje de sustrato será menor el tiempo de retención.

- Etapa de funcionamiento

• Etapa de aireación:

Es aquel proceso donde de forma continua se inyecta aire al sistema permitiendo la creación de flóculos, este sistema de aireación se puede realizar por medio de dos tipos de inyección, superficial o de fondo, este proceso proporciona el suministro requerido por los microorganismos existentes para degradar de los contaminantes, [32].

- **Etapa de decantación o clarificación:**

Es un proceso donde se consigue por actuación de la gravedad, la sedimentación de los lodos llevándolos al fondo, permitiéndose así su separación y disposición final.

c) Reactores Anaerobios

Es aquella fase donde se utilizan microorganismos, con el objeto de depurar los contaminantes que se hallan en las aguas residuales, donde, la materia orgánica se convierte en biomasa y gases (metano y dióxido de carbono), es de suma relevancia controlar temperatura y el caudal para el óptimo funcionamiento del reactor, considerándose un sistema complejo de degradación mediante reacciones químicas [23].

Este proceso tiene excelentes propiedades en lo que respecta remoción de contaminantes, porque es un circuito cerrado. Con relación al consumo de energía este se determina por el número de veces que debe hacerse circular el efluente en el proceso, optimizando su desempeño, así como con los sistemas de entrada y salida de las aguas residuales. Debido al manteniendo continuo de la estructura donde se encuentra el lecho microbiano como de las bombas, los costos de operación suelen ser elevados.

Con respecto a la generación de residuos, a media que se producen más cantidad de ciclos o movimientos en el agua, el sistema será más eficiente. Se hace notar que el efluente presenta condiciones ideales para ser utilizarlos en la agricultura o procesos donde el contacto directo no sea con el producto final, determinándose que el tiempo de retención se relaciona con el número de ciclos realizados, además de requerir en las labores designadas operadores capacitados. Se puede apreciar los aspectos principales de los reactores (tabla 12) así como también la remoción de los contaminantes (tabla 13).

Tabla 10. Aspectos del tratamiento de lodos activados

Aspectos del tratamiento Lodos Activados	
Consumo de energía	30 - 50 W/m ³
Periodo de retención (h)	4 - 8
Tasa de recirculación (%)	25 - 50

Fuente: [41]

Tabla 11. Evaluación del tratamiento de lodos activados

Lodos activados	
Ventajas	Desventajas
Se necesita personal con conocimientos básicos para su operación.	Altos costos de construcción.
Sistema sencillo de operación.	Deficiencia de remoción bacteriana.
Obtención de lodos para su reutilización.	Mantenimiento constante de equipos y maquinarias empleadas.

Fuente: [32].

Tabla 12. Aspectos de los reactores

Aspectos del tratamiento mediante Reactores	
Velocidad de paso	3 - 5 m ³
Altura de reactor	3 - 7 m
Sistema de alimentación	1 - 5 m ²
Volumen de reactor	Hasta 400 m ³

Fuente: [41].

Tabla 13. Remoción de los contaminantes empleando reactores.

Tipos de Sistema Anaerobio	UASB	EGSB	REACTOR IC
Parámetro	Valores Habituales de diseño		
Unidades			
Etapas	1	1	2
Carga Volumétrica	12 - 15	14 - 18	18 - 30
Volumen del Reactor	m3	1 800	1 500
Altura del Reactor	m3	5	18
Superficie requerida	m2	360	83

Fuente: [36]

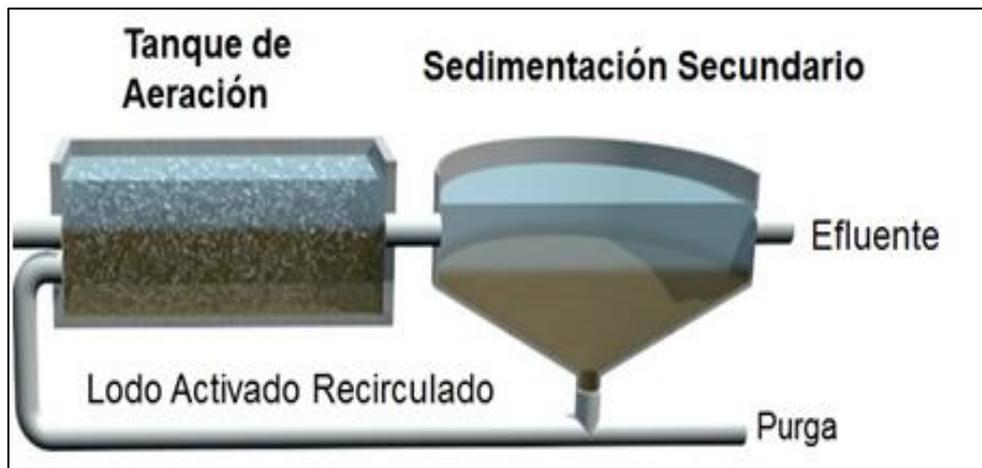


Fig. 4. Etapas del proceso de lodos activados

Fuente: [39]

d) Filtros Percoladores

Es aquel tratamiento de efluentes, que se realiza mediante las interacciones microbiológicas que se encuentran en estas aguas, fijándose a un lecho filtrante permeable, (ver tabla 14), de esta manera, se percola el agua, este medio se denomina biopelícula. La degradación se lleva a cabo por actividades aerobias y anaerobias, provocado por el espesor de esta capa del sustrato [24].

Mediante este método se adquiere propiedades deseables tanto físicas, químicas y biológicas, empleando diversos equipos y maquinarias, que para su óptimo funcionamiento se genera un elevado consumo energético, por otro lado la eficacia de este proceso es relativamente alta, obteniendo un efluente resultante que puede ser utilizado en procesos de calderas generando vapor, lavado, y otros sub-procesos, determinado el tiempo de retención en relación con la cantidad de ciclos realizados, no requiriendo gran superficie de terreno, porque el agua debe estar sometida a continuo movimiento. En las labores designadas se necesitan operadores especializados.

Tabla 14. Evaluación del tratamiento de los filtros percoladores

Característica	Carga				Filtros de desbaste	Filtros de dos etapas
	Baja	Intermedia	Alta	Súper alta		
Medio de soporte	Roca, escoria	Roca, escoria	Roca, plástico	Plástico	Plástico	Roca, plástico
Carga Hidráulica kg DBO/(m ³ d)	1 - 4	4 - 10	4 - 10	40 - 200	160 - 533	10 - 40
Carga Orgánica kg DBO	0,08 - 0,32	0,24 - 0,48	0,32 - 10	0,8 - 0,6	2,67 - 10,67	0,32 - 0,10
Profundidad	1,8 - 2,4	18 - 24	0,90 - 1,80	3 - 12	4,5 - 16	1,80 - 2,40
Relación de recirculación	0	0 - 1	1 - 2	0 -	1 - 4	0,5 - 3
Presencia de moscas	Muchas	varias	pocas	pocas o ninguna	pocas o ninguna	pocas o ninguna
Desprendimiento de biomasa	Intermitente	Intermitente	continuo	continuo	continuo	continuo
Remoción de DBO	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 85	40 - 65	85 - 95
Efluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No hay nitrificación	Bien nitrificado

Fuente: [23]

Tabla 15. Rendimiento medio de depuración

	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN %	DBO %	ESCHERICHIA COLI
Pretratamiento	5 - 15	5 - 10	10 - 25
Tratamiento Primarios	40 - 70	25 - 40	25 - 70
Tratamiento Secundarios	80 - 90	80 - 95	90 - 98
Tratamiento Terciarios	90 - 95	95 - 98	98 - 99

Fuente: [16]

Tabla 16. Causa u origen producidos por algunos contaminantes

Tipo de Contaminante	Causa
Color grisáceo oscuro	Degradación de la materia orgánica en las aguas residuales domesticas
Olor	Residuos industriales, agua residual en descomposición
Sólidos	Aguas residuales domesticas e industriales, descomposición del manto biológico
Temperatura Alta	Aguas residuales industriales
Carbohidratos	Aguas residuales industriales
Grasas animales, grasas y aceites	Aguas residuales industriales
Pesticidas	Agua procedencia agrícola
Fenoles	Agua residual industrial
Proteínas	Agua residual domestica e industrial
Materia Orgánica Volátil	Agua residual doméstica , degradación natural de la materia orgánica
Alcalinidad	Agua residual domestica e industrial
Cloruros	Infiltración de aguas subterráneas de origen marino, Agua residual domestica e industrial
Metales Pesados	Aguas residuales industriales de vertido
Nitrógeno	Agua procedencia agrícola y domesticas
pH	Agua residual domestica e industrial
Fósforo	Agua residual doméstica, agrícola e industrial
Azufre	Agua residual domestica e industrial
Sulfuro de Hidrógeno	Fermentación de agua residual
Metano	Fermentación de agua residual
Oxígeno	Entrada de agua potable
Bacterias	Agua residual domestica
Virus	Agua residual domestica

Fuente: [28].

Tabla 17. Componentes, origen y formas de remoción en los efluentes

Componente	Origen o composición	Formas de Remoción
Sólidos Suspendidos	materia orgánica e inorgánica, microorganismos	sedimentación, filtración
Sólidos disueltos	lixiviación natural en acuíferos	nano filtración, hiperfiltración, electrodiálisis
Orgánicos Refractarios	solventes industriales, insecticidas, herbicidas, plaguicidas,	absorción con carbón activado, destrucción con ozono, nano filtración
Patógenos	microorganismos presentes en aguas no desinfectadas	desinfección con agentes oxidantes
Metales Tóxicos	lixiviación natural en acuíferos, contaminación antropogénica	precipitación química, sedimentación, nano filtración hiperfiltración

Fuente: [27].

Tabla 18. LMP para vertido de efluentes a cuerpos receptores

PARÁMETROS	UNIDAD	LMP para vertidos a cuerpos de agua
SST	mg/l	300
pH	Unidad de pH	6 - 9
DBO	mg/l	250
DQO	mg/l	500
Aceites y Grasas	mg/l	10
Coliformes Totales	NMP/100ml	1 000
Temperatura	°C	<40

Fuente: [37]

Tabla 19. Eficiencia de remoción de los contaminantes con relación al tratamiento

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log10)	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helminths
Sedimentación primaria	25 - 30	40 - 70	0 - 1	0 - 1
Lodos activados	70 - 95	70 - 95	0 - 2	0 - 1
Filtros Percolares	50 - 90	70 - 90	0 - 2	0 - 1
Lagunas Aeradas	80 - 90	(c)	1 - 2	0 - 1
Zanjas de oxidación	70 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 1
Lagunas de estabilización	70 - 95	(c)	1 - 6	1 - 4

Fuente: [41]

2.2.4. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Directamente se asocia a la concentración de contaminantes que tienen por destino ser evacuados en los cuerpos receptores, es por esta acción se tiene que monitorear continuamente con la finalidad de no ir por encima los valores establecidos con el objetivo de evitar daños ambientales y a la salud humana.

2.2.4.1. Decreto supremo N°011-2009 – MINAM: Aprueban límites máximos permisibles para las emisiones de industrias.

Artículo 1. °. Tiene por finalidad definir los LMP de las diversas actividades económicas de los rubros tanto cárnicas como agroindustriales, cuyo objetivo es la prevención de los recursos ambientales al estar en contacto con agentes contaminantes.

2.2.5. Norma Técnica Peruana S90

- El requerimiento esencial antes de iniciar el diseño preliminar de una planta de tratamiento de aguas residuales, es ejecutar un estudio de las aguas en las que se ha recepcionado los efluentes provenientes de las actividades industriales o humanas. El análisis del cuerpo receptor tomará en cuenta las situaciones más negativas. El grado de tratamiento será determinado teniendo en cuenta las normas de calidad del cuerpo receptor.
- Diseño final que comprende la planta:
 - agregar análisis de caracterización de los efluentes;
 - investigaciones del terreno, topográficos y geotécnicos puntualizados; análisis de tratabilidad de los efluentes, realizando plantas pilotos o a escala de laboratorio, cuando sea necesario;
 - relación de medidas para los procesos de tratamiento de la planta y su diseño hidráulico sanitario;
 - diseños arquitectónicos, eléctricos, mecánicos y estructurales.
 - planos y memoria técnica del proyecto;
 - presupuesto referencial y fórmula de actualización de precios;
 - especificaciones técnicas para la construcción y manual de operación y mantenimiento.
- Para la elección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se utilizará como guía los valores de la tabla 19.

- De acuerdo al origen del desecho, se definirá el modelo de tratabilidad biológica o fisicoquímica que requiera.
- Los métodos de lagunas deben situarse en un terreno amplio y exterior donde no predomine cauces de ríos, torrentes y avenidas, de lo contrario, se deberán planificar obras de protección, ubicándose lo más apartada posible de los centros poblados y deben indicarse las siguientes longitudes como medidas mínimas:
 - tratamientos anaerobios (500 m);
 - lagunas facultativas (200 m);
 - sistemas con lagunas aireadas (100 m); y
 - lodos activados (100 m)
 - filtros percoladores (100 m).
- Al sistema estructural ubicado entre el lugar de entrega del emisor y los procesos preliminares del tratamiento se le llama estructuras de llegada, teniendo en cuenta el caudal máximo horario para dichas estructuras.
- De acuerdo al tipo de bomba se ubica la estación de bombeo (si es que existiera), para las bombas de tipo tornillo, esta se puede situar antes del tratamiento preliminar, presidida de cribas gruesas las cuales tendrán una abertura que será menor al paso de rosca.

2.2.6. Metodologías aplicables para la identificación y valoración de impactos

Ambientales

2.2.6.1. Matriz de Leopold:

Es un método que se creó para las evaluaciones de impacto ambiental. Fue preparado para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior norte americano y es un sistema de información que sirve como elemento de guía de los informes y de las evaluaciones de impacto ambiental.

Para iniciar con el uso de la matriz de Leopold, se debe indicar las interacciones presentes, para ello se toma en cuenta primero las acciones (columnas) que tienen cabida dentro del proyecto en cuestión. Luego, para cada acción, se toman en cuenta todos los factores ambientales (filas) que son afectados significativamente, para ello se traza una diagonal en la cuadrícula correspondiente a la columna (acción) y fila (factor) considerados. Además, se

tiene marcadas las cuadrículas que representan a las interacciones (o efectos) a ser considerados. Posteriormente de marcar la totalidad de las cuadrículas que muestran posibles impactos se sigue a una evaluación de las más importantes y para ello cada cuadrícula admite dos valores:

a) Magnitud:

En la parte superior izquierda de todas las celdas, se escriben los números entre el 1 y el 10 con el fin de señalar la magnitud del posible impacto siendo (1= mínima) y se especifica delante el signo (-) si es negativo el impacto y (+) si es favorable, con el fin de realizar una valorización del impacto o de la variación potencial a ser provocada. [25]

b) Importancia:

Se refiere al peso respectivo del potencial impacto, y se coloca en la parte inferior lado derecho del cuadro. Se refiere a lo más relevante del impacto a cerca de la calidad del medio, y al área territorial afectada, tiene una calificación del 1 al 10 en orden de importancia. [26].

2.2.6.2. Matriz Causa Efecto

Actualmente se encuentra una gama de métodos para poder realizar la evaluación de impactos ambientales, Vicente Conesa Fernández preparó una matriz, llamada matriz de causa-efecto. Dicho procedimiento, se diferencia de los matriciales sencillos, porque incluye un algoritmo que sirve en el cálculo de la importancia como un modo de disminuir el sesgo mismo de éstos, convirtiéndolo en un método más potente y con resultados superiores. Aparte de lo antes dicho que se refiere a la sección cuantitativa, también incluye una cualitativa, con parecido similar con la de Batelle. Al iniciar su análisis, se necesita formular en el proyecto a desarrollar las actividades conectadas, además de sus potenciales efectos, producto de su vinculación con los factores ambientales. Así pues se procede a aplicar su valoración por medio de una matriz cualitativa que establece la importancia de cada uno de ellos mediante 11 criterios (12 si se considera la importancia).

Tabla 20. Criterio de ponderación Leopold

Escala de importancia		Escala de magnitud	
Muy baja	1 - 2	Puntual	1 - 2
Baja	3 - 4	Parcial	3 - 4
Moderada	5 - 6	Intermedia	5 - 6
Alta	7 - 8	Extensa	7 - 8
Muy alta	9 - 10	Total	9 - 10

Fuente: [26].

Tabla 21. Criterios de Evaluación de la Matriz de Significancia Ambiental

Criterio	Descripción	Valor	Criterio	Descripción	Valor
Naturaleza	Impacto beneficioso	1	Reversibilidad (RV)	Reversible	1
	Impacto perjudicial	-1		Poco reversible	2
	Baja	1		Reversible con mitigación	4
Intensidad (I) (Grado de destrucción)	Media	2	Acumulación (AC)	Irreversible	8
	Alta	4		No acumulativo	1
	Muy Alta	8		Poco acumulativo	2
	Total	12		Acumulativo	4
Extensión (EX) (Área de influencia)	Puntual	1	Efecto (EF)	Indirecto	1
	Local	2		Directo	4
	Regional	4		Irregular	1
	Global	8		Periodicidad (PR)	Periódico
Momento (MO) (Plazo de manifestación)	Largo Plazo	1	Recuperabilidad (MC)	Continuo	4
	Mediano Plazo	2		Inmediata	1
	Corto Plazo	4		Medio Plazo	2
	Inmediato	8		Mitigable	4
Persistencia (PE)	Fugaz	1	Sinergia (SI) (Regularidad de la manifestación)	Irrecuperable	8
	Temporal	2		Sin sinergismo	1
	Permanente	4		Sinérgico	2
				Muy sinérgico	4
Importancia= N X (3I+2EX+MO+PE+RV+AC+EF+PR+MC)					

Nota: Fuente: [25]

La importancia se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Importancia} = N \times (3I + 2EX + MO + PE + RV + AC + EF + PR + MC)$$

Tabla 22. Clasificación del Nivel de Importancia

Clasificación	Valoración
Impacto Negativo Irrelevante	Entre -13 y -25
Impacto Negativo Moderado	Entre -26 y -50
Impacto Negativo Severo	Entre -51 -75
Impacto Negativo Crítico	Entre -76 y -100
Impacto Positivo	Entre 13 y 100

Fuente: [25]

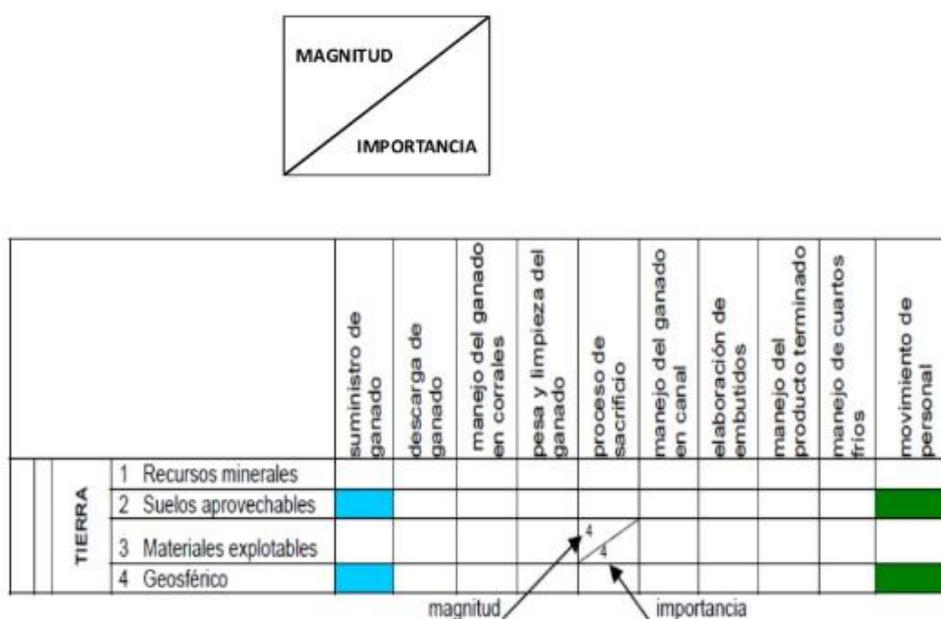


Fig. 5. Evaluación de la matriz Leopold

Fuente: [25].

2.2.6.2.1. Criterios de evaluación de la Matriz causa – efecto de Vicente Conesa

- Naturaleza: También llamado signo del impacto haciendo referencia al criterio beneficioso (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que van a afectar en los variados componentes ambientales.
- Intensidad (I): Es el nivel de incidencia del proceso respecto al componente ambiental, en el marco puntual en que se desarrolla.
- Extensión (EX): Es el área de influencia teórica del impacto en concordancia con el entorno del Proyecto.

- Momento (MO): Se refiere al tiempo que pasa entre la ocurrencia de la acción y el principio del efecto a cerca del componente ambiental.
- Persistencia (PE): Es el tiempo que se mantendría el efecto desde su ocurrencia en el elemento ambiental afectado y reanudar a las condiciones iniciales, anticipadamente al proceso por medios naturales, o a través de introducción de medidas correctivas.
- Reversibilidad (RV) Es la facultad de recuperar el componente ambiental perjudicado por el Proyecto. En pocas palabras, a la probabilidad de volver, por métodos naturales, al estado previo a las actividades de construcción una vez que la actividad deja de ejercer cambios sobre el medio.
- Sinergia (SI): Es el fortalecimiento de dos o más efectos simples, su manifestación que han sido provocadas por actividades que se dan de manera simultánea, es mayor a la manifestación de los efectos que cabría de esperar cuando las actividades que las incitan a actuar de forma independiente no simultánea.
- Acumulación (AC): Se define como el aumento progresivo de la manifestación del resultado, cuando continúa de manera frecuente a las acciones que lo genera.
- Efecto (EF): Está definido por la conexión causa - efecto y el modo directo o indirecto en que se presenta. El efecto es directo o primario, cuando el resultado de la actividad es efecto directo de ésta.
- Periodicidad (PR): Es la periodicidad de la manifestación del efecto, puede ser de forma cíclica o recurrente, de manera impredecible en el tiempo o persistente en el tiempo.
- Recuperabilidad (MC): Es la probabilidad de restauración, total o parcial, del componente ambiental afectado como consecuencia del Proyecto.
- Importancia del Impacto (I): Es la relevancia de la consecuencia de una actividad sobre un componente ambiental y viene representada por un número que se infiere a través una fórmula que está en función del valor asignado a los símbolos considerados.

2.2.7. Método de Ponderación de Factores

Se usa para escoger una alternativa entre varias alternativas posibles, es bastante simple ya que sólo necesita cálculos matemáticos como sumas y multiplicaciones. Se

puede aplicar a muchos campos, tales son: selección de proveedores, de equipos, de armamentos, de estrategias, etc.

Los pasos a seguir podrían resumirse en los siguientes:

1. Listar los factores más importantes
2. Fijar a los factores un ponderado relativo
3. Calificar individualmente a cada una de las opciones en estudio, para cada factor (de 0 a 10)
4. Multiplicar el coeficiente de ponderación del factor por la calificación correspondiente a cada alternativa
5. Sumar los productos hallados para cada alternativa
6. Elegir la alternativa a la que le pertenece la suma mayor

Para listar los factores más relevantes, primero hacemos un tamizado, que permite obtener las mejores alternativas. El asunto está en determinar cuál es la mejor, de acuerdo a los siguientes criterios de evaluación de métodos ponderados:

1. **Eficiencia de remoción:** Se medirá la carga de remoción de DBO, DQO y SST presentes en las aguas residuales.
2. **Costos de operación y mantenimiento:** Se tomará en cuenta los gastos de operación y mantenimiento, incluyendo los gastos de mano de obra, gastos de energía eléctrica, herramientas y materiales.
3. **Producto apto para reutilización:** El tratamiento elegido debe tener la facultad de erradicar el mayor porcentaje contaminante de los efluentes pues la calidad del agua tratada depende de la capacidad de remoción.
4. **Área de terreno requerida:** Se relaciona al terreno requerido para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.
5. **Consumo de energía:** El consumo eléctrico se encuentra relacionado con el uso de la maquinaria necesaria para su funcionamiento.
6. **Generación de Residuos:** Evaluando los diferentes tratamientos se define cuál de ellos origina mayor cantidad de residuos sólidos, los cuales deben ser dispuestos adecuadamente en condiciones adecuadas para su reutilización y eliminación.
7. **Tiempo de retención:** Este proceso se encuentra relacionado con el tiempo que los efluentes necesitan para ser tratados, teniendo como indicador la

generación olores, la eficiencia de descomposición de los factores biológicos, entre otros.

2.2.8. Diseño de medidor de caudal

Entre los diversos tipos de medidores de caudal uno de los más sencillos es un Canal Parshall compuesto principalmente por tres secciones, la garganta (W) que es el segmento angosto del canal, luego la entrada que es la parte convergente y la salida o trecho divergente, que contiene un medidor de caudal. Se puede apreciar la figura N° 06 un tipo de Canal de Parshall, construido de acuerdo a las especificaciones técnicas, asimismo se indica las medidas y nomenclaturas, que después están descritas.

En la figura 6 se aprecia desde una vista aérea o de planta y desde un corte transversal o vista frontal al flujo que ingresa por la parte convergente en la que se desarrolla el primer cálculo de altura del líquido (H_a), continuando por el segmento angosto del canal o garganta (W) por la cual pasa por medio del desnivel “K”, acá se desarrolla un segundo cálculo de altura (H_b), resultado de este desnivel el flujo lleva a cabo un salto hidráulico para desarrollar finalmente un tercer calculo (H_c) y fluir hacia la parte diferente y canal de salida. Este modelo es importante ya que el cálculo del comportamiento del caudal que ingresará al sistema de tratamiento, puede estar representado por la altura o velocidad del líquido pasante.

Un medidor Parshall tradicional consta de las partes siguientes:

Nomenclatura:

W: Ancho de la garganta.

A: Largo de las paredes de la sección convergente.

B: Largo de la sección convergente

C: Ancho de la salida.

D: Ancho de la entrada de la sección convergente.

E: Profundidad total.

F: Longitud de la garganta.

G: Longitud de la sección divergente.

H: Longitud de las paredes de la sección divergente.

K: Diferencia de elevación entre la salida y la cresta.

M: Longitud de la transición de entrada.

N: Profundidad de la cubeta.

X: Abscisa del punto de medición H_b .

Y: Ordenada del punto de medición.

La Tabla de medidas estándar para canales Parshall se puede observar en (Anexo N°05)

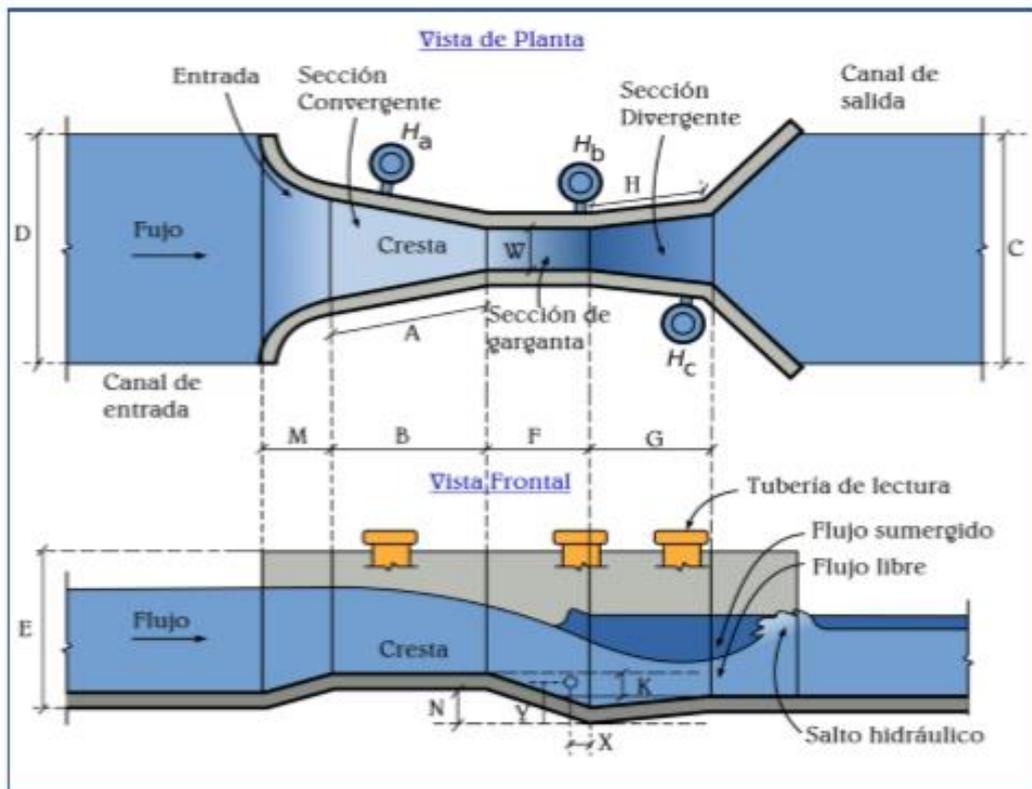


Fig. 6. Esquema tradicional de un canal de Parshall.

Fuente: Pedroza E. [38]

III. RESULTADOS

3.1. Cuantificar y determinar la caracterización de las aguas residuales

3.1.1. La empresa

La empresa agroindustrial Tumán S.A.A., se posicionada en el sector de la industria azucarera, dedicada a la producción de azúcar del distrito de su ubicación, hace un uso elevado de agua; siendo su principal fuente de recurso hídrico el Reservorio Tinajones, que es abastecido primordialmente por las aguas del río Chancay. Por ello, la empresa realiza elevadas retribuciones económicas al ALA (Autoridad local del Agua), debido al uso excesivo del agua industrial.

En tal sentido se tiene un consumo promedio de agua requerido en el proceso productivo de caña de azúcar es de 525 600 m³ por mes, obteniendo un flujo fijo similar a 200 L/s, disponiendo de una licencia de abastecimiento de agua por el ANA (autoridad nacional del agua) de 6 307 200 m³ anuales, de los cuales se destina para la etapa del lavado de caña 1 576 800 m³ al año deduciendo un consumo mensual en dicha etapa de 131 400 m³ con un flujo fijo de 54 L/s.

3.1.2. Descripción del proceso productivo

Con el afán de industrializar la caña de azúcar, se realiza un proceso que consta de una serie de etapas que se encuentran interconectadas entre sí, para lo cual, se utilizan altos volúmenes de recurso hídrico en su producción, y también se agregan ciertos aditivos que contribuyen en la clarificación de los jugos extraídos de la planta, esto ayudan a distinguir el color final del producto, en producción se toma un tiempo de ocho horas desde el inicio hasta que el producto sea envasado. Seguidamente, se detallan los sub-procesos realizados para obtener azúcar de caña de azúcar.

- **Recepción de la caña:**

La materia prima se encuentra en los traylers que ingresan al recinto de la empresa, con capacidades similares a las 30 t, donde se registra el origen y datos relacionados, los que ayudan a controlar eficientemente la materia prima, es el jefe de transporte el encargado de esta actividad, para seguidamente ser encaminado al área de trapiche para los procesos posteriores:

- **Pesado de Caña:** Comprende el pesaje de las unidades, con la finalidad de contabilizar la cantidad de caña que se suma al sistema productivo, utilizando

balanzas de plataforma, que tienen capacidad de 60 t y su plataforma consta de medidas, cuyo largo es 18 m y tiene un ancho de 4 m.

- Descarga de la caña: Después del pesar cada unidad, ingresan a una grúa de hilo de capacidad de 30 t, la cual tiene por finalidad almacenar temporalmente la materia prima en la mesa alimentadora de aproximadamente 80 t de carga útil.

- **Lavado de la caña:**

Para dar ejecución a este proceso se realiza por medio de aspersion de agua la cual debe estar a temperatura ambiente, este proceso toma un tiempo promedio de 3 minutos, la finalidad de este sub-proceso consiste en apartar la tierra y otros materiales que no son necesarios para el sistema de producción, estos materiales se colocan en fajas transportadoras disponiéndolos como agregados agrícolas, las aguas residuales resultantes se vierten directamente al colector de las aguas residuales.

- **Molienda de caña:**

Los productos que no contienen sustancias indeseables son transportados hacia los molinos con el fin de ser picados y seguidamente prensados, extrayendo en lo posible los contenidos de sacarosa de la caña, se denomina maceración al proceso de extracción, y el residuo resultante “bagazo” se dispone a áreas fuera de las instalaciones por vía de fajas transportadoras donde se deshidratan para ser utilizado en las calderas como materia prima de combustión para producir vapor saturado empleándolo en el funcionamiento de los molinos.

- **Balanza de jugo:**

Del proceso anterior, la molienda, se consigue un jugo de color verde oscuro, ácido y turbio, el cual es dispuesto para su pesaje en dos balanzas automatizadas y seguidamente ser derivado al área de producción de azúcar rubia. En lo que se refiere al bagacillo resultante del filtro, estos retornan a la molienda.

- **Encalamiento:**

A este proceso entra un jugo recibido de la molienda con un (pH aproximado de 5,2), el cual es tratado con lechada de cal, incrementando el pH con el propósito de disminuir las posibles pérdidas de sacarosa, además esta consigue precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que puedan venir en el jugo de tal manera que aceleran el poder coagulante y se aumenta la temperatura del jugo encalado por un sistema de

tubos calentadores. Los sólidos se sedimentan en forma de lodo que se le llama cachaza y queda en la parte superior del tanque un jugo claro y limpio.

- **Calentadores:**

De la etapa anterior proviene el jugo previamente encalado, el cual ingresa a los seis calentadores, de los cuales los tres primeros elevan la temperatura del jugo a 85 °C y los otros tres a 105 °C favoreciendo de este modo la etapa siguiente de clarificación.

- **Clarificación:**

Después del calentamiento se coloca floculante para agrupar a las impurezas sólidas insolubles, ya que se agrupan en forma de flóculos, y son más pesadas que los jugos tienen a sedimentar, esta segregación de los sólidos suspendidos se lleva a cabo en equipos clarificadores, de donde se logra obtener un jugo brillante y limpio, llamado “jugo clarificado” .

- **Filtración (recuperación del jugo filtrado):**

El jugo que se encuentra en la cachaza, debe ser recuperado, para lo cual se utilizan filtros rotativos al vacío obteniéndose:

- 1) Torta de cachaza que se utiliza como abono en los cultivos de caña, ya que contiene nutrientes.
- 2) El jugo filtrado que es alimentado al clarificador de jugo con el fin de separar impurezas sólidas presentes y así conseguir un jugo que pueda ser reingresado al proceso.

- **Evaporadores:**

Es en esta sección donde el jugo ingresa a evaporación, con el fin de reducir la mayor parte del agua contenida en el jugo, ya que este contiene alrededor de 82% - 87% de agua, con el empleo de los evaporadores de múltiple efecto, el agua contenida se consigue disminuir en un 33% - 40% con 60-37 °Brix, obteniendo aquí “meladura” que es el jugo resultante concentrado de los evaporadores.

- **Cocimiento:**

Del proceso anterior, evaporización se obtiene la meladura que ingresa inmediatamente a la etapa final donde se realiza la extracción de agua o concentración

máxima, aquí a medida que el jugo se concentra, se eleva la viscosidad y es aquí donde empiezan a aparecer cristales.

El material pierde fluidez por lo que se debe llevar otro manejo, ya que es difícil llevarlo a través de tubos estrechos entre un cuerpo a otro, es por ello que la evaporación se lleva a cabo en un solo efecto en un equipo que es parecido a los evaporadores que resultan adecuados para tratar el producto viscoso, dichos equipos son llamados tachos. Ya que de estos depende la calidad del azúcar, por lo que emplea un vapor de baja presión, y con temperaturas bajas. El resultado son masas cocidas que pueden tener purezas altas o bajas por lo que se trata de conservar una temperatura específica.

- **Cristalización:**

Es llevado a cabo en los tachos, que resultan ser recipientes al vacío de un solo efecto, de aquí se obtiene una masa cocida el cual alberga líquido (miel) y cristales (azúcar), empleando el sistema de tres cocimientos para conseguir la más alta concentración de sacarosa.

- **Centrifugación**

En la centrifuga se logra apartar los cristales de azúcar, de la miel, estos son cilindros de malla bastante fina que giran a altas velocidades, los cristales quedan en el cilindro y el líquido se va por la malla. La miel retorna a los tachos o por el contrario termina empleándose como materia prima para producir alcohol etílico en la destilería. El azúcar de alta calidad se retiene en las cribas de las centrífugas para ser disueltas con agua caliente enviándose a la refinería para su posterior procesamiento. Cabe recalcar que hasta aquí, se obtiene la llamada Azúcar Rubia, a causa del color de los cristales.

- **Envasado:**

Después de secado el azúcar "A" en las secadoras rotativas, el azúcar seco es llevado con dirección a las tolvas para ser almacenado y posteriormente ser envasado en sacos de papel kraft con triple capa de 50 kg. En el momento del llenado de sacos se controla rigurosamente el kilaje de los sacos. Una vez que se tiene envasado el producto, rápidamente es conducido hacia las Bodegas de Azúcar, donde son almacenados para que de inmediato se efectúe la entrega a los clientes. En la siguiente figura, se puede observar el diagrama de flujo de la etapa de producción, la cual ha sido descrita anteriormente.

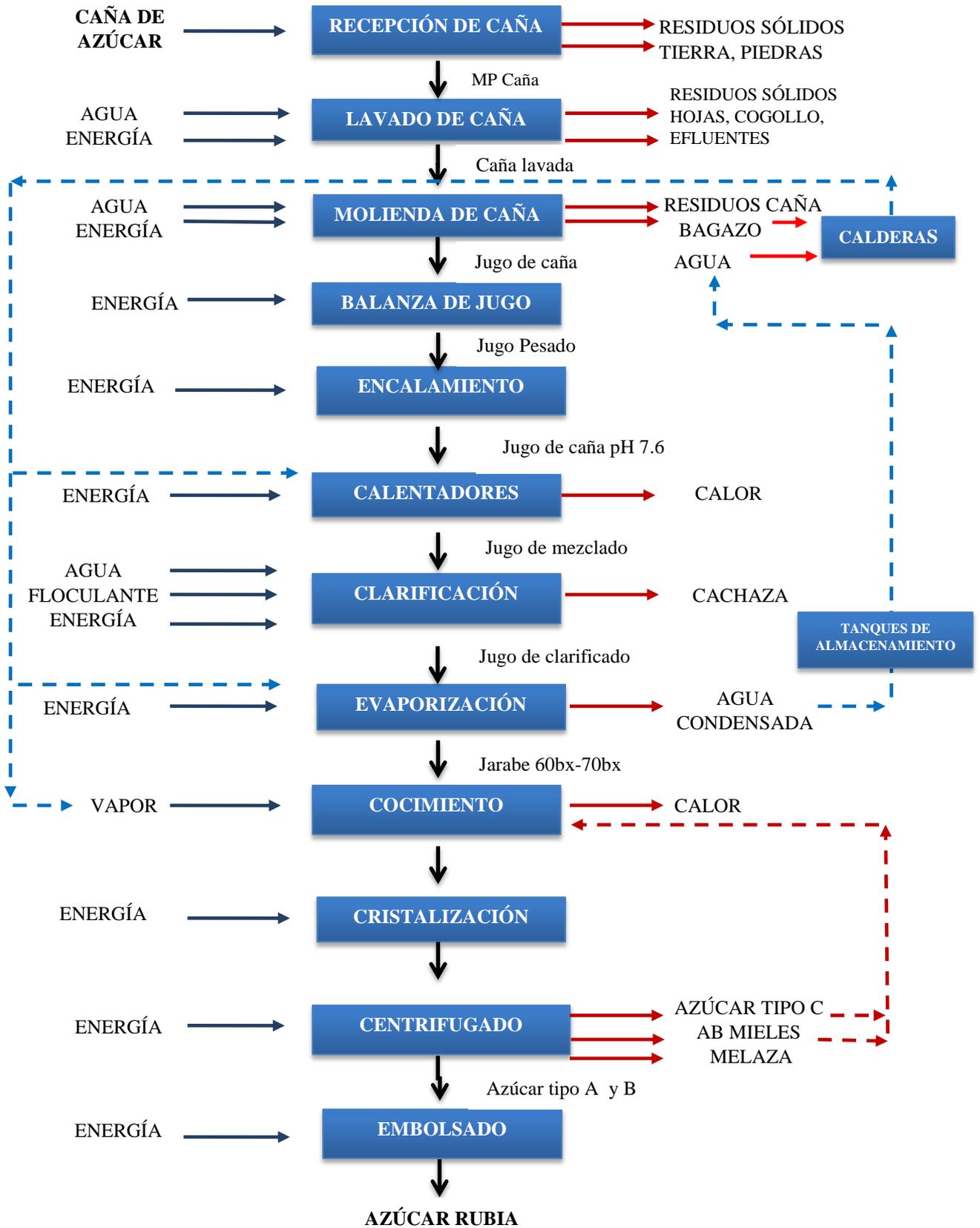


Fig. 7. Etapa de producción de la caña de azúcar

Fuente: Datos de la empresa agroindustrial Tumán.

3.1.3. Situación de los efluentes industriales en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Es sabido que en la industria azucarera, el consumo de los recursos hídricos resulta ser un factor y una necesidad de suma relevancia, con elevada demanda para el proceso productivo, por esta razón, es prioritario su abastecimiento, citado recurso actualmente está dirigido por el ANA (Autoridad Nacional del Agua), de ahí que la empresa Tumán S.A.A., necesita retribuir económicamente por su abastecimiento. El monto consumido por la entidad y el monto pagado a la autoridad competente, se puede observar en la Tabla 23, así como también el volumen utilizado en la etapa del lavado y su deducción en importe monetario (tabla 24).

Con relación, al consumo del agua se ha identificado áreas y tareas dentro de la empresa, en la que, se establecen o destinan flujos de agua para labores específicas ya sea en el curso del proceso productivo o cuando se realizan las pruebas de calidad. Respecto, a los efluentes industriales que son evacuados en fuentes receptoras reflejan un promedio similar a 547,27 litros/segundo, este caudal fluirá a canales de regadío ubicados cerca de la empresa y el exceso destinado al cauce del río Chancay – Lambayeque, de esta manera afectando de forma directa nuestro recurso hídrico.

En el transcurso de la elaboración de azúcar, el suministro de flujo de agua, se halla estrechamente vinculado con el lavado de la caña de azúcar, el agua que alimenta las calderas, enfriamiento de maquinarias y en la limpieza de ciertas operaciones y partes del proceso de producción, en donde, los mencionados procesos originan un uso elevado de agua, resultando que se originen una excesiva cantidad de agua residual, uniéndose con otros flujos que son derivados de otras actividades, generándose como resultado, variedad en las propiedades, químicas, físicas y biológicas. Las cuales definitivamente, significarán un peligro para los cuerpos receptores, alterando sus propiedades y características naturales.

3.1.4. Toma de muestra

Para realizar el respectivo análisis de las aguas residuales para nuestro estudio, se procedió a la toma de muestra, ejecutando la técnica de Muestreo de agarre (muestra recolectada en balde o una botella en un tiempo específico), se consiguió recolectar alrededor de 1 000 ml de muestra de efluente, en el punto donde confluyen las aguas residuales de las diversas etapas, a las 08:00 am aproximadamente, para ser almacenada y conservada a 5 °C de temperatura, disponiéndose la muestra para que

sea transportada hacia el laboratorio de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPSEL), donde se realizan los análisis correspondientes.

3.1.5. Caracterización de los efluentes

La muestra en mención que se colectó en los efluentes de la empresa Tumán, se consiguió realizar su respectivo análisis dentro de los laboratorios de la empresa de servicios de saneamiento (EPSEL), según tabla 25, dándonos por resultado valores correspondientes para cada contaminante definido y así poder ser utilizado en la ejecución del presente proyecto.

Tabla 23. Volumen hídrico adquirido por la empresa Tumán para su producción de azúcar.

	Clase	Tipo Uso	Volumen m³	Importe S/
2017	Superficial	Industrial	6 324 480	1 407 829,00
2016	Superficial	Industrial	6 307 200	1 363 616,00
2015	Superficial	Industrial	6 303 658	1 362 850,00
2014	Superficial	Industrial	5 440 953	1 142 600,00
TOTAL			S/	5 276 897,00

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Tabla 24. Volumen hídrico utilizado en la etapa de lavado.

AÑO	Clase	Tipo Uso	Volumen m³	Importe S/
2017	Superficial	Industrial	1 581 120	351 957,25
2016	Superficial	Industrial	1 576 800	340 904,25
2015	Superficial	Industrial	1 575 914	340 712,75
2014	Superficial	Industrial	1 360 238	285 650,00
TOTAL			S/	1 319 224,25

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Tabla 25. Resultados de análisis EPSEL.

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	LMP
SST	mg/l	967	300
pH	Unidad de pH	8,54	6 - 9
DBO	mg/l	1 841,2	250
DQO	mg/l	3 240	500
Aceites y Grasas	mg/l	19,5	10
Coliformes Fecales	NMP/100ml	3,50E+04	----
Coliformes Totales	NMP/100ml	5,40E+04	----
Temperatura	°C	36,8	40
Oxígeno Disuelto	mg/l	4,17	----

Fuente: Análisis de laboratorio EPSEL.

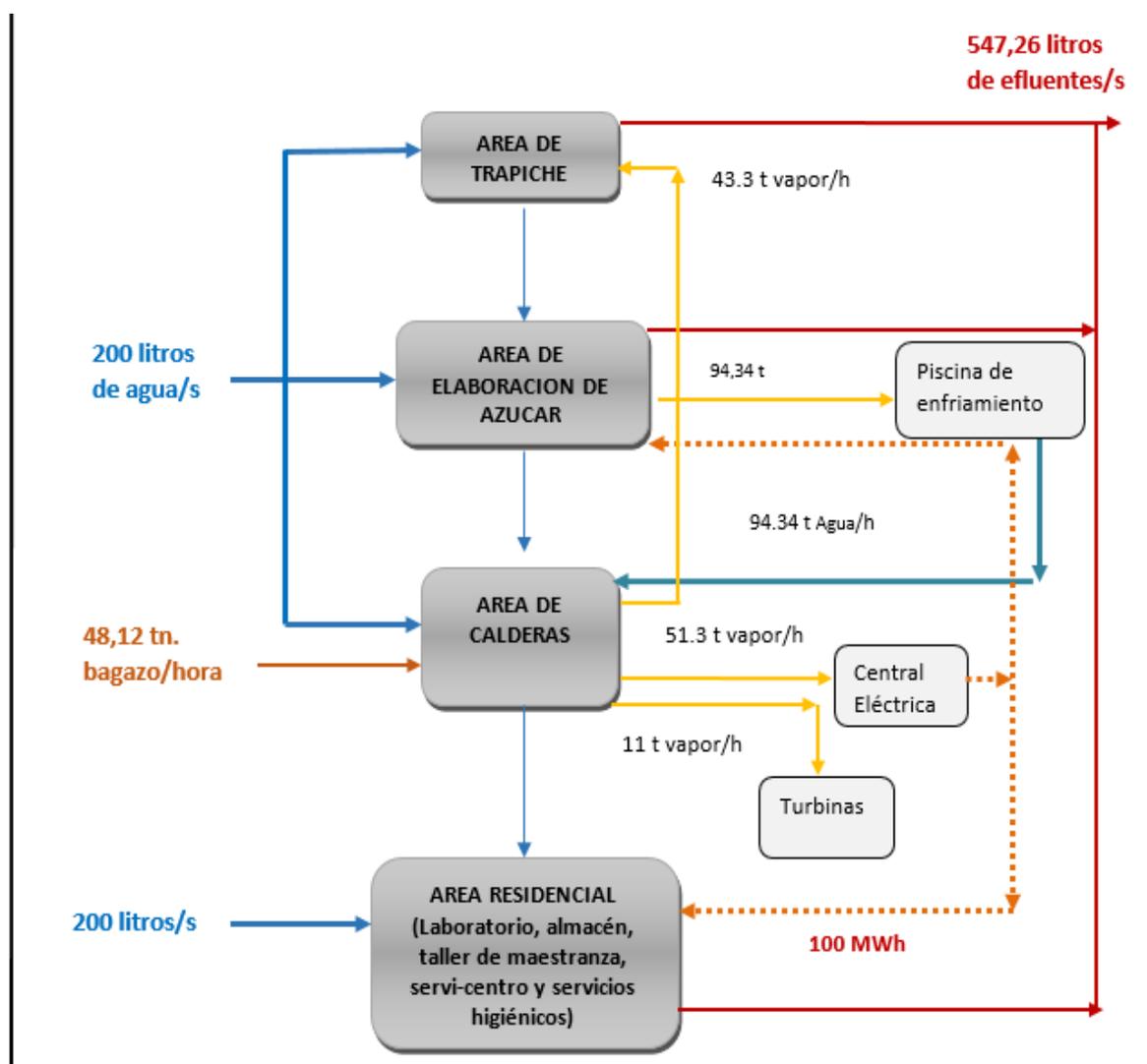


Fig. 8. Balance Hídrico de los efluentes de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Con respecto a los resultados arrojados de los contaminantes presente en los efluentes debido a los sub proceso en el cual fueron utilizados dentro de la empresa azucarera Tumán S.A.A, tratamos de explicar las posibles razones de los cambios con respecto a:

- Sólidos totales en suspensión, al obtener los resultados correspondientes, estos arrojaron un alto contenido, similar a 967 mg/l, determinando que este valor se encuentra fuera del intervalo contemplado por las normativa ambiental vigente de Límites Máximos Permisibles (LMP), el motivo principal que provoca que los efluentes posean carga de Sólidos suspendidos, esencialmente se debe a los sub-procesos que corresponde a que la caña de azúcar sea lavada, del mismo modo, con la intención de reducir la emisión de cenizas a la atmósfera la empresa consta de un sistema de purificación de gases, los cuales son descargados a los colectores.
- Con respecto a los coliformes fecales y los totales esencialmente esto se halla estrechamente relacionado con la presencia de agentes bacterianos, que al encontrarse en adecuadas situaciones ambientales para su evolución, proliferan. Es importante señalar que en la actualidad el sistema de drenaje de la empresa agroindustrial Tumán, se encuentra combinando sus redes de aguas de uso industrial con determinadas redes de agua de servicio en el interior de la empresa, resultando ser la fuente principal de microorganismos.
- El DBO y DQO y su presencia en las aguas residuales de la empresa, resultan ser producto de residuos de los azúcares que no se recuperan en el transcurso de la fase de producción, los cuales son aprovechados por los microorganismos.
- Aceites y grasas, con respecto a este contaminante resultan de las tareas de operación y lubricación de las maquinas, que al efectuar su limpieza con agua, terminan en el sistema de alcantarillado siendo evacuados fuera de la empresa.

3.1.6. Impactos ambientales generados

Para determinar la valoración de los impactos ambientales, generados por la evacuación de los efluentes de la empresa Tumán, se realizó las matrices de Leopold que consiste en la evaluación global de los aspectos e impactos importantes al efectuar actividades específicas y la matriz causa efecto por Vicente Conesa, que consiste en una forma resumida de los impactos que existe sobre los recursos naturales.

Tabla 26. Matriz de Leopold impactos ambientales en la industria azucarera

ACCIONES			ETAPA DE OPERACIÓN										
			RECEPCION M.P	PESADO	LAVADO	DESFIBRADO	MOLENDA	CLARIFICACION	EVAPORACION	CRISTALIZACION	SECADO Y ENFRIADO	EMBOLSADO	TOTAL
Factores Ambientales considerados													
Medio Físico	Aire	Gases	-2/2	-1/1	-1/1	-2/3	-3/2	-6/8	-8/8	-3/5	-6/5		-175
		Material Particulado	-5/7			-3/2	-7/8	-8/9	-8/7	-6/7	-2/2		-271
		Ruido	-3/5			-2/2	-6/5	-3/4	-6/8	-3/2	-1/2	-1/1	-118
		Olores residuales	-1/1					-4/3	-5/4	-2/3	-1/1	-4/2	-48
	Agua	Agua superficial	-1/1		-5/7	-5/4	-7/6	-3/4	-5/3	-1/2			-127
		Agua subterráneas			-7/6								-42
		calidad de agua			-7/8			-6/7	-2/4	-3/5			-121
		Disponibilidad de agua			-7/7		-6/5	-3/4	-3/4	-4/5			-123
	Suelo	Calidad suelo	-2/3		-4/6		-2/2		-2/2		-2/1		-40
		Erosión	-2/3		-2/3		-2/2		-2/2		-1/1		-21
Salinización				-2/3								-6	
Medio Biológico	Flora	Arboles	-1/1		-3/4				-3/2	-2/3	-3/2		-31
		Arbustos	-3/4		-3/5				-2/2	-3/2	-3/3		-46
		Hierbas			-2/4				-2/2	-3/2	-3/4		-30
		Especies en extinción								-2/3			-6
	Fauna	Aves	-2/2						-3/2	-2/3	-2/3		-22
		Mamíferos	-2/2						-3/3	-2/3	-2/2		-23
		reptiles							-2/3	-2/3	-2/2		-16
		Especies en extinción											
		Habitad	-3/3		-4/3				-2/2	-1/2			-29
	Paisaje	Migraciones											
		Cambios en forma del relieve	-1/1		-4/5		-3/2		-3/6				-45
		Contaminación visual	-3/5		-5/6		-4/2		-3/6	-4/5	-2/3		-45
		Cambios en la estructura del paisaje	-4/6		-6/6		-5/2		-3/5	-1/2	-2/1		-89
Medio Socioeconómico	Poblacion	Migración											
		Densidad Población											
		Empleo									8/8		64
	Economía	Salud	-3/5		-4/4				-5/6	-3/5	-3/4		-88
		Expropiación y/o compra de terreno											
		Actividad Comercial											
	Servicios	Desarrollo Local											
		Servicios médicos											
		Servicios educativos											
			-163	-1	-368	-22	-196	-210	-351	-187	-101	64	-1498

Fuente: Datos de la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A.

La industria azucarera constituye una problemática significativa en los recursos agua y aire, por ese motivo, la empresa debería ejecutar acciones correctivas con la intención de mitigar los problemas existentes, procurando métodos, sistemas o procesos que consigan mitigar los impactos negativos ocasionados en el ambiente así como también para la salud de las personas que laboran y están frontalmente relacionados con dichos procesos o sub-procesos industriales.

En cuanto a los gases se puede decir, que están relacionados, con la combustión de los vehículos utilizados en la carga y transporte de materia prima, así como también en el procesos de generación de vapor a presión, teniendo como fuente de energía el bagazo, con respecto a la generación de ruido, este se origina en las maquinarias y equipos que se utilizan en la elaboración de azúcar, además de las turbinas que posee la central eléctrica, del mismo modo, el material particulado, es generado cuando ingresan los vehículos en el ingenio y en la salida del bagazo que se almacenan en zonas para su secado.

Es en ese sentido que, se puede observar la magnitud del impacto ambiental y lo grave que se encuentra afectado los recursos hídricos, esencialmente las aguas superficiales dándonos un valor de -127, daño que, repercute en los cauces, al hacer uso de sus efluentes, así como también la variación de la calidad, esto por la complejidad de su composición de los efluentes en mención, del mismo modo se refleja un valor de -121, correspondiente a la disponibilidad de agua el cual nos indica el volumen del recurso utilizado en la industria azucarera.

Es indiscutible, el serio problema que se origina por las aguas residuales generadas, al requerir un elevado consumo de agua industrial, el cual se necesita en la industrialización de la caña de azúcar, y que por ello, se ejecutan diferentes procesos que va desde adicionar coagulantes, químicos reguladores de pH, sólidos en suspensión, melaza y otras sustancias de alto contenido de azúcares.

De los resultados de la matriz Leopold, queda estipulado que es de suma relevancia realizar acciones para reducir los agentes contaminantes de más alta valoración, por lo que, la empresa necesita procurar un esquema para mitigar los impactos encontrados, por medio de sistemas que consigan reducir los niveles de contaminación encontrados en sus efluentes.

Tabla 27. Matriz Causa Efecto de evaluación de Impacto Ambiental

Medio	Componente	Sub-Componente	Potencial de impacto	Atributo											Total	Importancia
				N	I	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
Medio Físico	Agua	Calidad de agua	Alteración de la calidad de agua	-1	4	2	2	2	4	2	1	4	4	2	-37	Impacto Negativo Moderado
	Suelo	Calidad de suelo	Alteración de la calidad del suelo	-1	2	1	2	2	4	2	4	4	4	2	-32	Impacto Negativo Moderado
	Atmósfera	Calidad de aire	Alteración de la calidad de aire	-1	2	2	2	1	1	1	1	4	4	2	-26	Impacto Negativo Moderado
Medio Económico y Cultural	Social	Seguridad y salud	Generación de olores	-1	1	1	1	2	1	1	1	4	4	2	-21	Impacto Negativo Irrelevante
			Accidentes/Enfermedades	-1	1	1	8	2	1	2	4	4	1	4	-31	Impacto Negativo Moderado
Mantenimiento de infraestructura y equipos	Empresarial	Mantenimiento de infraestructura	Generación de escombros	-1	1	1	4	2	1	2	4	4	2	1	-25	Impacto Negativo Irrelevante
			Generación de grasas	-1	2	1	4	4	4	4	4	4	2	4	-38	Impacto Negativo Moderado
			Generación de residuos	-1	2	1	4	4	4	2	4	4	2	2	-34	Impacto Negativo Moderado

Fuente: Datos de la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A.

- De acuerdo a la valoración obtenida por la matriz causa efecto de Vicente Conesa sobre el impacto ambiental producido, tomando en cuenta su valor inicial, se tiene por resultado que se encuentra seriamente afectada la calidad del agua con valores altamente perjudiciales, de igual forma, el nivel de intensidad se halla relacionado por la complejidad de dichos efluentes, que sin poseer tratamiento son evacuados hacia los cuerpos receptores, repercutiendo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- Los efectos resultantes en los cuerpos receptores producto de la contaminación, varía por el volumen y recurrencia de efluentes evacuados en estos cuerpos, pudiendo ser altamente afectado en un plazo corto de tiempo, siendo reversible de acuerdo a las técnicas de tratamiento que se puedan utilizar.

3.2. Determinar el mejor sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Los análisis realizados sobre las aguas residuales, evidencian una considerable contaminación presente en los efluentes industriales, que son evacuados día tras día en los cuerpos receptores, debido a esta razón, la posibilidad de solución ante el problema visible es evaluar, los diversos tipos de sistema de tratamiento para aguas residuales descritos en el punto 2.2.3 de esta investigación (Sistemas de tratamiento de efluentes), y el porcentaje de remoción (tabla 15), de acuerdo a la caracterización de las aguas residuales, se determina un tratamiento preliminar de desbaste y un sedimentador primario y emplear el método de factores ponderados conjuntamente con los datos de la tabla 19, para determinar el mejor sistema de tratamiento secundario de las aguas residuales para ser usadas en la etapa del lavado de caña.

3.2.1. Empleo de factores ponderados para la elección del tratamiento secundario.

Al momento de evaluar para la empresa Tumán el sistema de tratamiento de aguas residuales más adecuado, se tuvo presente el material descrito en el punto 2.2.3 del Marco teórico (Sistemas de tratamiento de efluentes) del mismo modo, se aplicó el uso de factores ponderados, considerando los factores siguientes:

- A) Eficiencia de remoción:** Para la remoción de los contaminantes encontrados en las aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán, el tratamiento a elegir deberá demostrar eficientemente la reducción de los parámetros DBO, DQO, SST, aceites y grasas, tabla 28.

- B) Costos de operación y mantenimiento:** Teniendo en cuenta los gastos generados en el empleo y mantenimiento de bombas, la empresa agroindustrial Tumán capacitará el personal calificado para dicha tarea, del mismo modo, al especialista responsable de las reparaciones.
- C) Producto apto para reutilización:** las aguas resultantes del tratamiento de los efluentes de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A. para poder ser reutilizadas en otros procesos productivos tendrán que contar con parámetros establecidos, donde se evidencie la reducción de los valores de los contaminantes encontrados en los respectivos efluentes.
- D) Área de terreno requerida:** De acuerdo a los requerimientos de terreno del tratamiento a implementar, es importante recalcar que la empresa dispone del terreno requerido, tabla 29.
- E) Consumo de energía:** Para este criterio es importante aclarar que la empresa posee su propia planta eléctrica, calificándose como empresa auto sostenible en el consumo de energía, tabla 30.
- F) Generación de Desechos:** En la elección del tratamiento de las aguas residuales de la empresa Tumán se debe tener en cuenta los residuos resultantes de los sub-procesos como el enfriamiento de máquinas, lavado de caña, mantenimiento de servicios higiénicos, para así de este modo generar la reducción de la carga de residuos suspendidos, materia orgánica, entre otros elementos flotantes.
- G) Tiempo de retención:** Se debe poner énfasis en los tratamientos que reduzcan los contaminantes presentes en el tiempo más corto posible, tomando en cuenta el total de la disposición de las aguas residuales de la empresa azucarera Tumán, por lo cual está relacionado el tiempo de retención con la remoción de los contaminantes, tabla 31.
- H) Mano de obra:** Quedará a cargo de la empresa Tumán, evaluar su personal, que empleara en el sistema de tratamiento, priorizando calificaciones y desempeño destacados de acuerdo al sistema escogido.

Tabla 28. Eficiencia de remoción de los tratamientos secundarios

Tratamiento	Eficiencia de Remoción		
	DBO	DQO	SS
Laguna de estabilización	50 - 70	-	20 - 60
Lodos activados	90 - 98	85 - 90	85 - 98
Reactores anaerobios	80 - 90	-	-

Fuente: [34]

Tabla 29. Área de terreno requerido de los tratamientos secundarios

Sistema de Tratamiento	Área de terreno requerido m ²
Lagunas de estabilización	De acuerdo a cantidad de efluentes
Lodos Activados	De acuerdo a cantidad de efluentes
Reactores Anaeróbicos	48
Filtros Percolares	83 -360

Fuente: [21]

Tabla 30. Consumo de energía de los tratamientos secundarios

Tratamiento	Consumo de energía
Laguna de estabilización	> 15 W/m ³
Lodos Activados	30 - 50 W/m ³

Fuente: [22]

Tabla 31. Características de los tratamientos secundarios

Sistema de Tratamiento	Eficiencia de Remoción %			Área de terreno requerido m ²	Consumo de energía w/m ³	Tiempo de retención	Costos de operación y Mantenimiento
	DBO	DQO	SST				
Lagunas de estabilización	90-98	85-90	80-90	alto	>15	2-10 d	medio
Lodos Activados	90-98	85-90	85-98	medio	30-50	2-5 d	bajo
Reactores Anaeróbicos	80-90	80-90	90-95	bajo	alto	bajo	alto
Filtros Percolares	50-90	---	80-90	bajo	alto	bajo	alto

Fuente: [38]

Comparación de factores:

Una vez examinado cada factor, se procederá a identificarlos con una letra, permitiéndonos así un fácil entendimiento de la matriz de comparación de factores para poder seleccionar conforme al más alto puntaje, los factores más relevantes en la elección del tratamiento de efluentes:

A= Eficiencia de remoción	B= Costos de operación y Mantenimiento
C= Producto apto para su Reutilización	D= Área de terreno requerida
E= Consumo de energía	F= Generación de Residuos
G= Tiempo de retención	H= Mano de obra.

3.2.2. Ponderación de los tratamientos secundarios

En la determinación para definir el sistema de tratamiento secundario óptimo para los efluentes de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A. se procedió a tomar en cuenta los datos más relevantes de cada sistema comparándolos entre ellos.

En los criterios de análisis se evaluó la existencia de una relación entre estos factores, con un “1” si hay relación y con “0” caso contrario. Resulto que los indicadores de mayor relevancia en la ponderación son la eficiencia de remoción, la generación de residuos sólidos y producto apto para su reutilización.

Entonces, una vez determinado los valores ponderados se continua para implementar los criterios de evaluación, por lo tanto para definir los puntajes y la escala, los valores están interconectados a la relación que se sostiene por las propiedades del sistema a utilizar y su calificación que se ubica entre el valor de 20 a 100 puntos, tabla 32.

En la tabla 33, se puede observar el comparativo entre los factores seleccionados para la elección del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Tabla 32. Rangos de calificación

Puntaje	Escala
20	muy malo
40	malo
60	regular
80	bueno
100	muy bueno

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Cuadro de análisis entre los factores ponderados

	A	B	C	D	E	F	G	H	Conteo	Ponderado (%)
A		1	1	1	1	1	1	1	7	15.22
B	1		1	0	1	1	1	1	6	13.04
C	1	1		1	1	1	1	1	7	15.22
D	0	1	0		1	0	1	1	4	8.70
E	1	1	1	0		0	1	1	5	10.87
F	1	1	1	1	1		1	1	7	15.22
G	1	0	1	1	1	1		0	5	10.87
H	0	1	1	1	0	1	1		5	10.87
TOTAL									46	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Calificación de los factores con respecto a los sistemas de tratamiento

Tratamientos		Lagunas de estabilización		Lodos activados		Filtros percolados		Reactores anaeróbicos	
Factor	Ponderado (%)	Cal.	Puntaje	Cal.	Puntaje	Cal.	Puntaje	Cal.	Puntaje
A	15.22	60	9.13	80	12.17	100	15.22	80	12.17
B	13.04	100	13.04	80	10.43	40	5.22	40	5.22
C	15.22	40	6.09	80	12.17	100	15.22	80	12.17
D	8.70	40	3.48	60	5.22	80	6.96	80	6.96
E	10.87	80	8.70	80	8.70	20	2.17	60	6.52
F	15.22	40	6.09	60	9.13	80	12.17	80	12.17
G	10.87	20	2.17	80	8.70	80	8.70	60	6.52
H	10.87	60	6.52	60	6.52	20	2.17	20	2.17
TOTAL		55.22		73.04		67.83		63.91	

Fuente: Elaboración propia.

Resultado

La ponderación de los sistemas de tratamiento secundario de los efluentes de la empresa Tumán, se pudo definir que el sistema de tratamiento mediante lodos activados es el mejor, por lo que se consigue la más alta valoración en 73,04 %, en dicho tratamiento.

3.3. Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en la empresa

3.3.1. Pronóstico de efluentes

En la realización del diseño, se consideró la cantidad de agua que se emplea para el proceso productivo de la empresa. Para tener idea del consumo de agua se solicitó a la empresa datos de los últimos 4 años. Tal como se muestra en la figura 9.

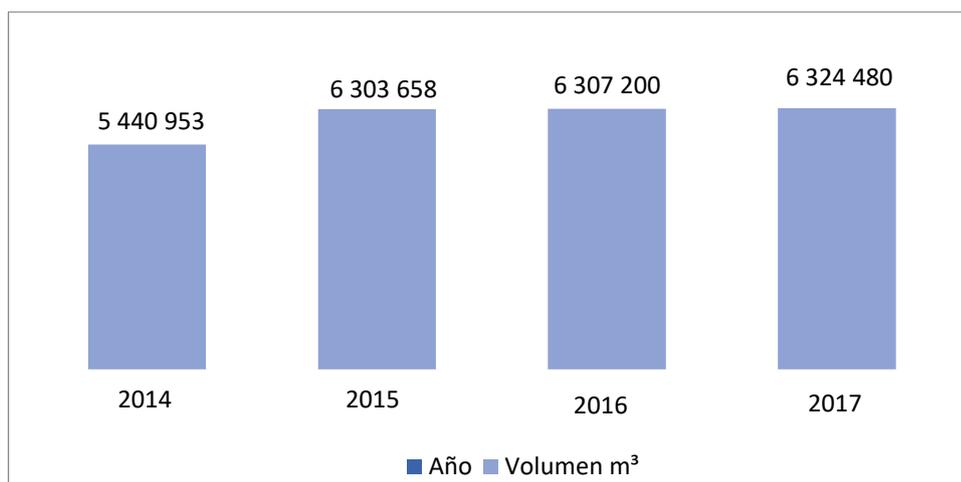


Fig. 9. Consumo hídrico para el proceso productivo de azúcar
Fuente: Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A.

Considerando estos datos y para el desarrollo del diseño, se consideró solo el agua usada para la etapa de lavado, considerando igual los últimos cuatro años registrados en la empresa, por ello utilizando el programa Excel para definir comportamientos y datos de relevancia en los efluentes, tal como se puede observar en la siguiente figura.

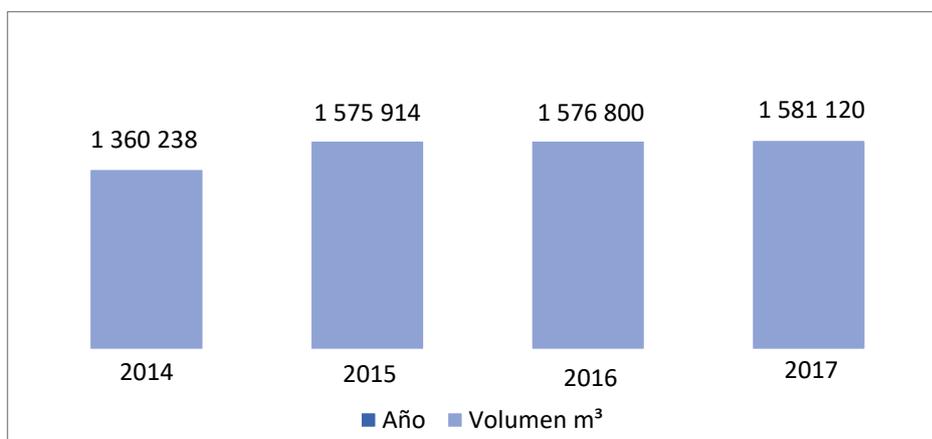


Fig. 10. Registro de consumo hídrico etapa de lavado de caña de azúcar
Fuente: Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A.

Queda demostrado que, de acuerdo a la información obtenida, la empresa Tumán, ha acrecentado el volumen de efluentes generados en el proceso de lavado, pudiendo ser producto del uso desmesurado del agua en el proceso en mención, dando una diferencia de 220 882 m³ registrados comparando desde el primer año, al 2017.

Determinando el pronóstico de las aguas residuales se usó el método de suavización exponencial doble, igualando un margen de error de 0,2 con proyección a cuatro años.

Tabla 35. Proyección del caudal de las aguas residuales en la etapa de lavado de caña de azúcar

Año	Volumen m³
2018	1 550 638
2019	1 567 431
2020	1 584 224
2021	1 601 018

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

También queda demostrado que la generación de efluentes en la empresa, mantiene una tendencia constante de demandas elevadas del recurso, el cual es debido al abastecimiento en el proceso de lavado de caña de azúcar.

3.3.2. Balance de materia del sistema

Con el pronóstico realizado del volumen de agua residual para el proceso de lavado, se planteó el balance de materia en cada fase del tratamiento determinado de dichos efluentes, por lo cual, conociendo el volumen y determinando la eficiencia remoción por proceso, se prosiguió a llevar a cabo los cálculos siguientes:

- Flujo volumétrico proyectado correspondiente al año 2021, que es de 1 601 018 m³ al año, resultando un flujo de 4 851,57 m³ por día, el cual es nuestra base para calcular el balance de materia.
- La remoción está relacionada a la Norma Técnica Peruana S90.

3.3.2.1. Balance en el desbaste:

Con respecto al desbaste, se tiene que tener en cuenta para su ejecución, lo estipulado en la Norma Técnica Peruana S90, que nos proporciona la información necesaria acerca del material cribado con relación a la separación entre barras. En la tabla 36 se puede observar la cantidad en litros de material

cribado de agua residual retenido según abertura, en milímetros, de las barras que puede ser de 20 a 40 mm de abertura, consiguiendo remover material fino o grueso.

Tabla 36. Cantidad de material cribado de agua residual

Abertura (mm)	Cantidad (L/m ³)
20	0,04
25	0,02
35	0,01
40	0,01

Fuente: Norma Técnica Peruana S90

Considerando los datos mostrados anteriormente, se procedió a determinar la cantidad de desbaste para material grueso y fino, sabiendo que el flujo de agua es de 4 851,57m³ al día para usar en el proceso de lavado.

a) Volumen de sólidos removidos (SR) mediante desbaste grueso

$$B2 = \frac{0,009 \text{ L de material cribado}}{1 \text{ m}^3 \text{ de AR}} * \frac{4\ 851,37 \text{ m}^3 \text{ de AR}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1\ 000 \text{ L}}$$

$$B1 = 0,044 \text{ m}^3/\text{día}$$

b) Volumen de sólidos removidos mediante desbaste fino

$$B1 = \frac{0,038 \text{ L de material cribado}}{1 \text{ m}^3 \text{ de AR}} * \frac{4\ 851,37 \text{ m}^3 \text{ de AR}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1\ 000 \text{ L}}$$

$$B1 = 0,184 \text{ m}^3/\text{día}$$

En la siguiente figura se puede observar el balance en el desbaste.

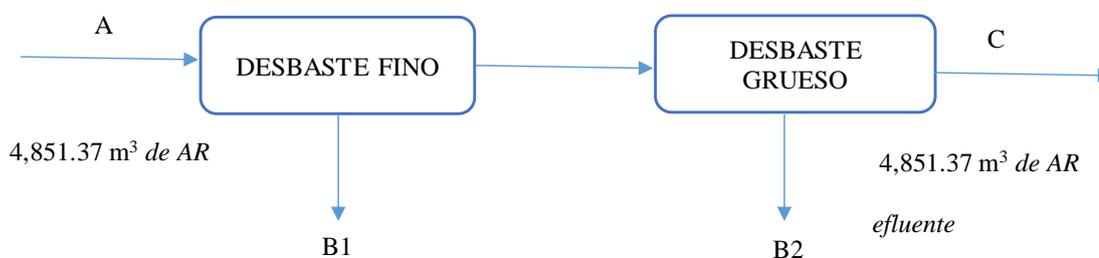


Fig. 11. Balance hídrico de desbaste.

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

3.3.2.2. Balance de desengrasado

Para la realización del balance de desengrasado, se consideró los coeficientes de remoción de contaminantes encontrados en los efluentes, obteniendo por cada contaminante DBO, DQO, SST y Aceites y grasas los valores siguientes en un porcentaje de 28%, 18%, 15% y 12% [42] respectivamente.

a) Cálculo de DBO

$$DBO = 120 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} * \frac{4\,851,57 \text{ m}^3 \text{ de AR}}{\text{día}} * \frac{1\,000 \text{ L}}{\text{m}^3}$$

$$DBO = 582,19 \text{ kg/día}$$

Porcentaje de remoción:

$$DBO = \frac{582,19 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 28\%}{100\%}$$

$$DBO = 163,01 \text{ kg/día}$$

b) Cálculo de DQO

$$DQO = 374,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} \times \frac{4\,851,57 \text{ m}^3 \text{ de AR}}{\text{día}} \times \frac{1\,000 \text{ L}}{\text{m}^3}$$

$$DQO = 1\,816,43 \text{ kg/día}$$

Porcentaje de remoción:

$$DQO = \frac{1\,816,43 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 18\%}{100\%}$$

$$DQO = 326,96 \text{ kg/día}$$

c) Cálculo de SST

$$SST = 967 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} * \frac{4\,851,57 \text{ m}^3 \text{ de AR}}{\text{día}} * \frac{1\,000 \text{ L}}{\text{m}^3}$$

$$SST = 4\,691,47 \text{ kg/día lodos}$$

Porcentaje de remoción:

$$SST = \frac{4\,691,47 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 15\%}{100\%}$$

$$SST = 703,72 \text{ kg/día}$$

d) Calculo de aceites y grasas

$$\text{Grasas} = 19,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} \times \frac{4\,851,57 \text{ m}^3 \text{ de AR}}{\text{día}} \times \frac{1\,000 \text{ L}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Grasas} = 94,61 \text{ kg/día}$$

Porcentaje de remoción:

$$\text{Grasas} = \frac{94,61 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 12\%}{100\%}$$

$$\text{Grasas} = 11,35 \text{ kg/día}$$

La cantidad que se consigue remover por día de aceites y grasas encontrados en los efluentes de la empresa agroindustrial Tumán es de 11,35 kg/día. En la tabla 37, se aprecian con relación por cada contaminante y su valor, el resultado del porcentaje de remoción en el proceso de desengrasado, el cual es el producto del porcentaje de remoción menos el cálculo.

Tabla 37. Porcentaje de remoción de contaminantes después del desengrasado

Entrada	Desengrasado Reducción	Salida
4851,57 m ³ /día		4 851,57 m ³ /día
DBO = 582,19 kg/día	DBO = 163,01 kg/día	DBO = 419,18
DQO = 1 816,43 kg/día	DQO = 326,96 kg/día	DQO = 1 489,47
SST = 4 691,47	SST = 703,72 kg/día	SST = 3 987,75
ACEI = 94,61 kg/día	ACEI = 11,35 kg/día	ACEI = 83,26
Cf. 3,5 E+04 NMP		Cf. 3.5 E+04 NMP

Fuente: Propia

3.3.2.3. Balance de sedimentación Primaria:

Para remover los contaminantes encontrados en las aguas residuales, tiene mucho que ver con el tiempo que pueda ser estas, retenidas en dichas estructuras, es por eso que se utilizó la Norma Técnica Peruana, la cual estipula algunos criterios de evaluación con respecto al periodo de retención nominal y su incidencia en los parámetros como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), en este proceso se tuvo en cuenta el resultado conseguido en el balance de desengrasado, por lo que se decidió ocupar 2 horas como periodo de retención nominal para determinar su eficiencia.

Tabla 38. Periodo de retención

PERRIODO DE RETENCIÓN NOMINAL (HORAS)	DBO (%)	SST (%)
1,5	32	56
2	36	60
3	40	64
4	42	66

Fuente: S90

Se puede estimar el porcentaje de remoción por cada contaminante encontrado de acuerdo a los valores de la norma técnica estipulados:

a) Cálculo de DBO

Porcentaje de remoción:

$$DBO = \frac{419,18 \frac{kg}{día} \times 36 \%}{100 \%}$$

$$DBO = 150,90 \text{ kg/día}$$

b) Cálculo de DQO

Porcentaje de remoción:

$$DQO = \frac{1\ 489,47 \frac{kg}{día} \times 36 \%}{100 \%}$$

$$DQO = 536,20 \text{ kg/día}$$

c) Cálculo de SST

Porcentaje de remoción:

$$SST = \frac{3\,987,75 \frac{kg}{día} \times 60\%}{100\%}$$

$$SST = 2\,392,65 \text{ kg/día}$$

d) Cálculo de Coliformes

$$Cf = \frac{(3,50 \times E + 0,4 \text{ NMP}) \times 40\%}{100\%}$$

$$Cf = 1,4 \times E + 0,4 \text{ NMP}$$

Tabla 39. Resultados de la sedimentación primaria

Sedimentación primaria	
Entrada	Salida
4 851,57 m ³ /día	4 821,57 m ³ /día
DBO = 419,18 kg/día	DBO = 268,28 kg/día
DQO = 1 489,47 kg/día	DQO = 953,27 kg/día
SST = 3987,75 kg/día	SST= 1 595,1 kg/día
ACEI. = 83,26 kg/día	ACEI. = 83,26 kg/día
Cf. 3.5 E+04 NMP	Cf. = 1,4E+0,4 NMP

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán.

Considerando que el porcentaje de eficiencia para la sedimentación primaria a través de los lodos primarios es de 60%, el flujo de salida sería:

$$F = 3\,987,75 \text{ kg/día} \times 0,6$$

$$F = 2\,392,65 \text{ kg/día}$$

3.3.2.4. Balance en el tratamiento secundario (Lodos Activados)

Para poder definir el porcentaje de remoción de los lodos, se tuvo en cuenta el resultado del proceso anterior de sedimentación primaria, que arrojó la cifra de 268.28 Kg/día de DBO, consiguiendo la remoción en base teórica del 90%.

Tabla 40. Balance de masa en el reactor

Parámetro	Carga de masa	concentración	% de remoción
DBO	268,28 kg/día	16,276 kg/m ³	90%
DQO	953,27 kg/día	4,580 kg/m ³	90%
SST	1 595,1 kg/día	2,98 kg/m ³	98%
ACEI	83,26 kg/día	52,44 kg/m ³	90%
Cf.	-	1,4*E+04 NMP.	90%

Fuente: Norma Técnica Peruana S90

a) Cálculo de DBO

$$DBO = \frac{4\,851,57 \frac{m^3}{día}}{268,28 \frac{kg}{día}} * (0,9)$$

$$DBO = 16,276 \text{ kg/m}^3$$

b) Cálculo de DQO

$$DQO = \frac{4\,851,57 \frac{m^3}{día}}{953,27 \frac{kg}{día}} * (0,9)$$

$$DQO = 4,580 \text{ kg/m}^3$$

c) Cálculo de SST

$$SST = \frac{4\,851,57 \frac{m^3}{día}}{1\,595,1 \frac{kg}{día}} * (0,98)$$

$$SST = 2,98 \text{ kg/m}^3$$

d) Cálculo de ACEIT.

$$ACEIT. = \frac{4\,851,57 \frac{m^3}{día}}{83,26 \frac{kg}{día}} * (0,90)$$

$$ACEIT. = 52,44 \text{ kg/m}^3$$

Hay que tener en cuenta, el resultante obtenido en el tratamiento primario (sedimentación) y así ejecutar el balance de materia en el sistema secundario, dado que, es por procesos de recirculación que opera el sistema de lodos activados, elevando su eficiencia, puesto que los microorganismos se encuentran como elementos suspendidos en los efluentes, optimizando el proceso de degradación de la materia orgánica.

3.3.3. Tratamiento en la laguna de sedimentación secundaria

a. Determinación de la edad de los lodos:

Se tendrá que utilizar el cálculo del sustrato en el tratamiento para poder definir este valor, determinando que el tiempo de retención corresponde a 4 horas, tomando en cuenta que la jornada laboral es de 24 horas en la empresa, se define que Θ es 0,25

Tabla 41. Cálculo del sustrato en el reactor (S)

Valores	Intervalos	Recomendado
Edad de los lodos (Θ_c) en días	5 - 15	10
Concentración de SSTA (X) (kg/m ³)	3 - 6	4,5
Tiempo de retención (Θ) en horas	3 - 6	6
Carga de masa (kg DBO/kg SSTA por día)	0,2 - 0,6	0,4
Tasa de recirculación	25 - 100	75

Fuente: [37]

Tabla 42. Valores típicos de coeficientes cinéticos en procesos de lodos activados

Coefficientes	Unidades para SSV	Rangos	Típico
y	mg VSS/mg BOD ₅	0,4 - 0,8	0,6
b	d ⁻¹	0,025 - 0,075	0,06
k	mg/l BOD ₅	25 - 100	60

Fuente: [12]

b. Calculo de DBO de salida “S”

En la obtención de este valor se procede a dividir el tiempo de retención que corresponde a seis, por el jornal de trabajo de veinticuatro horas, teniendo un valor de a 0.25 d por resultado, seguidamente, se divide con el periodo establecido a criterio para la edad de los lodos, y a su vez se multiplica con el coeficiente

bacteriano igual a 0.6, se hace mención que esta fórmula da cumplimiento con el requisito de definir la proporción de lodos en sistema de salida.

$$X = \frac{\theta_c}{\theta} Y \left(\frac{S_0 - S}{1 + K_d * \theta_c} \right)$$

$$4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST} = \frac{10 \text{ d}}{0.25 \text{ d}} * \left(0.6 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DBO}} \right) * \left(\frac{16.276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} - S}{1 + 0.06x 10 \text{ d}} \right)$$

$$4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST} = \left(\frac{10 \text{ d}}{0.25 \text{ d}} * \left(0.6 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DBO}} \right) \right) * \left(\frac{16.276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} - S}{1 + (0.06x 10 \text{ d})} \right)$$

$$4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST} = \left(24 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DBO} * \text{d}} \right) * \left(\frac{16.276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} - S}{1,6 \text{ d}} \right)$$

$$\left(4.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST} \right) * 1.6 \text{ d} = \left(24 \frac{\text{kg SST}}{\text{kg DBO} * \text{d}} \right) * \left(16.276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} - S \right)$$

$$\left(7.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST} * \text{d} \right) = \left(390.624 \frac{\text{kgSST}}{\text{m}^3 \text{DBO} * \text{d}} \text{DBO} - 24S \right)$$

$$\left(7.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST} * \text{d} - 390.634 \frac{\text{kgSST}}{\text{m}^3 \text{DBO} * \text{d}} \right) = (-24S)$$

$$S = 15.976 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO}$$

Teniendo definido el valor de DBO final en el efluente se procede con el cálculo del volumen del tratamiento. Para lo cual se aplica la siguiente formula:

c. Cálculo del volumen del tratamiento:

Calculada la salida de DBO del sistema de tratamiento, se identificará el volumen necesario para el tratamiento de las aguas residuales, por lo cual se continuara operando con el coeficiente bacteriano, edad de los lodos, caudal, coeficiente de crecimiento bacteriano y la entrada y salida de DBO.

$$y = \frac{TRC * Y * Q * (S_0 - S)}{X * (1 * (k_d * TRC))}$$

Dónde:

- y = Volumen del sedimentador (m³)
- S₀= DQO inicial en el efluente (kg/m³)

- X= Sólidos suspendidos del licor mezclado en el tanque
- Y= Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0.4 – 0.8)
- S= DQO final en el efluente (kg/m³)
- Kd= Coeficiente de eliminación de bacterias (oscila entre 0,040 – 0,075)
- TRC= Tiempo de retención celular (d)
- Q= Caudal de aguas residuales (m³/d).

$$y = \frac{10 d * 0,6 \frac{kgSST}{m^3DBO} * 4 851,57 \frac{m^3}{d} * \left(\frac{16,276kg}{m^3} - 15,976 \frac{kg}{m^3} DBO \right)}{4,5 \frac{kg}{m^3} SST * (1 + (0,06/d * 10d))}$$

$$y = 1 830,78 m^3$$

Será 1 830,78 m³ el volumen total necesario para el tratamiento de las aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán, dicha cifra podrá ser confirmado al efectuar una multiplicación por cuatro arrojándonos el volumen total de agua residual. Para continuar, se calculará la carga másica, donde se usará la formula siguiente:

$$Cm = \frac{So * Q}{y * X}$$

$$Cm = \frac{16,276 \frac{kg}{m^3} DBO * 4 \frac{851,57m^3}{d}}{1 830,78m^3 * 4,5 \frac{kg}{m^3} SST}$$

$$Cm = 9,585 \text{ kg DBO/kg SST*d}$$

d. Calculo de masa del lodo residual o purga:

En la realización de este cálculo se toma el resultante del cálculo anterior del volumen del tratamiento de 1 830,78 m³ y la edad de los lodos correspondiente a 10 días.

$$TRC = \frac{y * X}{Qp * Xr}$$

$$Qp * Xr = \frac{y * X}{TRC}$$

$$Qp * Xr = \frac{1\,830,78\text{m}^3 * 4,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{SST}}{10\text{ d}}$$

$$Qp * Xr = 823,851 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{SST}$$

e. Cálculo del volumen del lodo residual (w)

Conociendo la densidad relativa promedio de los lodos residuales correspondientes a 1 030 kg/m³, se obtuvo que:

$$W = \frac{Qp * Xr}{\text{Densidad del lodo}}$$

$$W = \frac{823,851 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{SST}}{1\,030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$W = 0,799 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{SST}$$

f. Cálculo de la producción de biomasa diaria:

Los valores asignados para (Xo) y (Xe) son despreciables

$$QXo + V \frac{dx}{dt} = (Q - Qx)Xe + Qw Xw$$

$$V \frac{dx}{dt} = 823,851 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{SST}$$

$$Q * So - V \frac{dS}{dt} = (Q - W) * S + W * S$$

Como dato se tiene:

$$- Q * So = \left(4\,851,57 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 16,276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} \right) = 78\,964,15 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DBO}$$

$$- Q - W = \left(4\,851,57 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 0,799 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) = 4\,850,771 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$- S = 15,976 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{DBO}$$

$$- W * S = \left(0,799 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 15,976 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} \right) = 12,76 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$78\,964,15 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DBO} - V \frac{dS}{dt} = \left(4\,850,771 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) * 15,976 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} + 12,76 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$78\,964,15 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DBO} - V \frac{dS}{dt} = 77\,508,68 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DBO}$$

$$V \frac{dS}{dt} = 1\,455,47 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{DBO}$$

g. Cálculo para determinación de oxígeno

$$\text{O}_2 \text{ Necesario} = Q * (S_0 - S) - 1,42 (W)$$

$$\text{O}_2 = 4\,851,57 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \left(16,276 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} - 15,976 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{DBO} \right) - 1,42 \left(823,851 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{SST} \right)$$

$$\text{O}_2 = 285,6 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Tabla 43. Remoción de contaminantes en el sedimentador secundario

Parámetro	concentración	% de remoción	Valor removido
DBO	16,276 kg/m ³	90%	14,6484 kg/m ³
DQO	4,580 kg/m ³	90%	4,122 kg/m ³
SST	2,98 kg/m ³	98%	2,92 kg/m ³
ACEI	52,44 kg/m ³	90%	47,19 kg/m ³
Cf.	1,4*E+04 NMP.	90%	1,26*E+04 NMP

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán.

Diagrama de bloque de las aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán

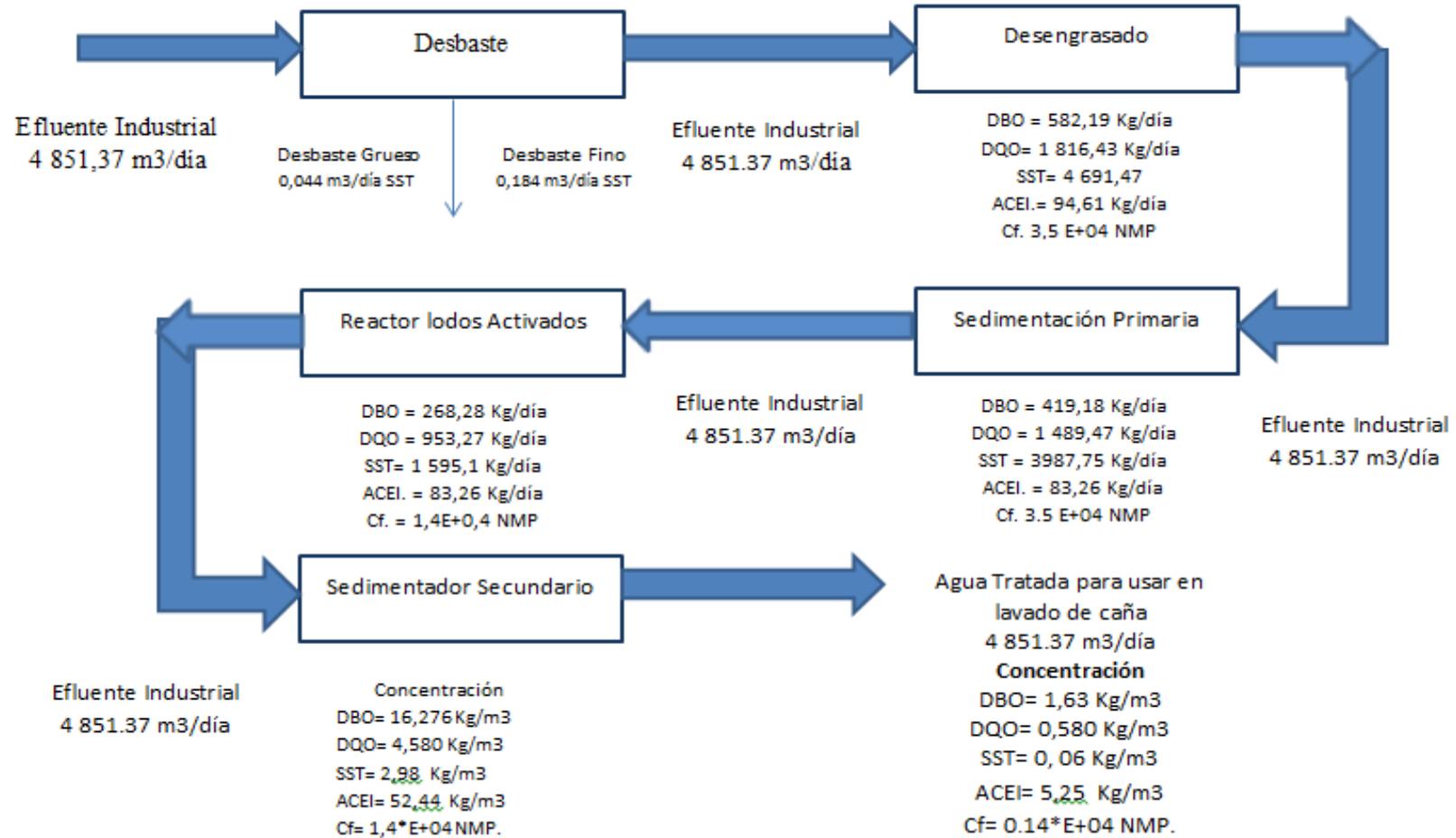


Fig. 12. Diagrama de bloque de las aguas residuales de la empresa agroindustrial Tumán
Fuente: Empresa agroindustrial Tumán

3.3.4 DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En el dimensionamiento y diseño para los equipos del tratamiento se requirió de información sobre la proyección del volumen total en el último año (tabla 35 y el número de horas diarias de trabajo en la empresa (24 horas).

3.3.4.1. Diseño del tratamiento Preliminar

Para el diseño de cualquier tratamiento es importante un tratamiento preliminar, denominada desbaste, por ese motivo es importante considerar el volumen del caudal que pasará por las barras del mismo. Por ello, el desarrollo se tomó en cuenta las especificaciones de la norma OS.90 y el método de H canales, el cual se describirá a continuación:

A) Canal de entrada:

Considerando que el caudal máximo del proceso de lavado es de 1 601 018 m³/año, siendo este el causal máximo, se proyectaron los caudales mínimos y promedios, los cuales se muestran en la tabla 44.

El canal propuesto es de sección rectangular y a cielo abierto.

Como datos introducidos para el diseño del canal en el software H canales (ver figura 12) son:

Caudal máximo horario: 0,056 m³/s

Coefficiente de rugosidad de Manning (Concreto): 0,014

Ancho de solera: 0,4 m (ancho del canal)

En la tabla 45 el software nos muestra las dimensiones del canal de entrada así como también la altura del canal con una medida de 0.30 m.

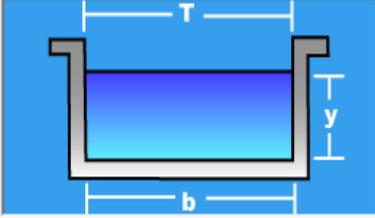
Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:

Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):
 Rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



Resultados:

Tirante normal (y): m Perímetro (p): m
 Area hidráulica (A): m² Radio hidráulico (R): m
 Espejo de agua (T): m Velocidad (v): m/s
 Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg
 Tipo de flujo:

Realiza la impresión de la pantalla

6:48 p. m. 2/06/2019

Fig. 13. Datos ingresados en el Software H canales para diseñar el canal de entrada.

Tabla 44. Caudales pronosticados en la producción de azúcar

Caudales	m ³ /mes	m ³ /día	m ³ /h	m ³ /s
Caudal mínimo	140 967	4 698	195	0,054
Caudal promedio	144 020	4 800	200	0,055
Caudal máximo	145 547	4 851	202	0,056

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán

Tabla 45. Resultados obtenidos para el diseño del canal de entrada

Dimensiones para canal de entrada	
Ancho del canal	0,40 m
Altura de canal	0,30 m
Tirante normal	0,20 m
Área Hidráulica	0,08 m ²
Espejo de agua	0,40 m
Perímetro	0,80 m
Radio hidráulico	0,1006 m
Velocidad	0,6911 m/s

Fuente: Software H canales.

Tabla 46. Diseño de rejas gruesas Parámetros técnicos.

PARÁMETROS	UNIDAD	Rango	RECOMENDADO	
			Gruesos	Finos
Espacio entre barras (s)	mm	20-50	40	20
Espesor de las barras (a)	mm	5 - 15	12	12
Velocidad de aproximación	m/s	0.3 – 0.6	0.45	0,5
Ángulo de inclinación	grados	45 – 60	45	45

Fuente: Norma técnica OS.090

B) Rejas de desbaste: Para diseñar las rejas de desbaste tanto fino como grueso, se consideró las especificaciones técnicas de la norma peruana OS. 090 (tabla 46) considerando para el diseño las ecuaciones que se puede apreciar a continuación

B1. Ecuación para calcular el área libre entre barras (A_L)

$$A_L (m^2) = \frac{Q_{máx.}}{VR.L.}$$

Dónde:

$Q_{\text{máx.}}$ = Caudal máximo horario (m^3/s)

V_{RL} = Velocidad de rejilla limpia (m/s)

B2. Ecuación para calcular Tirante del flujo en el canal (h)

$$h \text{ (m)} = \frac{A_L}{b}$$

Dónde

A_L = Área libre entre barras (m^2)

b = Ancho del canal de entrada (m)

B3. Ecuación para calcular altura de las rejillas (H)

$$H \text{ (m)} = h \times \sin(\alpha)$$

Dónde:

h = Tirante del flujo en el canal (m)

α = Ángulo de inclinación de las rejillas

B4. Ecuación para calcular número de barras que conforman las rejillas (N°)

$$N^\circ = \frac{b-s}{s+a}$$

Donde

b = Ancho de canal de entrada (m)

s = Espacio entre barras (m)

a = Diámetro de barras (m)

Las ecuaciones de los incisos B1, B2, B3 y B4, ayudan a determinar el dimensionamiento de las rejillas de desbaste tanto fina como gruesas.

Se puede apreciar en la tabla 47, los resultantes del dimensionamiento de las rejillas de desbaste gruesas usando las ecuaciones antes descritas.

Tabla 47. Cálculo para dimensionar las rejjas de desbaste grueso

Resultados de los cálculos para dimensionar las rejjas de desbaste grueso	
Cálculos	Resultados
Cálculo de área libre (A_L): $A_L = \frac{0,056 \text{ m}^3/\text{s}}{0,45 \text{ m/s}}$	0,124 m^2
Tirante de flujo en el canal (h): $h = \frac{0,124 \text{ m}^2}{0,40 \text{ m}}$	0,31 m
Altura de las rejjas (H): $H = 0,31 * \text{Sen}(45^\circ)$	0,22 m
Número de barras (N°): $N^\circ = \frac{0,40 \text{ m} - 0,040 \text{ m}}{0,040 \text{ m} + 0,012 \text{ m}}$	6,92 unidades

Fuente: Empresa agroindustrial Tumán

En la Tabla 48 se aprecia el resultado de los cálculos para dimensionar las rejjas de desbaste fino:

Tabla 48. Cálculo para dimensionar las rejjas de desbaste fino

Resultados de los cálculos para dimensionar las ecuaciones de diseño	
Cálculos	Resultados
Cálculo de área libre (A_L): $A_L = \frac{0,056 \text{ m}^3/\text{s}}{0,45 \text{ m/s}}$	0,124 m^2
Tirante de flujo en el canal (h): $h = \frac{0,124 \text{ m}^2}{0,40 \text{ m}}$	0,31 m
Altura de las rejjas (H): $H = 0,31 * \text{Sen}(45^\circ)$	0,22 m
Número de barras (N°): $N^\circ = \frac{0,40 \text{ m} - 0,020 \text{ m}}{0,020 \text{ m} + 0,012 \text{ m}}$	11,87 unidades

Fuente: CEPIS 2003.

C) Trampa de grasas: En el proceso existe presencia de grasas es por ello que es necesario el montaje de una trampa de grasa tomando en cuenta las especificaciones técnicas para su diseño, como se aprecia en la tabla 49.

Tabla 49 .Diseño de trampas de grasas sus especificaciones técnicas.

Cálculos	Resultados
Relación largo/ancho	2:1 – 3:2
Profundidad del líquido (m)	$\geq 0,80$
Altura de la entrada del agua por debajo del nivel del líquido (m)	0,15
Diferencia entre la tubería de ventilación para la salida del techo (m)	$\geq 0,05$
Altura desde la entrada de la tubería de salida y fondo del tanque (m)	0,075 – 0,15
Distancia entre el nivel del líquido y el techo (m)	$\geq 0,03$
Tiempo de retención (min)	20 – 30

Fuente: CEPIS 2003.

En una de sus investigaciones realizadas por Lozano- Rivas W. sobre “Tratamiento de aguas residuales” toma en cuenta los caudales de entrada y las especificaciones técnicas descritas en la tabla anterior y plantea los criterios siguientes para el diseño, que se aprecia en la tabla 50:

Tabla 50. Trampas de grasa Dimensiones recomendadas según caudal de diseño

Rango de caudales (L/s)	Volumen de trampa de grasa (m ³)	Dimensiones estimadas (m)		
		Profundidad (H)	Ancho (A)	Largo (L)
< 1	1,8	1,5	1	1,2
		1	1	1,8
1 a 2	3,6	1,5	1,1	2,2
2 a 3	5,4	2	1,13	2,4
3 a 4	7,2	2	1,45	2,5
4 a 5	8,1	2	1,5	2,7
5	9,12	2	1,6	2,85

Fuente: Lozano-Rivas W.

Conociendo el pronóstico del caudal máximo equivalente a 0,056 m³/s (ver tabla 44) lo cual equivale a 56 L/s se determina que las dimensiones para el diseño propuesto de trampa de grasas son las destacadas en la tabla 50.

3.3.4.2. Diseño de medidor de caudal

Se empleó la tabla de medidas estándar para canales Parshall (Anexo N°05), para diseñar el sistema propuesto, y se halló el rango del flujo máximo ubicado en la sección de capacidad como se puede apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 51. Dimensiones típicas para canales Parshall

Dimensiones Típicas de Canales Parshall (cm)													Capacidad (L/s)	
W	A	2A/3	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	Min	Max
1"	2,5	36,3	24,2	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	-
3"	7,6	46,6	31,1	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	0,176	1,547	0,85
6"	15,2	62,3	41,5	61,0	39,1	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	0,381	1,580	1,42
9"	22,9	88,1	58,7	86,4	38,1	57,5	76,2	61,0	45,7	7,6	11,4	0,535	1,530	2,55
1 ft	30,5	137,1	91,4	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	0,690	1,522	3,11
1,5 ft	45,7	144,8	96,5	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	1,054	1,538	4,25
2 ft	61,0	152,3	101,5	149,3	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	1,426	1,550	11,89
3 ft	91,5	167,5	111,7	164,2	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	2,182	1,566	17,26
4 ft	122,0	182,8	121,9	179,2	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	2,935	1,578	36,79
5 ft	152,5	198,0	132,0	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	3,728	1,587	45,30
6 ft	183,0	213,3	142,4	209,1	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	4,515	1,595	73,60
7 ft	213,5	228,6	152,4	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,306	1,601	84,95
8 ft	244,0	244,0	162,7	239,0	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	6,101	1,606	99,1
10 ft	305,0	274,5	183,0	260,8	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	221

Fuente: Azevedo y Acosta.

Conociendo que el caudal máximo es $0.056 \text{ m}^3/\text{s}$ (56L/s), se concluyó que el rango en donde se sitúa este caudal es menor a 1.42 L/s y 110.4 L/s por lo que se toma el de 6", debido a ello se determinó las dimensiones del Canal Parshall para el sistema de tratamiento propuesto, las dimensiones se aprecian en la tabla siguiente.

Tabla 52 . Dimensiones finales para el diseño del Canal Parshall propuesto

W	A	2 ^a /3	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y
6"	62,3	41,5	61,0	39,1	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	0,381	1,580

Fuente: Azevedo y Acosta.

3.3.4.3 Diseño del tratamiento primario

Se propone un sedimentador primario de formato circular teniendo en cuenta los criterios de diseño y dimensionamiento para tanques de sedimentación primaria mostrados en la tabla 53.

Tabla 53 . Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria

Parámetros	Intervalo	Típico
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario		
Tiempo de retención, en h	1,5 – 2,5	2
Carga superficial, en m ³ /m ² *días		
- A caudal mínimo		
- A caudal medio	5 – 10	7
- A caudal punta	30 – 50	40
	80 - 120	100
Carga sobre vertedero , m ³ /m*día	125 – 500	250
Sedimentación primaria con adición de lodos activados en exceso		
Tiempo de retención, en h	2.5 – 6.5	4
Carga superficial, en m ³ /m ² *día		
- A caudal mínimo		
- A Caudal medio	3 – 9	5
- A caudal punta	24 – 32	28
	48 - 70	60
Carga sobre vertedero, m ³ /m *día	125 – 500	250

Fuente: Metcalf y Eddy

Las dimensiones calculadas se muestran a continuación:

La sedimentación primaria se ubicara antes de un tratamiento por lodos activados para lo cual se usó los datos habituales mostrados en la tabla N°53 para este tipo de sedimentadores, sabiendo que el caudal total Q= 4 851,37 m³/día (tabla 48) y el tiempo de retención t= 2 horas.

a) Volumen del tanque (V)

V= Caudal diario (h) x tiempo de retención (h)

$$V=4\ 851,57\ m^3/día \times 2\ h \times \frac{1\ día}{24\ h} = 404,29\ m^3$$

b) Área superficial (A):

$$A = \frac{\text{Caudal diario}}{\text{Carga superficial}}$$

$$A = \frac{4\ 851,57\ m^3}{100 \frac{m^3}{m^2} * día} = 48,52\ m^2$$

c) Diámetro del Sedimentador (D):

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 48,52 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 7.86 \text{ m}$$

d) Altura del sedimentador (H):

Se determinó la altura desde el cálculo del volumen:

$$V = \pi * r^2 * H$$

$$404,29 \text{ m}^3 = \pi * (3,93)^2 * H$$

$$H = 8,33 \text{ m}$$

Para finalizar en la Tabla 54 se observa las dimensiones para el diseño del sedimentador primario.

3.3.4.4 Diseño del tratamiento secundario

Se llevó a cabo primero el cálculo de las dimensiones del tanque de aireación, cabe mencionar que se encontraron algunos parámetros en el apartado 3.2.3.6 (Balance de materia en tratamiento secundario).

A) Diseño del reactor aerobio: Este tendrá formato rectangular el cual necesita suministradores de oxígeno, y por la forma facilita la instalación de estos inyectores de aire.

De acuerdo a la norma peruana OS.090 los parámetros edad de lodo, tiempo de retención y concentración de SSLM en el reactor tienen valores recomendados.

A partir de este volumen se determinan las dimensiones para el diseño del largo, ancho y alto del reactor aerobio propuesto siendo asignadas de la manera que si la relación largo- ancho es: 1,3:1, en ese caso las dimensiones del reactor se aprecian en la tabla 56.

Tabla 54 . Dimensiones de sedimentador primario

DIMENSIONES	DATOS
Volumen(V)	404,29 m ³
Área Superficial (A)	48,52 m ²
Diámetro (D)	7,86 m
Altura (H)	8.33 m

Fuente: Empresa Agroindustrial Tumán

Tabla 55. Parámetros del reactor aerobio propuesto

Parámetros para reactor biológico	
Edad de lodos, en días	10
Concentración de SSTA, en kg/m ³	3,5
Tiempo de retención, en horas	4
Volumen del reactor	6,88 m ³

Fuente: Norma peruana OS.090

Tabla 56. Dimensiones del reactor aerobio propuesto

Dimensiones	Datos
Largo (L)	1,74
Ancho (a)	1,218
Altura (H)	3,25
Área (A)	2,12

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar las dimensiones con una mejor visión en el plano del diseño.

B) Diseño del sedimentador secundario: se aprecia a continuación los cálculos de las dimensiones usando las ecuaciones N° :

a) Caudal máximo diario (Q):

$$Q = 4\,851,57 \text{ m}^3/\text{día}$$

b) Tiempo de retención (t): 4 horas (Ver tabla N°)

c) Volumen del tanque sedimentador secundario (V):

v = Caudal diario (h) x tiempo de retención (h)

$$v = 4\,851,57 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 4 \text{ h} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$v = 808.59 \text{ m}^3$$

d) Área Superficial (A):

$$A = \frac{\text{Caudal diario}}{\text{Carga superficial}}$$

$$A = \frac{4\,851,57 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{40 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}}$$

$$A = 121,29 \text{ m}^2$$

e) Diámetro del Sedimentador secundario (D):

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 121,29 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 12,42 \text{ m}$$

f) Altura del sedimentador secundario (H):

$$V = \pi * r^2 * H$$

$$808,59 \text{ m}^3 = \pi * (6,21)^2 * H$$

$$H = 6,67 \text{ m}$$

Así pues las dimensiones del sedimentador secundario se aprecian en la tabla 57.

Tabla 57. Dimensiones de sedimentador Secundario

DIMENSIONES	VALOR
Volumen(V)	808,59 m ³
Área Superficial (A)	121,29 m ²
Diámetro (D)	12,42 m
Altura (H)	6,67 m

Fuente: Elaboración propia

C) Tanque de almacenamiento de lodos

Los lodos que se generan tanto en el sedimentador primario como en el secundario, necesitan de un tanque de almacenamiento, tomando en cuenta que en el tratamiento primario se generan 2 392,65 kg/día, y en el secundario un total de 823,85 kg/día, generando en su totalidad 3 216,5 kg/día. y sabiendo que la densidad de los lodos es

de $1\,030\text{ kg/m}^3$, se genera diariamente un volumen de $3,12\text{ m}^3/\text{día}$ o su equivalente en $3\,122,8$ litros por día, dando como cifra semanal la cantidad de $21\,859,7$ litros.

Determinando un margen del 20 % del volumen del tanque más que el real, se realiza el siguiente diseño:

Volumen del tanque de lodos = Volumen real x 1,2

Volumen del tanque de lodos = $21\,859,7 \times 1,2$

Volumen del tanque de lodos = $26\,231,52\text{ L}$

Teniendo como resultado las dimensiones: $3,90\text{ m}$ de alto, 3 de largo y 3 de ancho

3.3.4.5 Selección del equipo de aireación

Estos equipos se eligen en función de los requerimientos de oxígeno.

Estos equipos de aireación procuran abastecer el oxígeno requerido para la estabilización en sistemas aerobios, conociendo la demanda de oxígeno, para el reactor aerobio, determinado a partir de la ecuación anterior es $285,6\text{ kg/día}$:

$$\text{Cantidad de Aire necesario} = \frac{\text{Oxígeno requerido}}{\text{Densidad de aire} \times 0,21}$$

$$\text{Cantidad de aire necesario} = \frac{285,6\text{ kg/día}}{1,21\text{ kg/m}^3 \times 0,21}$$

Cantidad de Aire necesario = $1\,123,97\text{ m}^3/\text{día}$

El volumen de aire que necesita es de $1\,123,97\text{ m}^3/\text{día}$ para ser suministrado en el reactor biológico para que se realice la reacción aerobia de lodos activados.

Para la presente investigación, se determinó proponer el equipo de aireación que consta de un soplador de lóbulo rotativo de movimiento positivo (figura N° 13).

Dichos sopladores constan de la compresión externa, de manera que el aire es comprimido por la contrapresión del sistema, brindan como ventaja, bajo costos iniciales como inversión de capital, teniendo una limitada eficiencia.

A) Aireación por difusión (Difusores)

Está constituida por dispositivos de aireación en forma de disco tubo o placa, nombrados difusores, ellos transmiten aire en forma de burbujas finas. Estos suministran aire debajo de la superficie del líquido generando burbujas de oxígeno que son diluidas en el agua, favoreciendo a los microorganismos en la descomposición de los contaminantes orgánicos.

En el tratamiento de aguas por lodos activados se propone el uso de difusores porosos o de membrana, ya que cuentan con membranas de plástico flexible con agujeros, elaborados en material cerámico, por lo son más duraderos con respecto a los difusores mecánicos. En la figura N° 14 se aprecia un difusor tradicional utilizado en tratamiento por lodos activados.



Fig. 14. Soplador de lóbulos rotativos
Fuente: REPICKY

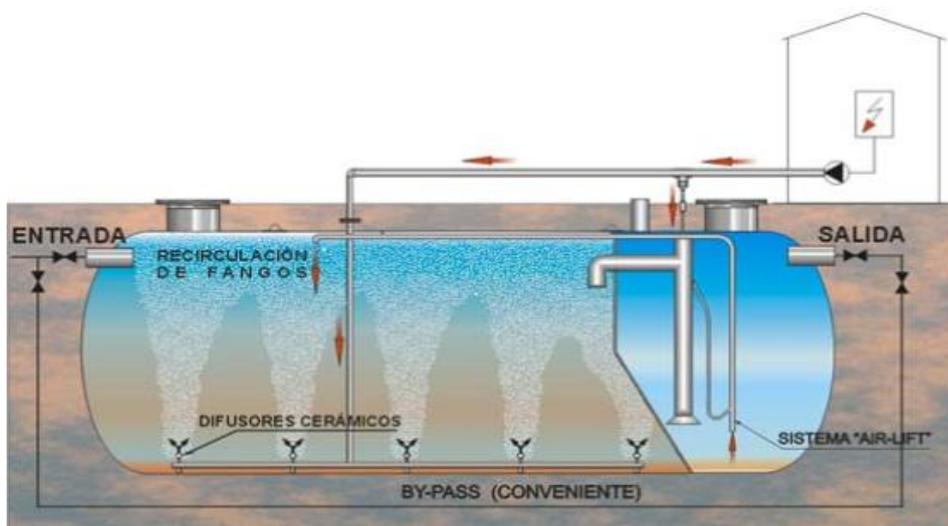


Fig. 15. Difusores tradicionales para lodos activados
Fuente: CHEMSOL

3.3.4.6 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA. METODO GUERCHET

El espacio total que abarcara toda la planta de tratamiento, se calculó a partir de las dimensiones de todos los equipos de tratamiento, para esto se usará el método Guerchet con el propósito de establecer de forma global las áreas más importantes para los equipos de tratamiento de efluentes mencionados:

- Superficie estática (Ss): se refiere al área que ocupan físicamente los equipos, maquinas e instalaciones.

$$S_s = A \times L$$

- Superficie de gravitación (Sg): Es usada por los operarios que trabajan en la planta de tratamiento. Esta se obtiene del producto de la superficie estática por el número de lados (N) de cada equipo utilizado.

$$S_g = S_s \times N$$

- Superficie de evolución (Se): Es el área que se reserva 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” resulta ser constante concerniente al proceso definida por 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): básicamente es el resultado de la suma de las tres superficies descritas anteriormente tomando en cuenta todos los puestos involucrados en la planta de tratamiento.

$$S_t = S_s + S_g + S_e$$

Tabla 58. Método de Guerchet para la instalación del sistema de tratamiento del agua residual del proceso de producción en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.

Elemento	Equipo	Unidad	Dimensiones			N Lados	K	Ss	Sg	Se	S Total
			L (m)	A (m)	H (m)						
Estacionario	Canal de entrada (incluye desbaste)	1	12	0,4	0,3	2	1,20	4,80	9,60	17,28	31,68
	Trampa de grasas	1	2,85	1,6	1,5	2	1,60	4,56	9,12	21,89	35,57
	Medidor Parchall	1	0,9	0,6	0,5	2	1,50	0,54	1,08	2,43	4,05
	Sedimentador Primario	1	7,86	7,86	8,33	3	3,50	61,78	185,34	864,91	1112,03
	Reactor	1	1,74	1,22	3,25	3	3,50	2,12	6,37	29,72	38,21
	Sedimentador Secundario	1	12,12	12,42	6,67	3	3,50	150,53	451,59	2107,43	2709,55
	Tanque de lodos	1	3	3	3,9	3	3,50	9,00	27,00	126,00	162,00
	Equipo de Aireación	1	3,5	3,2	3,2	3	1,50	11,20	33,60	67,20	112,00
	Tanque Repartidores	2	4	4	5	2	3,50	16,00	32,00	168,00	216,00
Móvil	Bombas	4	0,5	0,4	0,6	2	1,50	0,20	0,40	0,90	1,50
	Operarios	5	-	-	-	-	-	0,5			2,5
Total											4425,09

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el diseño en los planos respectivos.

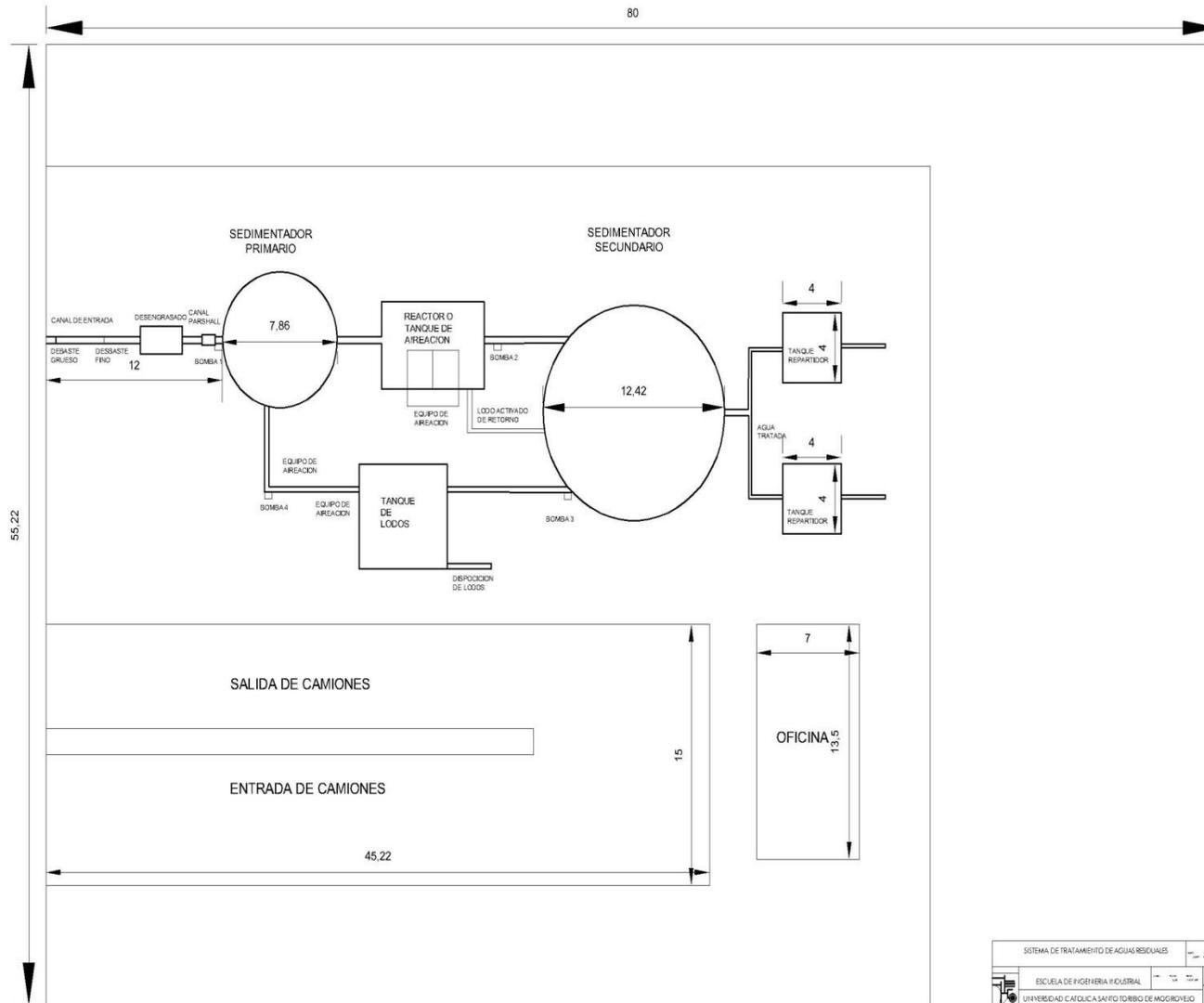


Fig. 16. Plano de planta de tratamiento.

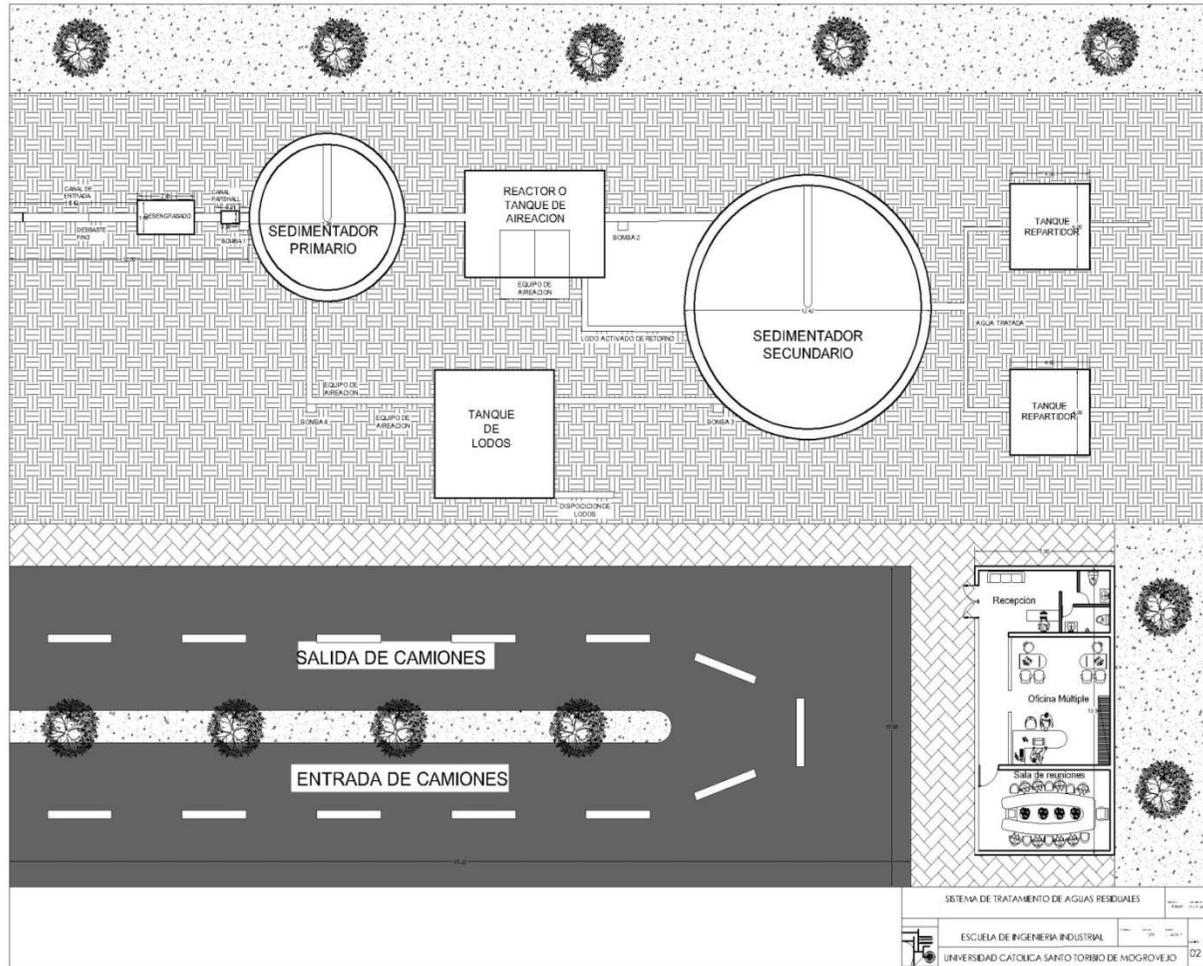


Fig. 17. Plano de planta de tratamiento.

3.4. Análisis costo beneficio de la propuesta del sistema de tratamiento

En este punto se analiza el proyecto desde una vista económica financiera, determinando el costo de la propuesta y si es factible implementarlo. Por ese motivo, es importante tener en cuenta la capacidad máxima del caudal, que para este caso es de 4 581,57 m³/día, permitiendo de esta manera la disminución del impacto en el recurso hídrico sabiendo que actualmente se vierte el exceso al cauce del río Chancay. Por ello, este punto nos permitirá analizar los costos de inversión y los costos de consumo de agua, estableciendo si es rentable la inversión. A continuación, se describirá cada punto.

3.4.1. Costos de inversión

Estos costos están dirigidos a toda la inversión que realizará la empresa para llevar a cabo la implementación del sistema de tratamiento como las maquinarias, terreno, personal, entre otros.

3.4.1.1. Inversiones Tangibles

En este punto se analiza los costos referentes al terreno, a los equipos y/o maquinarias que se emplearán para el sistema de tratamiento, así como los costos.

a. Costos referentes al terreno

Se toma en cuenta que la empresa cuenta con el terreno necesario y también con los recursos para realizar los trabajos de la implementación del sistema como es la limpieza, la nivelación del terreno, delimitación y los gastos de movilización de tierra. Tal como se muestra en la tabla 59.

Tabla 59. Costo de inversión de obras preliminares en el terreno

Trabajos	Unidad	Cantidad	Costos unitarios (S/)	Costo total (S/)
Provisionales				
Cartel de identidad de Obra	Unid.	1	75,5	75,5
Garita y depósito general	Unid.	1	1 448,75	1 448,75
Señalización	Global	1	290,25	290,25
Preliminares				
Desbroce y eliminación de maleza	m ²	9 600	0,35	3 360
Movimiento de Tierras				
Excavación en terreno normal	m ²	7 200	2,00	14 400
Relleno y compactación con material de préstamo	m ²	7 200	7,55	54 360
Nivelación en zona de corte	m ²	7 200	0,3	2 160
TOTAL				76 094,5

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se tiene en cuenta las obras de ingeniería y los trabajos en concreto. Cabe indicar que en esta parte está incluido el canal de entrada, las rejas de desbaste y el canal Parshall, tal como se aprecia en la tabla 66.

Tabla 60. Inversión en Obras de concreto para la planta de tratamiento

Trabajos	Datos		Costo total (S/)	Costo total (S/)
	Unidad	Cantidad		
Canal de entrada				
Excavación manual en T.N.	m ³	30	11,68	350,4
Esfuerzo de compresión (F ¹ C) de 100 kg/cm ² para solado	m ³	10	98,47	984,7
Esfuerzo de compresión de 280 kg/cm ² con cemento Portland tipo V	m ³	15,4	157,42	2424,268
Encofrado y Desencofrado	m ²	90	5,35	481,5
Acero Estructural	kg	950	1,47	1396,5
Tarrajeo con impermeabilizante con espesor 0,015 m.	m ²	55,1	13,34	735,034
Cámara de Rejas de Desbaste				
Rejas de fierro galvanizado	Unid.	3	22,5	67,5
Plataforma de drenaje	Unid.	2	34,38	68,76
Excavación manual	m ³	0,65	11,68	7,592
Esfuerzo de compresión (F ¹ C) de 100 kg/cm ² para solado	m ³	1,5	98,47	147,705
Esfuerzo de compresión de 280 kg/cm ² con cemento Portland tipo V	m ³	1,8	157,42	283,356
Encofrado y Desencofrado	m ²	8,5	5,35	45,475
Acero Estructural	kg	240	1,47	352,8
Tarrajeo con impermeabilizante de espesor 0,015 m.	m ²	8,8	13,34	117,392
Medidor Parshall				
Excavación manual en T.N.	m ³	4,5	11,68	52,56
Esfuerzo de compresión (F ¹ C) de 100 kg/cm ² para solado	m ³	5,6	98,47	551,432
Esfuerzo de compresión de 280 kg/cm ² con cemento Portland tipo V	m ³	7,8	157,42	1 227,876
Encofrado y Desencofrado	m ²	28	5,35	149,8
Acero Estructural	kg	320	1,47	470,4
Tarrajeo con impermeabilizante, espesor 0,015 m.	m ²	26	13,34	346,84
TOTAL				10 261,89

Fuente: Elaboración propia

b. Costos referentes a maquinaria:

En la tabla 61 se aprecia el costo de inversión de las maquinarias para el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Sin embargo, estas maquinarias emplean accesorios para el correcto uso de las maquinas, como es el caso de las tuberías de tipo PVC, establecido por la norma OS.90, empleadas para la instalación de las tuberías pues no permite estancamiento u oxidación y/o corrosión. Asimismo, es importante las válvulas, codos y TEE, tal como se aprecia en la tabla 62.

3.4.1.2. Inversiones Intangibles

Este tipo de inversión está referida a aquello que no es palpable o se tiene en físico, como es el caso de los estudios, capacitaciones y/o asesorías, los gastos referentes a los preparativos. Tal este caso, se realizaron los siguientes costos en bienes intangibles, tal como se muestra en la tabla 63.

3.4.1.3. Capital de Trabajo

Este punto está dirigido a lo que la empresa tiene que tener a la mano para el desarrollo continuo de sus actividades. Ver tabla 64.

Tabla 61. Costos de maquinaria y/o equipos

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Costo Total (S/)
Trampa de grasas	1	8 000,00	8 000
Sedimentador primario	1	84 370,50	84 370,5
Reactor	1	79 060,25	79 060,25
Sedimentador secundario	1	106 870,50	106 870,5
Tanque de lodos	1	19 370,50	19 370,5
Equipo de aireación	1	25 000,00	25 000
Bombas	4	5 000,00	20 000
TOTAL			342 671,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62. Accesorios para el tratamiento de aguas residuales

Accesorios	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Tuberías PVC	300	12,00	3 600
Válvula de diagrama	50	70,00	3 500
Válvulas Check	30	50,00	1 500
Válvulas esféricas	40	35,00	1 400
Conductos varios	100	40,00	4 000
Codos	100	6,00	600
Tee's	60	6,50	390
TOTAL			14 990

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Inversiones intangibles para la planta de tratamiento.

DESCRIPCIÓN	COSTOS (S/)
Estudios previos para el proyecto	3 600
Inducción al personal	5 000
Asesoría especializada	6 000
Gastos de preparación	10 000
TOTAL	24 600

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Gastos administrativos

3.4.2.1. Mano de obra

Este punto se evaluará los gastos del personal que es necesario para la supervisión y relación oportuna y adecuada del sistema de tratamiento de las aguas residuales provenientes de la etapa de lavado. Pero primero es necesario mencionar las personas encargadas de administrar este tratamiento:

- a) Jefe de planta: es la persona encargada de llevar el monitorio y supervisión de las actividades realizadas y que supervisar que el agua residual se encuentre en las óptimas condiciones y de acuerdo a ley. Asimismo, es la persona encargada de guiar y capacitar a sus operarios para el desarrollo de sus funciones.
- b) Técnicos en mantenimiento: es la persona encargada de realizar el mantenimiento preventivo de las máquinas y equipos y determinar qué tan operativas se encuentran.

c) Operario calificado: es la persona encargada de manejar las maquinarias y/o equipos para que se lleve el sistema de tratamiento de una manera eficiente.

De acuerdo a esto, se puede calcular el monto de inversión en mano de obra, considerando que los salarios y/o sueldo de los trabajadores deben contar con CTS, así como los beneficios pertinentes que para este caso es de 51% adicional a su sueldo y también se considera el pago de sus utilidades. Cabe indicar que el operario calificado para este proyecto se considerará el sueldo mínimo y para el Jefe de planta y el técnico de mantenimiento su sueldo será de acuerdo al mercado laboral, ver tabla 66.

3.4.2.2. Costos de energía:

En este punto se tiene en cuenta que la empresa agroindustrial Tumán cuenta con una planta eléctrica por lo que los costos de energía son reducidos y para nuestro cálculo el costo de energía, se tomará en cuenta el consumo de energía eléctrica de las 4 bombas HP y soplador de lóbulo rotatorio.

3.4.3. Disminución de costos de producción – Análisis del beneficio

Para este punto se tiene en cuenta el costo del agua industrial para la empresa, el cual es de 0,219 soles por metro cúbico, recurso que se obtiene del reservorio Tinajones; asimismo, la empresa consume 6 307 200m³ por concepto de agua industrial, que genera un costo de S/ 1 381 276,80 soles por año sin utilizar ningún sistema de tratamiento, por lo consiguiente al cabo de 4 años tendríamos un costo de S/ 5 525 107,2 con la implementación del sistema de tratamiento se obtiene una disminución de los costos de producción de S/ 345 319,20 soles por año, en el área de trapiche y directamente en el proceso de lavado, por consumo de agua industrial, dándonos un total de S/ 1 381 276,80 cada 4 años. Ver tabla 68, 69.

3.4.4. Análisis del costo- beneficio

Teniendo en cuenta los costos de inversión tangible, intangible y costos de capital de trabajo para la implementación total del sistema de tratamiento se tiene un costo total de 489 434,55, ver tabla 65.

En la tabla 70 se aprecia el análisis costo- beneficio para la inversión del sistema de tratamiento de aguas residuales.

De la tabla 70 se puede precisar que el análisis costo beneficio de la empresa indica que la inversión será recuperada en el tercer año, quedando un saldo positivo de 62 303,67 soles.

- **Valor actual neto:**

Asimismo, se calculó el valor actual neto, que se refiere al indicador que permite determinar la rentabilidad del proyecto es positiva en términos monetarios, después de realizar toda la inversión. De la tabla anterior, se puede precisar que la tasa de inversión es de 14 % y se obtiene un VAN de S/ 74 765,81.

- **Tasa de interés de retorno.**

Este indicador permite precisar si el proyecto es rentable o no, mediante el rendimiento de flujo fijo de caja, teniendo como proyección que la empresa genere ganancias. Para el proyecto, se obtuvo un TIR de 19%, indicando que si es factible y rentable la implementación del sistema de tratamiento.

- **Periodo de recuperación:**

Este indicador determinó en cuanto tiempo se recuperará la inversión realizada por la empresa, incluyendo el capital de trabajo, teniendo en cuenta el proyecto, se recuperará en el tercer año.

Tabla 64. Capital de trabajo.

DESCRIPCIÓN	COSTOS (S/)
Comunicaciones	2 000
Energía eléctrica	5 000
Materiales	2 500
Capacitaciones	3 000
TOTAL	12 500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Inversión total para la planta de tratamiento.

Costo de inversión	Costo total (S/)
Inversión Tangible	429 028,14
- Obras Preliminares	76 094,50
- Obras de Concreto	10 261,89
- Equipos y Máquinas	342 671,75
Inversión Intangible	24 600,00
Capital de Trabajo	12 500,00
Imprevistos (5%)	23 306,41
TOTAL	489 434,55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Sueldos de trabajadores de la planta

TRABAJADOR	CANTIDAD	SUELDO (S/mes)	BENEFICIOS 51%	SUB TOTAL	TOTAL (S/año)
Jefe de planta	1	1600	816	2416	28992
Técnico de mantenimiento	1	1200	612	1812	21744
Operario	1	1000	510	1510	18120
				TOTAL	68856

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Costos del departamento de producción

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN	TRAPICHE (S/)	ELABORACIÓN (S/)	CALDEROS (S/)
MAYO	2 276 563,16	933 783,08	139 752,19
JUNIO	2 158 563,20	885 382,77	132 508,48
JULIO	2 502 562,36	1 026 481,69	153 625,68
AGOSTO	2 156 528,00	884 547,99	132 383,55
SETIEMBRE	2 158 968,00	885 548,81	132 533,33
OCTUBRE	2 104 846,24	863 349,57	129 210,94
NOVIEMBRE	2 384 574,50	978 086,34	146 382,72
DICIEMBRE	2 562 341,60	1 051 001,48	157 295,37
ENERO	2 926 485,90	1 200 363,37	179 649,23
FEBRERO	2 841 577,80	1 165 536,42	174 436,94
MARZO	2 862 417,70	1 174 084,37	175 716,25
ABRIL	-	-	-
TOTAL AÑO S/	26 935 428,46	11 048 165,90	1 653 494,69
TOTAL COSTOS			S/ 39 637 089,05

Fuente: Datos Empresa agroindustrial Tumán S.A.A

Tabla 68. Disminución de Costos de producción área trapiche.

AÑO	COSTOS DE PRODUCCIÓN AREA TRAPICHE (S/)	COSTOS DE PRODUCCIÓN AREA TRAPICHE CON S.T. (S/)	DISMINUCIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN
2018	26 935 428,46	26 590 109,26	345 319,20
2019	26 935 428,46	26 590 109,26	345 319,20
2020	26 935 428,46	26 590 109,26	345 319,20
2021	26 935 428,46	26 590 109,26	345 319,20
TOTAL S/	107 741 713,84	106 360 437,04	1 381 276,80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Disminución de costos por consumo de agua industrial

AÑO	Volumen (m³/año)	Proceso de lavado (m³/año)	Costo de agua (S/ / m³)	Costo total de agua sin S.T. (S/ /año)	Costo total de agua con S.T. (S/ /año)	Disminución de costos (S/ /año)
2018	6 307 200	1 576 800	0,219	1 381 276,80	1 035 957,60	345 319,20
2019	6 307 200	1 576 800	0,219	1 381 276,80	1 035 957,60	345 319,20
2020	6 307 200	1 576 800	0,219	1 381 276,80	1 035 957,60	345 319,20
2021	6 307 200	1 576 800	0,219	1 381 276,80	1 035 957,60	345 319,20
TOTAL				5 525 107,20	4 143 830,40	1 381 276,80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Análisis costo beneficio

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro		345 319,20	345 319,20	345 319,20	345 319,20	345 319,20
<u>Egresos</u>						
Inversión	489 434,55					
Gastos administrativos		68 856	68 856	68 856	68 856	68 856
Total de egreso	489 434,55	68 856	68 856	68 856	68 856	68 856
<u>Utilidad operativa</u>	489 434,55	276 463,20	276 463,20	276 463,20	276 463,20	276 463,20
Depreciación		37 267,18	37 267,18	37 267,18	37 267,18	37 267,18
<u>Utilidad antes de impuestos</u>		313 730,38	313 730,38	313 730,38	313 730,38	313 730,38
Impuesto a la renta		92 550,46	92 550,46	92 550,46	92 550,46	92 550,46
Depreciación		37 267,18	37 267,18	37 267,18	37 267,18	37 267,18
Flujo de caja		183 912,74	183 912,74	183 912,74	183 912,74	183 912,74
Recuperación de la inversión	-489 434,55	-305 521,81	-121 609,07	62 303,67	246 216,41	430 129,15

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Al realizar la caracterización de los efluentes industriales y su comparación con los LMP se logra concluir que los contaminantes como SST, DBO, DQO, grasas y aceites, se hallan fuera del rango establecido por la norma vigente. La valorización del impacto ambiental que resulto de la Matriz causa efecto por Vicente Conesa, refleja que el impacto generado se ubica en la categoría moderada, con lo cual, nos ofrece como punto de referencia a los medios físicos e industriales, del mismo modo, el uso excesivo de agua se determinó como factor de suma relevancia.
- Con la recopilación de datos bibliográficos, investigación de los diversos sistemas de tratamiento y al operar el método de factores ponderados para los tratamientos secundarios, se concluyó que un 73,04% de la ponderación, definía al tratamiento por lodos activados, como optimo, siendo el más adecuado en la remoción de los contaminantes encontrados, en los efluentes de la empresa agroindustrial Tumán S.A.A.
- De acuerdo a las normas técnicas de diseño y la efectividad del tratamiento seleccionado, se determinó un tratamiento preliminar de desbaste y desengrasado, un sedimentador primario y un tratamiento secundario por lodos activados que disminuyó significativamente la carga de SST, DBO, DQO, grasas y aceites, resultando con valores ideales para su disposición o reúso en la etapa del lavado de caña de azúcar del proceso productivo.
- Asimismo se pudo evidenciar la disminución de los costos de producción con un total de S/ 345 319,20 soles por año directamente por reducción en el consumo de agua para el proceso de lavado que pertenece al departamento de producción área trapiche, dándonos una disminución de S/ 1 381 276,80 soles cada 4 años, determinándose que un sistema de tratamiento resulta beneficioso en materia económica para la empresa al disminuir los costos de producción y determinar resultados positivos al tercer año de implementado el sistema de tratamiento, obteniendo un VAN de S/ 74 765,81, un TIR de 19% y un periodo de recuperación de 3 años.

4.2. RECOMENDACIONES

- Seguir fomentando en campos nuevos de investigación apoyado en la identificación de procesos que conduzcan a perfeccionar el tratamiento de las aguas residuales de origen industrial.
- Realizar futuras investigaciones con la finalidad de tener valores actualizados para cada parámetro.
- Se debe tener un número mínimo de análisis de los efluentes, correspondiente a cuatro veces por año, con el fin de obtener un promedio por cada parámetro analizado.
- A mediano plazo, dar tratamiento a la totalidad de aguas residuales de la empresa.

V. REFERENCIA

- [1] J. Zambonino, Análisis de alternativas para el tratamiento de aguas industriales del ingenio azucarero del norte Iancem, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/609/1/T-UCE-0012-141.pdf>. [Accedido: 5-Nov-2018]
- [2] G. Torres, “Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros” [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=89370> [Accedido: 15-Abril-2019]
- [3] M. Cuenca, “Selección de un sistema de desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas” [En línea]. Disponible <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/60151/CUENCA%20-%20Selecci%C3%B3n%20de%20un%20sistema%20de%20desinfecci%C3%B3n%20en%20proyectos%20de%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas%20resid....pdf?sequence=1> [Accedido: 16-Abril-2019]
- [4] A. Llopis, “Advanced technologies applied to wastewater treatment plant effluents”, [En línea]. Disponible: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/379819> [Accedido: 16-Abril-2019]
- [5] A. Llopis, “Advanced technologies applied to wastewater treatment plant effluents”, [En línea]. Disponible: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/379819> [Accedido: 16-Abril-2019]
- [6] EcuRed, Aguas residuales, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Aguas_residuales. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [7] Escuela Superior Politécnica del Litoral, Capítulo 2- Aguas Residuales Clasificación, Características y Composición, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/capitulo%202.pdf>. [Accedido: 20-Oct-2018]
- [8] Ministerio de Fomento Industria y Comercio, Documento Taller de Capacitación Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales para el Sector Tenerías. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.mific.gob.ni/Portals/0/Documentos%20UGA/Documentos/DOCUMENTO%20S TAR%20TENER%C3%8DAS.pdf>. [Accedido: 5-Nov-2018]

- [9] Fibras y Normas de Colombia s.a.s., Tipos de Aguas Residuales, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/tipos-de-agua-residuales/>. [Accedido: 20-Oct-2018]
- [10] Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Fija, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro34.pdf>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [11] Aznar Jiménez. Antonio, Determinación de los Parámetros Físico-Químicos de Calidad de las Aguas, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/or-f-001.pdf>. [Accedido: 20-Oct-2018]
- [12] Universidad de las Américas de Puebla, Aguas residuales, 2013. [En línea]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_r_dl/capitulo2.pdf. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [13] Enciclopediadetareas, Características de las Aguas Residuales, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.encyclopediadetareas.net/2015/04/caracteristicas-de-las-aguas-residuales.html#home>. [Accedido: 20-Oct-2018]
- [14] Naciones Unidas, Aguas residuales el recurso desaprovechado, 2017. [En línea]. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf). [Accedido: 31-Oct-2018]
- [15] Pérez Parra. Jerónimo, Depuración y reutilización de aguas residuales para riego, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/depuracion-y-reutilizacion-de-aguas.pdf>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [16] Alianza por el Agua, Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/monografico3.pdf>. [Accedido: 20-Oct-2018]
- [17] Raúl Fernández, Pretratamientos de aguas, 2016. [En línea]. Disponible en: https://static.eoi.es/savia/documents/pretratamientos_magua_2016_rfd_rev0.pdf?width=800&height=400&inline=true. [Accedido: 5-Nov-2018]

- [18] Cyclucid, Tratamiento primario, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [19] Universidad de los Andes, Introducción al estudio de los procesos de purificación y tratamiento para aguas naturales y residuales, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/gutierrezc/CURSOS/SANEAMIENTO%20AMBIENTAL/clases.pdf>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [20] Universidad de Castilla, Coagulación – floculación, 2013. [En línea]. Disponible en: http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [21] Universidad nacional del cuyo, tratamiento secundario, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.uncuyo.edu.ar/desarrollo/upload/2-flores-comp.pdf>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [22] Soluciones ambientales y aguas, ¿Qué es el proceso de lodos activados?, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [23] Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro28.pdf>. [Accedido: 5-Nov-2018]
- [24] Adminmgv, Tratamiento del Agua, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/filtros-percoladores-1/>. [Accedido: 31-Oct-2018]
- [25] Universidad Nacional de Río Negro, Evaluación del impacto ambiental, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://unrn.edu.ar/blogs/matematica1/files/2013/04/5%C2%B0-Matriz-de-Leopold-con-plantilla.pdf>. [Accedido: 5-Nov-2018]
- [26] Tesis doctorales en red, Metodologías de evaluación del impacto ambiental, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6830/04Lag104de09.pdf>. [Accedido: 5-Nov-2018]
- [27] oocities.org, Parámetros y Características de las Aguas Naturales, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/PARÁMETROS1.pdf>. [Accedido: 20-Oct-2018]

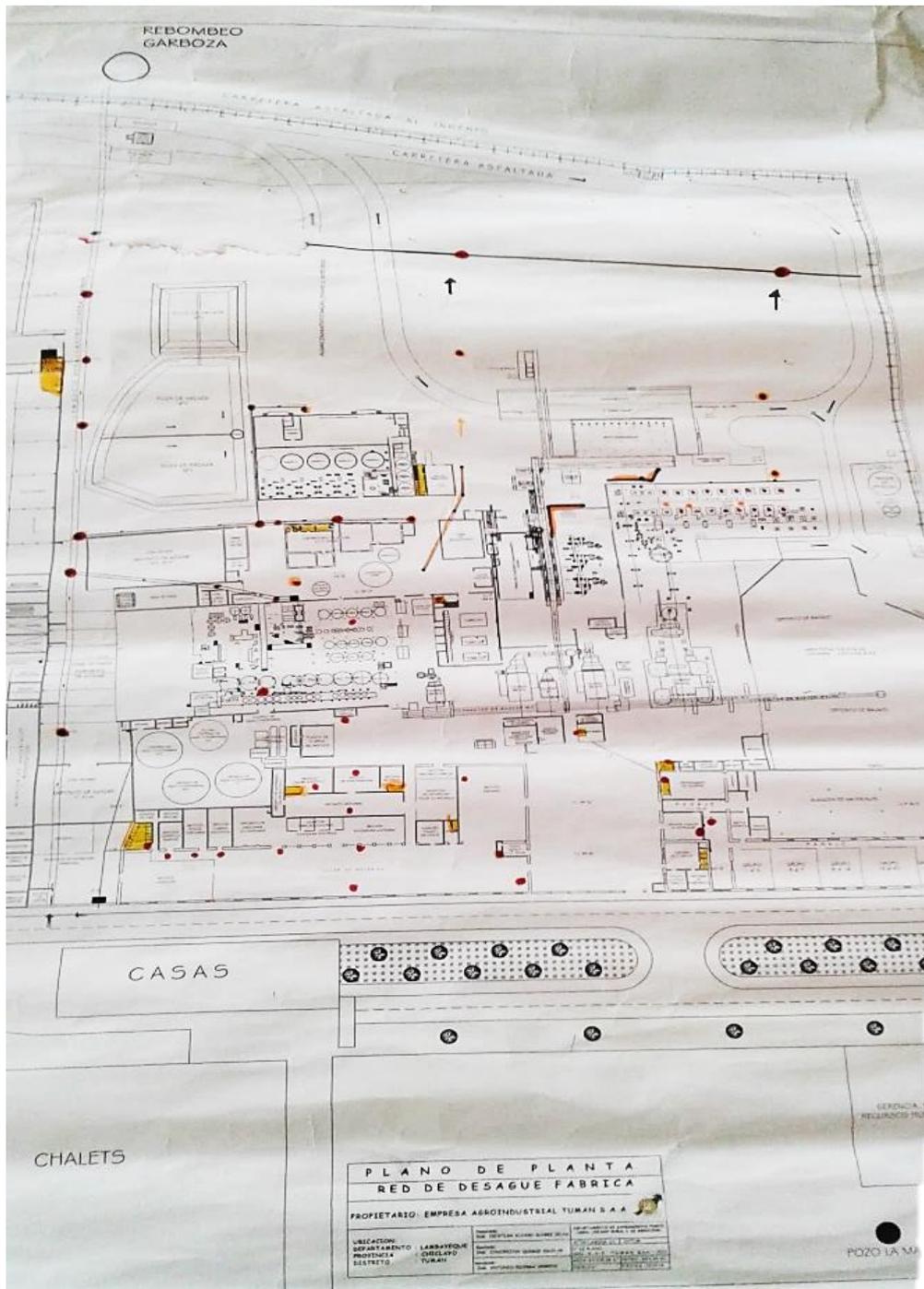
- [28] Universidad de Salamanca, Redes de Saneamiento Urbano: Redes de Saneamiento Sección 1: Las Aguas Residuales, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/redes/modulos/libros/unidad%205/residuales.pdf>. [Accedido: 20-Oct-2018]
- [29] ANA, Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos, 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [30] Farias, B., Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I), 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [31] Bosstech, Tratamiento de Agua, 2018. [En línea]. Disponible en: Residual <https://bosstech.pe/blog/tratamiento-de-agua-residual/>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [32] Natural Zone, ¿Qué son los lodos activados?, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://natzone.org/index.php/frontpage-blog/13-contaminacion-y-tratamiento/352-que-son-los-lodos-activados>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [33] Universidad de las Américas de Puebla, Análisis y diseño del tratamiento secundario, 2017. [En línea]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo6.pdf. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [34] Trujillo, L., Eficiencia de remoción, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10982/Cap%C3%ADtulo%20I%20Marco%20Referencial.doc?sequence=3&isAllowed=y>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [35] Comisión Nacional del Agua, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro34.pdf>. [Accedido: 25-Nov-2018]
- [36] Carceller, R., Depuración anaerobia de aguas residuales, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/jornadatecnica002/ponencies/carceller.pdf>. [Accedido: 25-Nov-2018]
- [37] Minam, Límites máximos permisibles, 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf. [Accedido: 25-Nov-2018]

- [38] Taersa, Lodos activados, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.taersa.com/tecnologias-procesos/tratamiento-de-efluentes/tratamiento-secundario-o-biologico/lodos-activados/>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [39] Bioingeniería, Laguna de estabilización, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-1-sistemas-de-depuracion-de-agua/1-2-lagunas-de-estabilizacion>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [40] Fibras y Normas de Colombia S.A.S., Lagunas de oxidación definición y características, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [41] Salud, Norma técnica de edificación s.090 plantas de tratamiento de aguas residuales, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf. [Accedido: 20-Nov-2018]
- [42] Romero, J. 2009. Calidad del Agua. 3° edición. Editorial Escuela Colombiana e Ingeniería. Bogotá, Colombia.

VI. ANEXOS

Anexo N° 01:

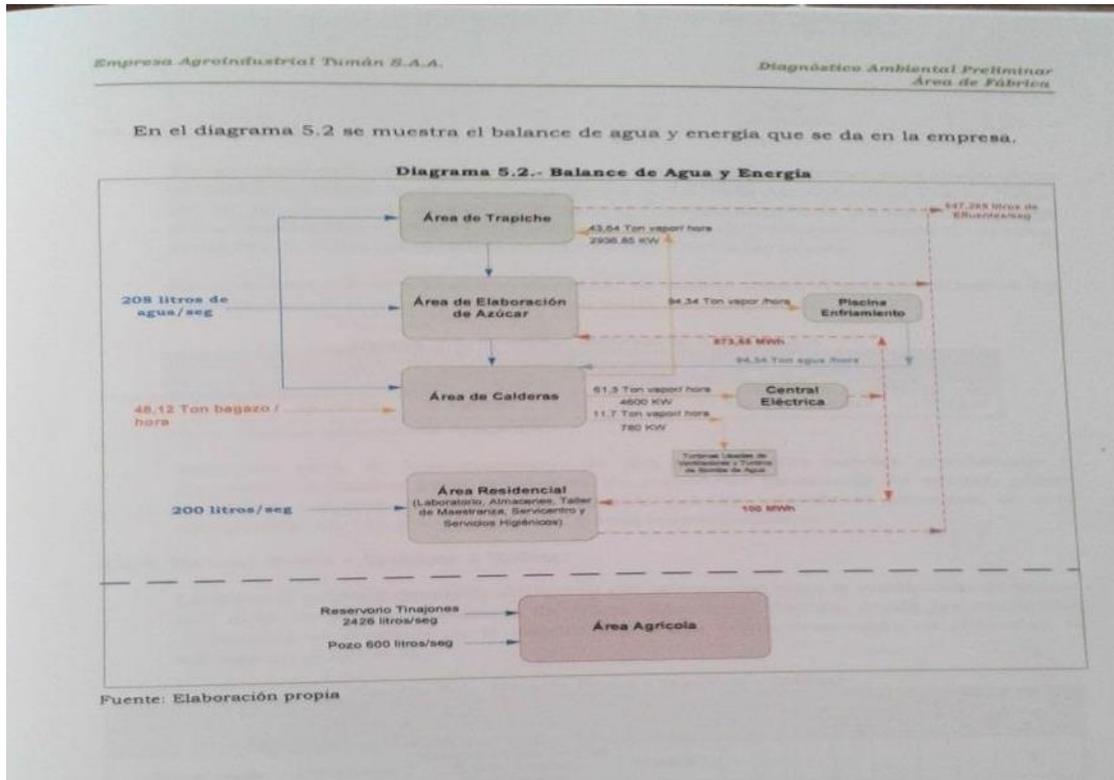
Imagen: Plano de la red de desagüe de la fábrica Tumán



Fuente: Empresa Agroindustrial Tumán.

Anexo N° 02:

Imagen: Balance de agua y de energía



Fuente: Empresa Agroindustrial Tumán.

Anexo N° 03:

Imagen: Resolución administrativa N.- 2017-ANA-AAA-JZ-ALA-CHL. Volumen m³ de agua industrial otorgado para la Empresa Agroindustrial Tuman



RESOLUCION DIRECTORAL No. 3023 -2017-ANA-AAA-JZ-V

inspección ocular se verifica que el referido predio, cuenta con infraestructura de riego autorizada y según lo informado por la Sub Dirección de Administración de Recursos Hídricos, la cual refiere que existe la disponibilidad hídrica para otorgar licencia de uso de agua, con lo cual se demuestra la viabilidad técnica de lo solicitado. En este sentido, se cumple con los requisitos previstos en el numeral 1) del artículo 53° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 y el artículo 32° del Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y Autorizaciones de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 007-2015-ANA, para otorgar la licencia de uso de agua superficial con fines productivos agrícolas solicitada;

Que, estando a lo opinado por la Unidad de Asesoría Jurídica, el visto de la Sub Dirección de Administración de Recursos Hídricos y en uso de las facultades conferidas por la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, su Reglamento aprobado con Decreto Supremo N° 001-2010-AG y el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 006-2010-AG;

SE RESUELVE:

ARTICULO 1°.- Otorgar, licencia de uso de agua superficial para uso productivo industrial, a favor de la Empresa Agroindustrial Tuman S.A.A. con RUC N° 20136009614, proveniente del río Chancay Lambayeque, a través de la infraestructura hidráulica: CD Taymi, L01 Tuman – Jarrin, L02 Tuman, para su ingenio Azucarero, políticamente ubicado en el Distrito Tuman, provincia de Chiclayo y departamento de Lambayeque, según el siguiente detalle:

Apellidos y Nombres	RUC	Unidad Operativa	Coordenadas de la Unidad operativa (WGS 84, Zona 17 M)		Volumen máximo anual de agua otorgado (m ³)
			Este	Norte	
EMPRESA AGROINDUSTRIAL TUMAN S.A.A.	20136009614	Ingenio Azucarero Tuman	643 018	9 253 516	6 307 200

Con volúmenes mensuales y anuales según detalle siguiente:

Volumen mensualizado (m ³)													total
Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul		
535 680	518 400	535 680	518 400	535 680	535 680	483 840	535 680	518 400	535 680	518 400	535 680	6 307 200	

ARTÍCULO 2°.- Registrar la licencia otorgada mediante la presente resolución, en el Registro Administrativo de Derechos de Uso de Agua.

ARTÍCULO 3°.- Notificar la presente resolución a Empresa Agroindustrial Tuman S.A.A. y remitir copia fechada a la Administración Local de Agua Chancay Lambayeque, disponiéndose la publicación en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua, conforme a Ley.

Regístrese, comuníquese y archívese



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA
JEQUETEPEQUE - ZARUMILLA
Ing. Juan José Gómez Murillo
DIRECTOR

Fuente: Datos empresa agroindustrial Tuman

Anexo N° 04:

Imagen: Principales impactos ambientales en la industria azucarera por empresas

EM PRESAS	AIRE	ACTO RES AM BIENTA LES SUELO AG UA
LAM BAYEQ UE		AG UAS R ES ID U A LE S/SO LID OS EN SUSPE NSIO N
Pucala	CENIZA /HUM O	PE STICIDAS PE STICIDAS/FER TILIZA NTES
Tumán	CENIZA /HUM O	AG UAS RE SIDUALES
Pomalca	CENIZA	AG UAS R ES ID U A LE S/SO LID OS EN SUSPE NSIO N
LA LIBERTAD		AG UAS R ES ID U A LE S/SO LID OS EN SUSPE NSIO N
Casa Grande	CENIZA/HUM O / PARTIC ULA DO S	PE STICIDAS/FER TILIZA NTES PE STICIDAS/RESIDUO S DESTILADO S
Cartavio	HUM O	AG UAS RE SIDUALES
Laredo	HUM O	AG UAS RE SIDUALES
ANCASH		AG UAS R ES ID U A LE S/SO LID OS EN SUSPE NSIO N
San Jacinto	CENIZA/HUM O / PARTIC ULA DO S	PE STICIDAS/FER TILIZA NTES
LIM A		
Paramonga	HUM O	AG UAS RE SIDUALES
Andahuasi	CENIZA /HUM O ND	PE STICIDAS/FER TILIZA NTES AG UAS RE SIDUALES ND PE STICIDAS/RESIDUO S DESTILADO S ND
El Ingenio		

Fuente: Lista de control ambiental 2012

Anexo N° 05:

Dimensiones Típicas de Canales Parshall (cm)													Capacidad (L/s)		
W	A	2A/3	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	Min	Max	
1"	2,5	36,3	24,2	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	-	-
3"	7,6	46,6	31,1	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	0,176	1,547	0,85	53,8
6"	15,2	62,3	41,5	61,0	39,1	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	0,381	1,580	1,42	110,4
9"	22,9	88,1	58,7	86,4	38,1	57,5	76,2	61,0	45,7	7,6	11,4	0,535	1,530	2,55	251,9
1 ft	30,5	137,1	91,4	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	0,690	1,522	3,11	455,6
1,5 ft	45,7	144,8	96,5	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	1,054	1,538	4,25	696,2
2 ft	61,0	152,3	101,5	149,3	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	1,426	1,550	11,89	936,7
3 ft	91,5	167,5	111,7	164,2	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	2,182	1,566	17,26	1426
4 ft	122,0	182,8	121,9	179,2	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	2,935	1,578	36,79	1922
5 ft	152,5	198,0	132,0	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	3,728	1,587	45,30	2422
6 ft	183,0	213,3	142,4	209,1	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	4,515	1,595	73,60	2929
7 ft	213,5	228,6	152,4	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	5,306	1,601	84,95	3440
8 ft	244,0	244,0	162,7	239,0	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	6,101	1,606	99,1	3950
10 ft	305,0	274,5	183,0	260,8	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	221	5660

Fuente: Azevedo y Acosta, 1976.

Anexo N° 06:

CUADRO 9
TONELADAS DE CAÑA MOLIDA POR DÍA, 2011-2018

Departamento/Empresa	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL NACIONAL	37 257	40 283	41 548	42 117	40 624	41 070	37 634	38 047
PIURA	--	--	--	--	--	--	--	N.D.
Caña Brava	--	--	--	--	--	--	--	N.D.
LAMBAYEQUE	10 593	10 260	10 502	9 551	8 015	8 084	10 250	9 967
Pucalá	3 568	3 438	3 250	3 044	2 873	2 787	3 036	2 884
Tumán	3 443	3 424	3 793	3 248	2 467	2 805	892	N.D.
Pomalca	3 355	3 179	3 208	3 019	2 467	2 279	2 644	2 738
Azucarera del Norte	227	219	251	240	209	214	201	331
Agrolmos	--	--	--	--	--	--	3 476	4 014
LA LIBERTAD	18 463	20 824	21 944	22 913	23 022	22 592	17 518	17 900
Casa Grande	8 013	9 923	11 076	11 710	11 901	11 371	7 619	7 687
Cartavio	6 508	6 704	6 671	6 634	6 851	6 598	5 227	5 512
Laredo	3 941	4 197	4 198	4 569	4 270	4 624	4 672	4 701
ANCASH	2 612	2 960	3 105	3 269	3 658	4 223	3 593	3 934
San Jacinto	2 612	2 960	3 105	3 269	3 658	4 223	3 593	3 934
LIMA	5 149	5 790	5 560	5 942	5 489	5 741	5 838	5 799
Paramonga	3 562	4 049	3 768	4 065	3 992	3 912	3 922	3 873
Andahuasi	1 587	1 741	1 792	1 877	1 497	1 829	1 916	1 926
AREQUIPA	439	449	436	441	440	430	435	447
Chucarapi	439	449	436	441	440	430	435	447

N.D.: No disponible

Fuente: Empresas Azucareras

Elaboración: Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)-Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas - Dirección de Estadística Agraria

Fuente: Ministerio de agricultura y riego