



**Diagnóstico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales
de la empresa Joli Foods.**

Maryen Alexandra Burbano Solarte

Informe de practica para optar al título de Ingeniería Ambiental

Semestre de Industria

Asesora

Sara Ospina Arcila

Ingeniera Ambiental e Ingeniera Sanitaria

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Ambiental
Medellín, Colombia

2024

Cita	(Burbano Solarte, 2024)
Referencia	Burbano Solarte, M. (2024). <i>Diagnóstico del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la empresa Joli Foods</i> . [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
1 Planteamiento del problema.....	12
2 Justificación.....	13
3 Objetivos	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos	14
4 Marco teórico	15
5 Metodología	18
5.1 Revisión de documentación y normatividad para el caso de estudio.	18
5.2 Identificar el proceso operativo de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.	18
5.3 Caracterización de las aguas Residuales No Domesticas y comparativo con la norma.	18
5.4 Identificación de ajustes operacionales y técnicas adicionales que optimicen la eficiencia de la PTAR-I.....	19
6 Resultados	19
6.1 Análisis del proceso operativo la PTAR-I de la empresa Joli Foods	19
6.1.1 Etapas del tratamiento.....	21
6.1.2 Tratamiento preliminar TP.....	21
6.1.3 Tanque de homogeniación, igualación y equilibrio H.I.E	22
6.1.4 Tanque de calamidad TC	24
6.1.5 Tratamiento biológico de lodos activados completamente mezclados LACM.....	25
6.1.6 Filtración	29
6.1.7 Efluente final al tanque de salida.....	30

6.2 Evaluación de los parámetros de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.	31
6.3 Identificación de ajustes operacionales y técnicas adicionales que optimicen la eficiencia de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.	36
6.3.1 Primera alternativa.....	36
6.3.1.1 Coagulación.	38
6.3.1.2 Floculación.	39
6.3.1.3 Antecedentes investigativos	39
6.3.2 Segunda alternativa.....	40
6.3.2.1 Ozonización/Peróxido de hidrógeno	41
6.3.2.2 Proceso Fenton.....	42
6.3.2.3 Oxidación electroquímica.....	42
6.3.2.4 Fotocatálisis	43
6.3.2.5 Antecedentes investigativos.....	44
6.3.3 Tercera alternativa.	44
6.3.3.1 Tiempo de Retención Hidráulico (TRH).....	45
6.3.3.2 Relación Sustrato-Microrganismo (S/M)	45
6.3.3.3 Control de la Aireación.	46
6.3.3.4 Concentración de Sólidos en Suspensión Volátiles (SSV).....	46
7 Discusión.....	47
8 Conclusiones	49
Referencias.....	51
Anexos	54

Lista de tablas

Tabla 1 Valores máximos permisibles de vertimiento para la elaboración de productos alimenticios	32
Tabla 2 Resultados de la medición de los parámetros tomado del agua residual no domesticas del tanque de salida el día 04 de abril del 2024	33
Tabla 3 Resultados de la medición de los parámetros tomado del agua residual no domesticas del tanque de salida el día 07 de mayo del 2024	34
Tabla 3 Resultados de la medición de la DQO después de la instalación del tanque de calamidad	35

Lista de figuras

Figura 1 Esquema del proceso de lodos activados convencional.	17
Figura 2 Proceso de operación de la planta de tratamiento de aguas industriales de la empresa Joli Foods	20
Figura 3. Tratamiento preliminar desde planta en la empresa Joli Foods	22
Figura 4. Tanque de homogenización, igualación y equilibrio desde planta en la empresa Joli Foods	24
Figura 5. Tanque de calamidad desde planta en la empresa Joli Foods	25
Figura 6. Taques del tratamiento biológico de lodos activados completamente mezclados en planta en la empresa Joli Foods	27
Figura 7. Tanque Clarificador y tanque Trasiago desde planta en la empresa Joli Foods.	28
Figura 8. Tanque de almacenamiento de lodos desde planta en la empresa Joli Foods.	28
Figura 9. Filtros de arena y carbón activado desde planta en la empresa Joli Foods	30
Figura 10. Tanque de salida desde planta en la empresa Joli Foods	31

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PIB	Producto Interno Bruto
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda biológica de Oxígeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSD	Sólidos Suspendidos Disueltos
pH	Potencial de hidrógeno
COT	Carbono Orgánico Total
POA	Procesos Avanzados de Oxidación

Resumen

La industria alimentaria, como uno de los pilares fundamentales de la economía colombiana, se enfrenta al desafío de reducir su impacto ambiental, particularmente en lo que concierne a la contaminación del recurso hídrico. La carga orgánica generada por esta industria afecta a los ecosistemas acuáticos y compromete la calidad del agua. En respuesta a esta problemática, las empresas alimentarias han implementado medidas proactivas, como la optimización del uso del agua y la adopción de principios de economía circular.

El presente proyecto se centra en realizar un análisis de la planta de tratamiento de agua residual no doméstica de la empresa Joli Foods, con el propósito de proponer estrategias de mejora que aseguren el cumplimiento de la normativa ambiental, especialmente la Resolución 0631 del 2015. Para esto se realiza una caracterización y diagnóstico tanto del proceso productivo como de la planta de tratamiento de agua residual, con el fin de identificar las propiedades y componentes presentes en el agua residual y proponer soluciones eficaces que fomenten el uso sostenible del agua.

La metodología comprende la caracterización del agua al finalizar el tratamiento, un diagnóstico detallado y la formulación de recomendaciones para optimizar la planta, basadas en los parámetros medidos y los valores máximos permitidos por la normativa. Se proponen mejoras a partir de una revisión exhaustiva del sistema de tratamiento, lo que permite identificar recomendaciones generales para su funcionalidad. Esto facilita el cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015, contribuye a la conservación de los recursos y refuerza el compromiso de la empresa con prácticas sostenibles y responsables.

Palabras clave: aguas residuales, diagnóstico, industria alimentaria, parámetros, normatividad ambiental.

Abstract

The food industry, as one of the fundamental pillars of the Colombian economy, faces the challenge of reducing its environmental impact, particularly about water resource pollution. The organic load generated by this industry affects aquatic ecosystems and compromises water quality. In response to this problem, food companies have implemented proactive measures, such as the optimization of water use and the adoption of circular economy principles.

The present project focuses on conducting an analysis of the non-domestic wastewater treatment plant of the company Joli Foods, with the purpose of proposing improvement strategies that ensure compliance with environmental regulations, especially Resolution 0631 of 2015. For this purpose, a characterization and diagnosis of both the production process and the wastewater treatment plant is performed, to identify the properties and components present in the wastewater and propose effective solutions that promote the sustainable use of water.

The methodology includes the characterization of the water at the end of treatment, a detailed diagnosis and the formulation of recommendations to optimize the plant, based on the parameters measured and the maximum values allowed by the regulations. Improvements are proposed based on a thorough review of the treatment system, which allows identifying general recommendations for its functionality. This facilitates compliance with Resolution 0631 of 2015, contributes to resource conservation and reinforces the company's commitment to sustainable and responsible practices.

Keywords: wastewater, diagnosis, food industry, parameters, environmental regulations.

Introducción

La industria alimentaria representa uno de los sectores más significativos en términos de contaminación del recurso hídrico. Sus cargas orgánicas conllevan la contaminación y eutrofización del medio acuático, afectando los ecosistemas y comprometiendo la salud de la vida silvestre, así como la calidad del agua para consumo humano y agrícola. Frente a este desafío las empresas alimentarias han adoptado medidas proactivas para mitigar su impacto ambiental. La implementación de planes para el uso eficiente del agua se ha convertido en una prioridad, buscando reducir el consumo y minimizar la descarga de aguas residuales contaminadas. Asimismo, se están aplicando conceptos de economía circular, promoviendo la reutilización de recursos en los procesos de producción, como lo establece la Resolución 1207 de 2014 (Galeano Orozco, 2020). En la actualidad, empresas como Joli Foods están integrando estos conceptos de mitigación ambiental en sus operaciones. Con un enfoque en la reducción de la contaminación por aguas residuales, Joli Foods trabaja para cumplir con la normativa vigente, minimizando su impacto ambiental y promoviendo la reutilización de recursos para un futuro más sostenible.

El sector alimentario desempeña un papel vital en la economía colombiana, representando aproximadamente el 22% del PIB industrial y generando numerosos empleos. Sin embargo, también genera una considerable cantidad de aguas residuales que requieren un tratamiento adecuado antes de su vertido en fuentes superficiales o sistemas de alcantarillado, o incluso para su reutilización (Oviedo et al., 2023). La aplicación de tecnologías avanzadas de tratamiento, como la oxidación biológica, sedimentación, filtración, y desinfección, permite alcanzar niveles de calidad del agua que cumplen con los estándares regulatorios.

En Colombia, el crecimiento industrial ha sido notable, lo que ha impulsado la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales como estrategia fundamental para la disminución de impactos sobre los cuerpos hídricos. La legislación ambiental, a través de la Resolución 0631 del 2015, establece los parámetros y límites máximos permisibles para los vertimientos, garantizando un marco regulatorio robusto que promueve la protección del medio ambiente y la gestión responsable de los efluentes industriales, en beneficio de la preservación de la calidad del agua y la sostenibilidad de los recursos hídricos en el país (MADS, 2015).

En el tratamiento de las aguas residuales es común la utilización de procesos biológicos para la remoción de la materia orgánica y otras sustancias contaminantes. El tratamiento biológico, en general, se puede desarrollar a través de dos vías dependiendo de la disponibilidad de oxígeno disuelto en el medio acuático: aerobia o anaerobia. En ambos casos la materia orgánica medida en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) o Carbono Orgánico Total (COT) es degradada por microorganismos y los productos finales dependerán de la ruta seleccionada. Estas tecnologías en sus diferentes manifestaciones constituyen una excelente alternativa de tratamiento no solo para residuos líquidos industriales sino también para aguas residuales domésticas (Vásquez Núñez, 2023).

De este modo, el presente trabajo tiene como finalidad realizar un análisis de la planta de tratamiento de agua residual no domestica de la empresa Joli Foods, para así proponer estrategias de mejora del tratamiento y cumplir con la Resolución 0631 del 2015, que establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, además de presentar alternativas para que cada una de las características del agua residual logre el cumplimiento de la normativa; todo ello se realiza mediante la caracterización y diagnóstico del proceso productivo de la empresa y de la planta de agua residual, lo que permite identificar las distintas propiedades y componentes presentes en el agua residual no doméstica, lo que posibilita la implementación de soluciones más eficientes y la identificación de oportunidades de mejora, promoviendo el uso sostenible y responsable del agua.

1. Planteamiento del problema

La industria alimentaria genera una cantidad significativa de aguas residuales como resultado de sus procesos productivos. La composición y el nivel de contaminación de estos efluentes varían considerablemente según los productos elaborados por cada empresa. Estos contienen una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas, incluyendo grasas, aceites, proteínas, carbohidratos, así como aditivos y detergentes utilizados en las operaciones de limpieza y producción.

Para cumplir con las normativas ambientales y minimizar el impacto ecológico, es esencial que estas aguas residuales sean sometidas a un tratamiento adecuado antes de su vertido en cualquier cuerpo de agua, suelo o sistemas de alcantarillado. Este tratamiento debe incluir procesos físicos, químicos y/o biológicos diseñados para reducir las concentraciones de contaminantes a niveles aceptables. La implementación de tecnologías de tratamiento, como la coagulación-floculación, la filtración por membranas y los reactores biológicos anaerobios y aerobios, optimiza la eficiencia del tratamiento, asegurando el cumplimiento de los requisitos establecidos por la Resolución 0631 de 2015 y promoviendo la sostenibilidad ambiental en la industria alimentaria.

Las aguas residuales generadas por Joli Foods contienen una mezcla compleja de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos, resultado de los diversos procesos de fabricación y producción en la industria alimentaria. Si no se tratan adecuadamente, estos efluentes pueden tener un impacto significativo en los cuerpos de agua receptores, afectando tanto la calidad del agua como la biodiversidad acuática. Actualmente, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Joli Foods presenta que los resultados de los parámetros del agua residual son muy variables dependiendo de las actividades productivas, lo que dificulta el cumplimiento de los valores establecidos en la Resolución 0631 de 2015. Entre los problemas identificados se encuentran la ineficiencia en la remoción de contaminantes, falencias en algunas etapas del proceso de tratamiento y la necesidad de utilizar otras alternativas de tratamiento. Estas deficiencias no solo comprometen la calidad del efluente tratado, sino que también aumentan el riesgo de sanciones regulatorias y de impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, es necesario realizar un diagnóstico detallado del sistema de tratamiento existente y proponer mejoras técnicas que

permitan a Joli Foods cumplir con los estándares ambientales, garantizando la protección de los cuerpos de agua receptores y la sostenibilidad operativa de la planta.

2. Justificación

La necesidad de optimizar el tratamiento de aguas residuales en Joli Foods se fundamenta en varios aspectos críticos. *Primero*, el cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015 no solo es una obligación legal, sino también una responsabilidad ética y ambiental de la empresa. La normativa establece los valores máximos permisibles para los diversos contaminantes, asegurando que los vertimientos no perjudiquen los ecosistemas acuáticos ni la salud pública. *Segundo*, la optimización del tratamiento de aguas residuales puede contribuir significativamente a la reducción de costos operativos y al aumento de la eficiencia de la planta. Al implementar tecnologías avanzadas y prácticas innovadoras, es posible mejorar la remoción de contaminantes, reducir el consumo de energía y minimizar la generación de residuos secundarios. *Tercero*, el compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental es cada vez más valorado por los consumidores y las partes interesadas. Una gestión adecuada de los efluentes industriales puede mejorar la imagen corporativa de Joli Foods fortalecer su posición en el mercado y fomentar la aceptación social de sus operaciones. Además, la implementación de estas mejoras técnicas puede servir como modelo para otras industrias alimentarias, promoviendo prácticas ambientales responsables y contribuyendo al desarrollo sostenible del sector.

El proyecto incluye una investigación normativa sobre el tratamiento de aguas residuales, destacando las metodologías empleadas y los límites máximos permitidos, entre otros aspectos clave. Profesionalmente, este proyecto representa un gran avance, ya que permite entender a fondo las problemáticas existentes y como se han manejado por varios autores. Este conocimiento es crucial para proponer alternativas innovadoras que minimicen el impacto de las metodologías actuales y ofrecer una perspectiva técnica y profunda del tema.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico de la PTAR-I de la empresa Joli Foods mediante análisis teóricos y prácticos para identificar mejoras que garanticen el cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar la documentación acerca de las etapas de tratamiento presentes en la PTAR-I de la empresa Joli Foods, con el fin de identificar el estado de las unidades, dimensiones y procesos operativos.
- Evaluar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0631 de 2015 mediante la medición de parámetros básicos en el efluente.
- Identificar mejoras operacionales y técnicas adicionales que optimicen la eficiencia del tratamiento de aguas y faciliten el cumplimiento con los parámetros de la Resolución 0631 de 2015.

4. Marco teórico

Las descargas de las aguas residuales de tipo doméstico e industriales, se han convertido en uno de los problemas más críticos ambientalmente, su aumento se debe principalmente al incremento poblacional de los centros urbanos medianos y grandes. La situación de descargas se hace más crítica cuando la corriente tiene un uso definido aguas abajo, se alteran las condiciones de calidad del agua requeridas para el abastecimiento de actividades específicas (doméstica, industrial, agrícola, pecuaria, etc.) y la vida acuática (Alfárez Rivas & Nieves Pimiento, 2019). Las aguas residuales son aquellas provenientes de procesos postindustriales, es decir, las aguas utilizadas en diversos sistemas de fabricación, producción o manejo industrial que, antes de ser desechadas, requieren tratamiento previo (Da cámara et al., 2014).

Toda agua residual posee ciertas características físicas como la densidad, el olor, el color, y la cantidad total de sólidos, los cuales se clasifican en sólidos disueltos y en sólidos en suspensión, además, poseen características químicas particulares, tales como la cantidad de materia orgánica allí presente, cantidad de fosfatos, nitritos, nitratos, sulfatos, cloruros, metales pesados y gases como el oxígeno, metano, dióxido de carbono, amoníaco y nitrógeno gaseoso y características microbiológicas comunes como los coliformes totales, E. coli, parásitos protozoos, salmonella sp, entre otras. Teniendo en cuenta estas características, es importante llevar a cabo una apropiada caracterización que permita determinar el tratamiento adecuado que deben recibir las aguas residuales industriales de acuerdo con su respectiva normativa, la cual puede ser específica según el tipo de industria (Aranda Caraballo, 2018).

En Colombia la Resolución 0631 del 2015 es la norma que establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Así mismo, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad. Definiendo también a las aguas procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas – ARD, se caracterizan como aguas Residuales no Domésticas – ARnD (MADS, 2015).

Las industrias alimentarias debido a la intensidad de sus operaciones y la variedad de productos que elaboran se destacan como generadoras de grandes volúmenes de aguas residuales. En la actualidad el manejo eficiente del agua en estas industrias se ha convertido en una estrategia empresarial crucial para reducir su huella hídrica y garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente (Galeano Orozco, 2020).

Existen diversos métodos para tratar las aguas residuales, que abarcan lo químico, físico y biológico. En la industria de alimentos, la aplicación de procesos biológicos para tratar las cargas contaminantes orgánicas es de suma importancia, estas cargas representan una problemática ambiental significativa debido a la producción de nutrientes que alteran las condiciones de los ecosistemas cercanos a los cuerpos de agua contaminados. De esta manera, la mejor forma de tratar las aguas residuales dependerá de una serie de factores característicos, tales como: el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, las posibilidades de reutilización de esta, etc. (Da cámara et al., 2014).

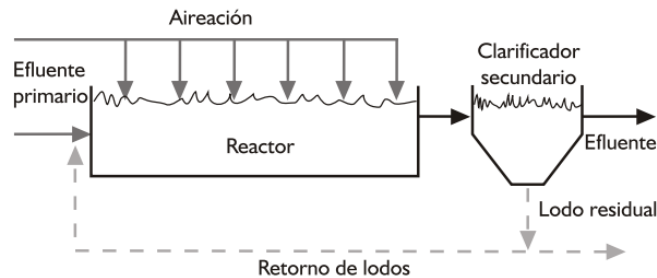
La empresa Joli Foods emplea actualmente como tratamiento biológico uno aerobio conocido como lodos activados, el proceso de lodos activados es quizá el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales, orgánicas e industriales en el cual las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. Los objetivos del tratamiento biológico aplicado al agua residual son: transformar materia biodegradable disuelta y particulada en productos finales (CO_2 , H_2O , lodos de desecho), capturar e incorporar sólidos suspendidos y coloidales no sedimentables, en floc biológico o bio-película, transformar o remover nutrientes (Patarroyo Hernández, 2013).

Una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa, el ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden estar ubicados en el lecho o superficie de este. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por decantación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema. El empleo de lodos activados ofrece una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales

ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica, patógenos y nutrientes (Quiroga & López, 2008). La Figura 1 muestra un esquema del proceso de lodos activado convencional.

Figura 1.

Esquema del proceso de lodos activados convencional.



Nota. Tomado de Metcalf & Eddy, 1995.

Estas industrias también recurren a métodos químicos y físicos adicionales, como el almacenamiento o sedimentación simple, la filtración (simple, doble y múltiple), la floculación, la flotación, el intercambio de iones mediante centrifugación, la ósmosis inversa, la absorción de carbono y la precipitación química, alternativas que complementan los procesos de tratamientos de aguas residuales industriales (Oviedo et al., 2023).

La implementación de procesos físicos y biológicos asegura un tratamiento eficiente de las aguas residuales industriales, cumpliendo con la Resolución 0631 de 2015, que establece los parámetros y límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público. Desde una perspectiva técnica y ambiental, la incorporación de estas alternativas en el tratamiento de aguas residuales es crucial. Estos procesos mejoran la eficiencia del tratamiento, reducen el impacto ambiental y garantizan el cumplimiento de las normativas, fortaleciendo el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. La adopción de estas técnicas no solo protege los cuerpos de agua receptores, sino que también mejora la resiliencia y eficacia de la planta de tratamiento, asegurando operaciones más seguras y sostenibles a largo plazo.

5. Metodología

Mediante la implementación de una metodología estratégica, se busca garantizar una evaluación integral del sistema de tratamiento de agua con el objetivo de identificar áreas de mejora y proponer soluciones que permitan cumplir con los estándares normativos y optimizar el proceso de tratamiento. Para alcanzar los objetivos establecidos en este proyecto, se realizará un diagnóstico teórico del comportamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la empresa Joli Foods, abarcando diferentes etapas de recolección, análisis y evaluación de datos.

El objetivo de un diagnóstico es proporcionar una comprensión detallada y precisa de la situación para tomar decisiones informadas y diseñar estrategias de solución o mejora, por lo tanto, los pasos para el cumplimiento de los objetivos consisten en la documentación y análisis del proceso o tren de tratamiento, la evaluación de desempeño de la PTAR-I o cumplimiento de límite máximo permisible de la normativa y la identificación de posibles mejoras.

5.1 Revisión de documentación y normatividad para el caso de estudio.

Se realiza una revisión exhaustiva de la documentación interna de la empresa Joli Foods y la normativa vigente, específicamente la Resolución 0631 de 2015. Esta revisión permitirá entender los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos de aguas residuales no domésticas.

5.2 Identificar el proceso operativo de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.

Mediante un trabajo en planta se realiza un análisis del funcionamiento operativo de la PTAR-I de la empresa Joli Foods, este se lleva a cabo desde la entrada del afluente en las diferentes etapas del tratamiento, tales como el tratamiento preliminar, el tanque de homogenización, el tratamiento biológico de lodos activados, la filtración en arena y carbón activado hasta la salida de efluente, identificando y detallando cada proceso, sus características y funcionamiento.

5.3 Caracterización de las aguas Residuales No Domesticas y comparativo con la norma.

Para la caracterización de las aguas residuales, se utilizan los datos proporcionados por Biotrends Laboratorios. Esta caracterización incluye el análisis fisicoquímico del agua residual no

doméstica proveniente del tanque de salida de la PTAR-I. Los parámetros incluyen DQO, DBO, pH, SST, SSED, grasas y aceites. Por medio de esta caracterización se evaluará la eficiencia del tratamiento para luego realizar el comparativo con los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015. Posteriormente, se identifican los parámetros que no cumplen con la normativa y se analizan las posibles causas de estos incumplimientos.

5.4 Identificación de ajustes operacionales y técnicas adicionales que optimicen la eficiencia de la PTAR-I.

Se realiza una revisión de la literatura y casos de estudio relacionados con tratamientos de aguas residuales en industrias similares. Posteriormente se estudian los métodos y tecnologías aplicadas con éxito en otros contextos para identificar alternativas de mejora para la PTAR de Joli Foods y con base en la revisión de literatura y el diagnóstico realizado, se propondrán alternativas de tratamiento específicas para mejorar los valores de los parámetros que no cumplen con la normativa. Estas propuestas incluirán tecnologías de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, entre otras.

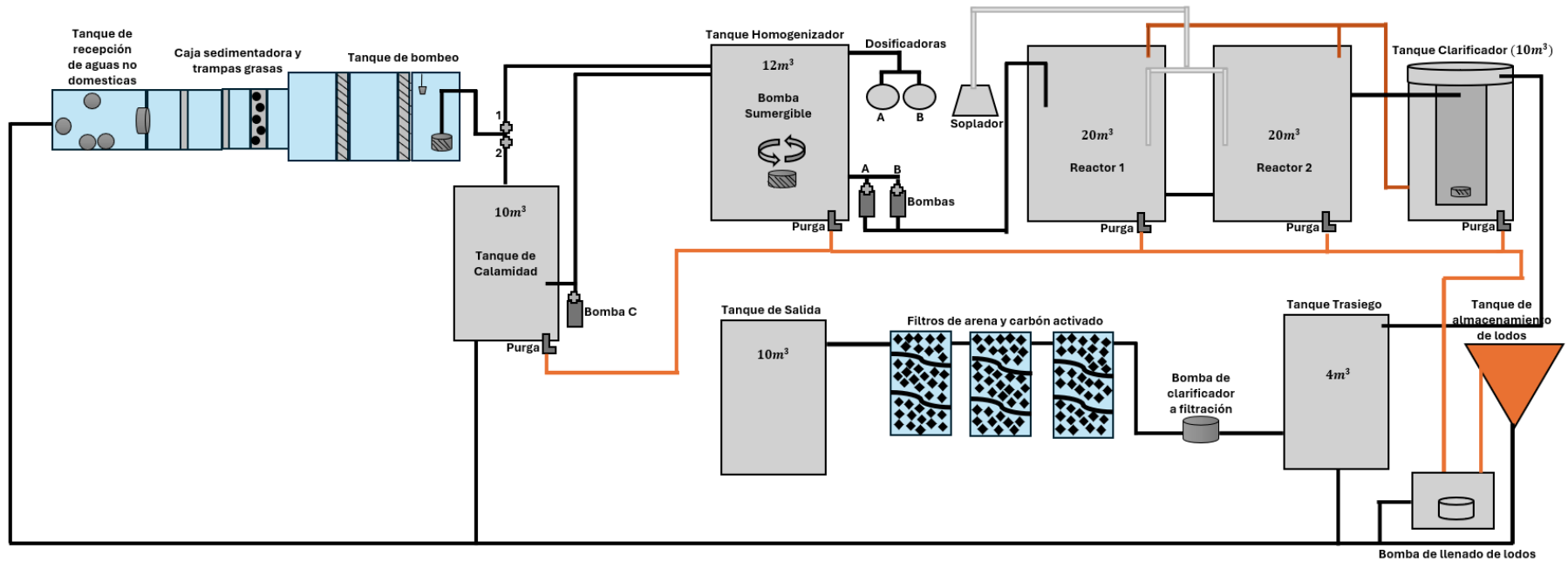
6. Resultados

6.1 Análisis del proceso de la PTAR-I de la empresa Joli Foods

Para la primera fase del proyecto fue necesario realizar un análisis detallado del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de comprender el funcionamiento e identificar el proceso y control del agua no doméstica a tratar proveniente de la planta en sus tres áreas de producción (Condimentos, esencias y salsas). Según lo mencionado previamente, es necesario detallar el proceso de ejecución paso por paso, este se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Esquema del tren de tratamiento para las aguas industriales de la empresa Joli Foods.



Nota. Adaptado del proceso de operación en planta de la empresa Joli Foods.

6.1.1 Etapas del tratamiento

La PTAR-I Joli Foods está diseñada para un caudal de 0,31 L/s con un flujo laminar y tiene la siguiente secuencia de operaciones unitarias y procesos que conforman el sistema de tratamiento del vertimiento líquido:



Donde:

- **ARP:** Agua residual de los procesos de producción.
- **TP:** Tratamiento preliminar.
- **H.I.E:** Tanque de homogenización, igualación y equilibrio.
- **TC:** Tanque de calamidad.
- **LACM:** Tratamiento biológico de lodos activados completamente mezclados.
- **FA:** Filtración en arena.
- **FCA:** Filtración en carbón activado.
- **EF*:** Efluente final al tanque de salida.

6.1.2 Tratamiento preliminar (TP)

Los tratamientos preliminares se utilizan para preparar las aguas residuales antes de que reciban un tratamiento subsiguiente. Su objetivo es evitar daños a los equipos mecánicos, prevenir la obstrucción de tuberías y evitar la formación de depósitos permanentes en las unidades o tanques de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Inicialmente las aguas residuales se recogen por gravedad en una cámara o estructura localizada en el predio de Joli Foods donde convergen por gravedad todas las aguas residuales de los procesos productivos.

Canal de aproximación y rejillas de cribado: para su óptimo aprovechamiento se acondicionó con un sistema de canal de aproximación de 0,40m de ancho por una longitud de 1,30 m y una altura de 0,5 m de que incorpora rejillas para el cribado de material grueso y fino. Se

incluye una canastilla donde se dispone los materiales, para el secado el material retenido en las rejillas de las aguas residuales de entrada, la cual puede extraerse manualmente.

Trampa de grasas y tanque de bombeo: después del canal de entrada se ubica una trampa de grasas, dentro de la misma estructura, de dos compartimentos que servirá para retener las grasas y aceites insolubles; de esta manera se pueden separar del vertimiento por efectos de la gravedad, con un tiempo de retención que permita un flujo laminar y la separación por densidades de agua y grasas y aceite, esto facilitará el trabajo y eficiencia de los procesos posteriores. La estructura cuenta con un ancho de 1,10 m por un largo total de 1,6 m por 1,60 m de alto. Por último, se tendrá un tanque para la ubicación del sistema de bombeo de aguas residuales al proceso de tratamiento. Esta estructura tiene de 1,10 m de ancho, 1,65 m de altura y 1,00 m de longitud total, como se observa en la Figura 3.

Figura 3.

Tratamiento preliminar en la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía tomada en el lugar donde se realiza el tratamiento preliminar del agua residual de la empresa Joli Foods.

6.1.3 Tanque de homogenización, igualación y equilibrio (H.I.E)

Las aguas residuales luego del tratamiento preliminar se almacenan en un tanque denominado tanque de homogenización, igualación y/o equilibrio, donde se homogeniza las aguas del vertimiento. En el tanque de homogenización se regula el vertimiento que presenta descargas

irregulares con variaciones tanto en el caudal y el pH. Igualmente, con el tanque de compensación se gana operatividad en la PTAR, pues las unidades que conforman la planta pueden ser operadas a un caudal medio y no máximo.

El tanque de equilibrio, compensación y/o homogenización es de un volumen total de 12 m³ de capacidad tiene un diámetro de 2,40 m una altura en la parte cilíndrica neta de 2,80 m (ver Figura 4) y estará dotado de control de nivel mínimo (parada) y máximo (arranque). Para la alimentación de las aguas residuales al tanque de lodos activados se utilizará dos bombas centrifugas con capacidad de 5 GPM c/u con una altura dinámica total (HDT) de 15 m que funcionaran de forma alternada. El arranque de las bombas es accionado con un flotador eléctrico de alta de 2,5 m y de baja de 1,5 m instalado en el tanque de homogenización y determina cuando existe nivel mínimo o máximo, también debe atender una señal del flotador en el canal de salida del Reactor cuando este se encuentre en su nivel más alto, las bombas del tanque de equilibrio deben apagar para no enviar más agua, igualmente las bombas deben trabajar alternadas por un timer, se deja la opción de trabajarlas manualmente para pruebas y emergencias.

Para generar la homogenización de las aguas residuales y la mezcla de químicos para control de pH y nutrientes, al interior y en el fondo del tanque, se localiza una bomba sumergible para generar mezcla y homogenización. La bomba elegida es de una potencia máxima de 3 HP, HDT 3 m y un caudal de 215 GPM.

El tanque cuenta externamente con dos dosificadoras (A y B), esenciales para el cumplimiento normativo y el óptimo funcionamiento de la planta. La dosificadora A administra potasa cáustica (KOH) para incrementar el pH del efluente, asegurando la neutralización de ácidos y optimizando la eficiencia de los procesos de tratamiento subsecuentes, además de cumplir con las regulaciones ambientales. La dosificadora B administra urea (CH₄N₂O), proporcionando una fuente concentrada de nitrógeno necesaria para el metabolismo y crecimiento de los microorganismos en el proceso de lodos activados. Este nutriente es crucial para la síntesis de proteínas y biomoléculas esenciales, facilitando la degradación de la materia orgánica en las aguas residuales. Ambas dosificadoras implementan medidas regulatorias que son críticas para el

funcionamiento eficaz de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industrial (PTAR-I) de Joli Foods.

Figura 4.

Tanque de homogenización, igualación y equilibrio en la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía tomada en tanque de homogenización, igualación y equilibrio de la empresa Joli Foods.

6.1.4 Tanque de calamidad (TC)

El tanque de emergencia es implementado como una medida preventiva y de respuesta ante situaciones críticas, especialmente cuando la empresa experimenta alta producción o cuando el área de salsas lleva a cabo el proceso de limpieza en sitio (CIP) de las maquinarias. En este contexto, se cierra la válvula número 1 y se abre la válvula número 2, tal como se muestra en la Figura 1. El agua, proveniente del proceso preliminar, ingresa al tanque de emergencia, suspendiendo su entrada al tanque homogenizador. Esto permite extender el tiempo de tratamiento de las aguas residuales.

El tanque tiene una capacidad total de 10 m³ (ver Figura 5) y está equipado con un sistema de control de ingreso del agua industrial mediante un sensor ubicado en el tanque de homogenización. Además, cuenta con una bomba que circula el flujo hacia el tanque de homogenización cuando sea necesario, según la decisión del operario.

Figura 5.

Tanque de calamidad de la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía del tanque de calamidad de la empresa Joli Foods.

6.1.5 Tratamiento biológico de lodos activados completamente mezclados (LACM)

El tratamiento secundario de tipo biológico aerobio se usa esencialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual, a través de la actividad bioquímica de microorganismos, principalmente bacterias, que las convierten en nuevo tejido celular y en productos finales oxidados, especialmente CO₂ y agua.

El proceso biológico de lodos activados es quizá el de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales industriales con contenido de materia orgánica biodegradable. En el proceso básico, el agua residual llega a un tanque o reactor, donde partículas floculantes de

microorganismos entran en contacto con los componentes orgánicos del agua residual. Al contenido del reactor se le denomina licor mezclado. Por las características de las aguas residuales de vertimiento de Joli Foods y el caudal a tratar 0,31 L/s, para optimizar el tamaño de la planta y el manejo de lodos se utilizará la modificación del proceso convencional de lodos activados denominada lodos activados de aireación extendida.

El proceso de aireación extendida u oxidación total se denomina a veces tratamiento a baja tasa o carga, aplicable a pequeñas plantas. La clarificación primaria generalmente se omite, y el objetivo principal de esta modificación se centra en minimizar el manejo de lodos, pero se maximiza el consumo de oxígeno debido a que el suministro de aire debe ser suficiente para oxidar la materia orgánica soluble, la oxidación de la biomasa producida por utilización del sustrato y la oxidación del nitrógeno total. El proceso de lodos activados completamente mezclado se ilustra en la Figura 1 que incluye.

- Dos tanques (ver Figura 6) que funcionarán como reactor biológico (reactor 1 y reactor 2), diseñado para manejar condiciones de mezcla completa, la configuración de dos tanques idénticos aporta el volumen suficiente para proveer un tiempo de retención hidráulico adecuado.
- Un mecanismo para crear turbulencia que se ubica en cada tanque o reactor, para lo cual se utiliza un soplador externo. Adicionalmente para facilitar la transferencia de oxígeno en el interior se localizan una serie de discos difusores de burbuja fina.
- Un tanque clarificador cilíndrico (ver Figura 7) donde se produce la sedimentación para separar los sólidos del licor mezclado y producir un efluente clarificado.
- Un tanque cilíndrico que incorpora un sistema de bombeo para recircular los lodos desde el clarificador secundario hasta el tanque de aireación.

En el reactor biológico o tanque de aireación se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. El líquido mezclado se hace sedimentar para recircular una proporción determinada de lodos al tanque de aireación. La finalidad de este retorno es mantener una concentración suficiente de lodo activado medidos como sólidos suspendidos volátiles del licor

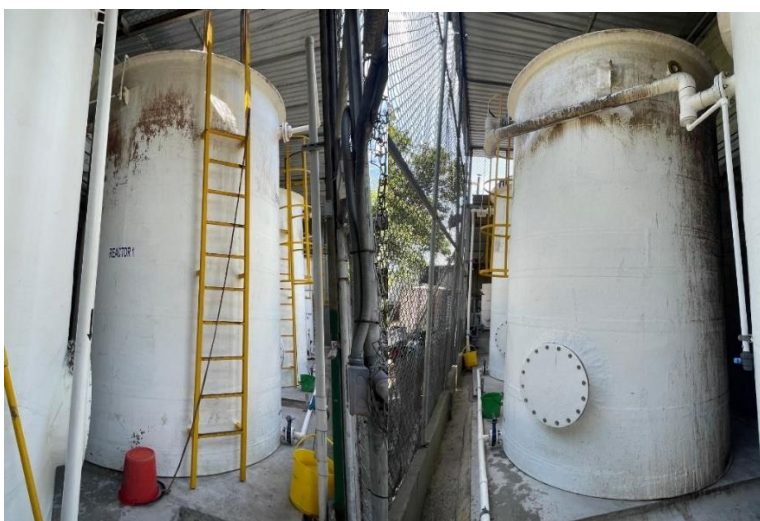
mezclado en el tanque de aireación (SSVLM), de modo que pueda obtenerse el grado requerido de tratamiento en el intervalo de tiempo deseado. El retorno del lodo desde el clarificador secundario hasta la entrada del reactor biológico es la característica esencial del proceso.

El producto del tratamiento con lodos activados resulta un volumen de lodos que deben manejarse y tratarse adecuadamente, antes de su disposición final y, de esta forma, evitar su descomposición incontrolada y los problemas ambientales que pueden presentarse. Para facilidades de espesamiento se utiliza un espesador modular en forma de tanque cilíndrico vertical de fondo cónico (ver Figura 8) con salida de los lodos concentrados por el fondo o parte inferior y, el clarificado por la parte superior.

Como medida preventiva, cada dos semanas se adiciona miel de purga, un subproducto de la refinación del petróleo, a los reactores de lodos activados en la PTAR-I. Este aditivo proporciona una fuente adicional de carbono, que mejora la biodegradabilidad de las aguas residuales, estimula la actividad microbiana y aumenta la eficiencia del tratamiento biológico. Esto reduce los tiempos de retención, mejora la calidad del efluente tratado y facilita el cumplimiento normativo.

Figura 6.

Taques del tratamiento biológico de lodos activados completamente mezclados de la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía tomada en la empresa Joli Foods, a la izquierda tanque reactor 1 y a la derecha tanque reactor 2.

Figura 7.

Tanque Clarificador y tanque Trasiego de la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía del tanque clarificador a la izquierda y tanque trasiego a la derecha de la empresa Joli Foods,

Figura 8.

Tanque de almacenamiento de lodos de la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía del tanque de almacenamiento de lodos de la empresa Joli Foods.

6.1.6 Filtración (FA y FCA)

Filtración en arena FA: el efluente del proceso de lodos activado o agua clarificada se somete a un proceso de tratamiento terciario de pulimento haciendo pasar el agua a través de un sistema de tres filtros en serie: uno con lecho de arena y dos (2) con lecho de carbón activado, antes de su vertimiento al cuerpo receptor y/o su reusó en alguna actividad apropiada en la empresa.

- El clarificado del proceso de lodos activados se filtra a través de una unidad de filtración a presión de lecho de arena. El objetivo base de la filtración es separar las partículas que no han quedado retenidas en el proceso anterior.
- Durante el proceso de filtrado, los granos del medio filtrante se recubren de material depositado en ellos hasta obstruir el paso del flujo, lo que obliga a limpiarlos periódicamente. Esto se logra invirtiendo el sentido del flujo en el filtro, inyectando agua en los drenes y recolectándola en la parte superior.

Filtración en carbón activado FCA: como pulimento final en el tratamiento se utilizará un sistema de filtración en carbón activado granular. La adsorción es la concentración de un soluto en la superficie del sólido. La eliminación de los contaminantes en la columna de carbón activado se lleva a cabo mediante tres mecanismos:

1. Adsorción
2. Fijación de partículas grandes
3. Deposición parcial de material coloidal.

Para la filtración del agua clarificada a través de los filtros con lechos de arena y de carbón activado (ver Figura 9), al igual que para el retro lavado de los lechos de los filtros se utilizarán bombas centrífugas.

Figura 9.

Filtros de arena y carbón activado de la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía de filtros de arena y carbón activado de la empresa Joli Foods.

6.1.7 Efluente final al tanque de salida (EF)

Después de finalizar el proceso de tratamiento, el efluente final se descarga en un cuerpo receptor (tanque de salida) con una capacidad total de 10 m³ (ver Figura 10). Este tanque está equipado con una bomba controlada desde el panel de operaciones cuando se alcanza su nivel máximo.

La planta opera con un tiempo de retención de 8 horas. El caudal de entrada desde el tanque homogenizador hacia los demás procesos es de 0,6 L/s, mientras que el caudal de salida hacia el tanque final es de 0,4 L/s. Estas características son esenciales para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Actualmente, la empresa Joli Foods está gestionando el permiso de vertimientos. El control y manejo de las aguas tratadas no domésticas se realiza diariamente por una empresa gestora, la cual transporta el efluente en vehículos adecuados hacia una planta destinada a su disposición final.

Figura 10.

Tanque de salida del efluente de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.



Nota. Fotografía del tanque de salida, tomada en la PTAR-I de la empresa Joli Foods,

6.2 Evaluación de los parámetros de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.

De acuerdo con la normatividad establecida en Colombia por el ministerio ambiente y desarrollo sostenible, la Resolución 0631 del 2015, encargada de los aspectos ambientales, establece los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y otras disposiciones, igualmente dichos parámetros son objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad.

Joli Foods empresa fabricante de materias primas categorizada con actividad industrial según la norma en el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, según el artículo 12 de la Resolución 0631 del 2015, presenta que los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cumplir son los indicados en la Tabla 1, para estos análisis solo se tendrán encuentra los parámetros básicos, subrayados en color azul.

Tabla 1.*Valores máximos permisibles de vertimiento para la elaboración de productos alimenticios.*

Parámetro	Unidades	Elaboración de productos alimenticios
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda química de oxígeno (<i>DQO</i>)	mg/L O_2	600,00
Demanda bioquímica de oxígeno (<i>DBO₅</i>)	mg/L O_2	400,00
Sólidos Suspendedos Totales (<i>SST</i>)	mg/L	200,00
Sólidos Sedimentables (<i>SSED</i>)	mg/L	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00
Compuestos Semi volátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuesto de Fósforo		
Ortofosfatos ($P - PO_4^{3-}$)	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos ($N - NO_3^-$)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos ($N - NO_2^-$)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal ($N - NH_3$)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/l	
Iones		
Cianuro Total (CN^-)	mg/L	0,50
Cloruros (Cl^-)	mg/L	250,00
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg/L	250,00
Sulfuros (S^{2-})	mg/L	-
Metales y Metaloides		
Cadmio (C_d)	mg/L	0,05
Cinc (Z_n)	mg/L	3,00
Cobre (C_u)	mg/L	1,00
Cromo (C_r)	mg/L	0,50
Mercurio (H_g)	mg/L	0,01
Níquel (N_i)	mg/L	0,50
Plomo (P_b)	mg/L	0,20
Otros Parámetros para Análisis y Reporte		
Acidez Total	mg/L $CaCO_3$	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica	mg/L $CaCO_3$	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436nm, 525nm y 620nm)	m^{-1}	Análisis y Reporte

Nota. Adaptado de la Resolución 0631 del 2015. Art. 12

La caracterización de las aguas residuales no domésticas, mediante un análisis programado realizado por el laboratorio uno, tiene como objetivo identificar la composición y las propiedades

fisicoquímicas del efluente generado por la empresa Joli Foods. El informe, elaborado el 04 de abril del 2024, se basó en una muestra tomada del agua residual presente en el tanque de salida, y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2. Teniendo en cuenta la Tabla 1, los parámetros a los cuales se realizarán los análisis son la DQO, DBO, pH, SST, SSED, grasas y aceites.

Tabla 2.

Resultados de la medición de los parámetros tomado del agua residual no domesticas del tanque de salida el día 04 de abril del 2024.

Parámetros	Método Utilizado	Resultados	U	Regla	Unidades	Especificación (Minambiente)	Cumplimiento
Temperatura	Termometría. IDEAM. En sitio No acreditado.	Min: 22,1 Max: 25,4	No aplica	No aplica	°C	*	No aplica
Caudal	Volumetría. IDEAM. En sitio No acreditado.	Min: 1,1719 Max: 3,8461	No aplica	No aplica	s/h	*	No aplica
pH	SM 4500-H+ B(potenciometría) Ed. 23:2017. IDEAM. No acreditado.	Min: 7,0 Max: 7,8	+/- 0,04	Regla 1	Unidades de pH	6,00 – 9,00	SI
Demanda química de oxígeno (DQO)	Reflujo Cerrado, Método Volumétrico, SM 5220 C. IDEAM No acreditado.	603,3	+/- (concentración) x 2%	Regla 1	mg/L O ₂	Máximo 600,00	NO
Solidos Suspendidos Totales (SST)	Gravimétrico – Secado a 103 – 105 °C, SM 2540 D. IDEAM. No acreditado.	79,0	+/- (concentración) x 3%	Regla 1	mg/L	Máximo 200,00	SI
Solidos Sedimentables (SSED)	SM 2540 F (Volumetría) Ed. 23:2017. IDEAM. No acreditado.	<0,1	No aplica	No aplica	mg/L	Máximo: 2,00	SI
Grasas y Aceites	SM 5520 B (extracción Líquido-Líquido, gravimetría) Ed 23:2017. IDEAM. No acreditado.	<10,0	+/- (concentración) x 5%	Regla 1	mg/L	Máximo: 20,00	SI
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	Incubación a 5 días SM 5210 B; Modificación de Azida SM 4500-O C. IDEAM. No acreditado.	357	+/- (concentración) x 5%	Regla 1	mg/L O ₂	Máximo: 400,00	SI

Nota. Adaptado del informe de análisis generado por el laboratorio uno.

Así mismo para el día 07 de mayo del 2024 se realizó un análisis programado realizado por el laboratorio dos que tiene como objetivo efectuar la caracterización de las Aguas Residuales NO Domesticas - ARnD en la Salida del sistema perteneciente a la empresa JOLI FOODS S.A.S. El monitoreo se realizará, de acuerdo con la Resolución 0631 de 2015, Artículo 12. Los resultados se presentan en la Tabla 3. Teniendo en cuenta la Tabla 1, los parámetros a los cuales se realizarán los análisis son la DQO, DBO, SST, grasas y aceites.

Tabla 3.

Resultados de la medición de los parámetros tomado del agua residual no domesticas del tanque de salida el día 07 de mayo del 2024.

Parámetro-sigla (Unidades)	Valores límites máximos permisibles	Valor obtenido salida del sistema	Cumple o No cumple o No se Analizó (N.A)
Generales		Generales	
DQO (mg/L O_2)	600,00	476	Cumple
DBO₅ (mg/L O_2)	400,00	253	Cumple
SST (mg/L)	200,00	118	Cumple
Grasas y Aceites (mg/L)	20,0	< 9,97	Cumple

Nota. Adaptado del informe de análisis generado por el laboratorio dos.

De acuerdo con el análisis comparativo realizado en laboratorio el día 04 de abril del 2015 de la muestra de agua residual no doméstica tomada del tanque de salida, se determinó que los resultados obtenidos no cumplen con las especificaciones establecidas en la Resolución 0631 de 2015. En particular, la demanda química de oxígeno (DQO) excede el valor máximo permisible, aunque el grado de incumplimiento es mínimo. Caso contrario al análisis tomado el día 07 de mayo del 2024 done los resultados obtenidos cumplen con las especificaciones de la norma.

Como medida preventiva, la empresa Joli Foods, implementó el 4 de junio de 2024 un tanque de almacenamiento en la PTAR-I. Este tanque se diseñó para mejorar la eficiencia de la planta en situaciones críticas, como periodos de alta producción o durante el proceso de limpieza (CIP) en el área de salsas, su función principal es almacenar temporalmente el agua residual antes de su ingreso al sistema de tratamiento, permitiendo un flujo laminar y constante sin alterar las presiones ni perjudicar el caudal de entrada a la planta. Esto ha sido crucial para mantener la

estabilidad operacional del tratamiento biológico, ya que evita sobrecargas repentinas que podrían comprometer la eficiencia del proceso de lodos activados.

Desde su implementación, el tanque de calamidad ha contribuido significativamente a estabilizar el funcionamiento de la PTAR-I, asegurando la conformidad con la normativa ambiental vigente, permitiendo controlar los picos de carga orgánica, reduciendo la variabilidad en los parámetros de calidad del efluente, particularmente la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El monitoreo continuo de la DQO ha confirmado que la planta cumple consistentemente con los límites establecidos por la regulación, demostrando la efectividad de esta medida en alcanzar el principal objetivo de conformidad normativa. Esta optimización no solo ha mejorado el desempeño de la PTAR-I en términos de eficiencia de tratamiento, sino que también ha asegurado un manejo más sostenible de las aguas residuales en condiciones de operación variables. En la Tabla 4, se evidencian los resultados del seguimiento del cálculo de la DQO desde la fecha de instalación.

Tabla 4.

Resultados de la medición de la DQO después de la instalación del tanque de calamidad.

<i>Fecha</i>	<i>DQO (mg/L O₂)</i>	<i>Cumplimiento < 600,00</i>
21 de junio del 2024	580	Cumple
27 de junio del 2024	550	Cumple
04 de julio del 2024	510	Cumple
11 de julio del 2024	520	Cumple
18 de julio del 2024	480	Cumple
24 de junio del 2024	540	Cumple
26 de junio del 2026	430	Cumple

Nota. Adaptado del informe de seguimiento de parámetros calidad del vertimiento de la empresa Joli Foods.

Sin embargo, esta estrategia de mejora puede ser complementada con la implementación de otras alternativas técnicas que permitan ajustar de manera más precisa los parámetros del vertimiento. Estas medidas adicionales no solo aseguran un aporte significativo en términos sociales y ambientales, sino que también contribuyen a alcanzar y mantener una estabilidad en el cumplimiento de la normatividad vigente.

6.3 Identificación de mejoras operacionales y técnicas adicionales que optimicen la eficiencia de la PTAR-I de la empresa Joli Foods.

Los datos obtenidos en la caracterización anterior son esenciales para identificar áreas de mejora y optimización. Por este motivo, se debe llevar a cabo un diagnóstico asertivo que garantice un tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente, este análisis permite implementar medidas efectivas para aplicar recomendaciones en el rendimiento del sistema de tratamiento y cumplir con los estándares ambientales establecidos.

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización del agua de la muestra tomada del tanque de salida se evalúa el rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales no domesticas en términos de remoción de contaminantes y cumplimiento de los objetivos del tratamiento. Estos resultados son comparados con los límites y estándares establecidos por la Resolución 0631 del 2015. Esto permite identificar inconsistencias en los valores de los parámetros y debilidades en el cumplimiento de la planta con los requisitos de calidad del efluente antes de su descarga en cuerpos hídricos superficiales. Además, facilita la detección de problemas en el sistema y la formulación de recomendaciones para mejorar la calidad del agua del efluente.

Considerando los resultados del diagnóstico de las aguas residuales y los tratamientos actuales en la industria alimentaria, se presentan a continuación una serie de alternativas complementarias. Estas propuestas, integradas con las mejoras implementadas en la PTAR-I, buscan optimizar la eficacia en la remoción de contaminantes y asegurar el cumplimiento de los estándares regulatorios.

6.3.1 Primera alternativa

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles o insolubles, entre estas últimas se destacan las partículas coloidales, sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleve a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alternar algunas características del agua,

a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (flotación), filtración, entre otros (Buenaño Dávalos, 2015).

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales aluminio y de hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

1. El primer fenómeno, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
2. El segundo fenómeno, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

El proceso de coagulación es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, alcalinidad, cantidad de partículas, etc., se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida (Buenaño Dávalos, 2015).

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración. Debido a la gran estabilidad que presentan los coloides, resulta imposible separarlas solamente por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro (Buenaño Dávalos, 2015).

El tratamiento físico químico del agua residual tiene como finalidad mediante la adición de ciertos productos químicos, la desestabilización del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable, para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación.

6.3.1.1 Coagulación.

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ($10^{-6} - 10^{-9} m$), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de estas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.) (Buenaño Dávalos, 2015).

"La coagulación química consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso." Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales trivalentes de aluminio y hierro (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo es favorecer la floculación. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color (Buenaño Dávalos, 2015).

Los principales coagulantes utilizados en los tratamientos de aguas son las sales de aluminio y de hierro como: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso y polielectrolitos. La selección y dosificación de un coagulante recomendado se determina únicamente mediante ensayos experimentales dependiendo del tipo de agua residual a tratar. Generalmente se utilizan ensayos como la prueba de jarras, la cual consiste en dosificar varias dosis de coagulantes alterando velocidades de mezclado con el fin de obtener el mejor coagulante y predecir el funcionamiento en una operación a gran escala (López & Mendoza, 2018).

6.3.1.2 Floculación.

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia. Entre los especialistas en el tratamiento del agua, se reserva el término "Coagulación" para denominar el fenómeno de desestabilización y el de "Floculación" para la aglomeración de los coloides descargados. A los reactivos correspondientes se les llama, respectivamente, coagulantes y floculantes (Buenaño Dávalos, 2015).

6.3.1.3 Antecedentes investigativos

Según Antonio Rodríguez (2016), en su trabajo de investigación "Informe de vigilancia tecnológica. Tratamientos avanzados de agua residuales industriales" indica que no hay reglas generales para evaluar la eficacia de un reactivo coagulante para cada tipo de agua residual, lo ideal es hacer para cada agua industrial el ensayo de Jarras (Jar test), mediante el cual se analiza la eficacia de los productos, así como el pH y su dosificación. En los equipos de tratamiento se deben diferenciar dos partes importantes, la primera que es dónde se adicionan los reactivos y se somete el agua en tratamiento a una fuerte agitación, por un corto periodo de tiempo, para así conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloide; de esta manera tendremos una buena coagulación. La segunda parte consiste en una zona de agitación moderada, donde el tiempo de permanencia es mayor, con el objetivo de que se dé una buena floculación, que permita separar los contaminantes de una forma eficiente.

Según Juan Carlos Merino Jima (2014), en su trabajo de investigación "La Seguridad e Higiene Industrial y la calidad del Agua y su incidencia en la Gestión de Riesgos Laborales y Ambientales en el centro de Faenamiento Ocaña" encontró que lo más eficiente en el tratamiento de aguas residuales no domesticas para la agroindustria, fue someterlos a proceso primario de Coagulación química y floculación con polímeros y como resultado se obtuvo los siguientes valores 100 mg/l de DQO y 100 mg/l de DBO, cumpliendo los parámetros que son exigidos por la Autoridad Ambiental.

Según, Mayra Gabriela Buenaño Dávalos (2015), en su trabajo de investigación “Propuesta de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui para que cumpla con la Normativa Ambiental T.U.L.A.S”, menciona que en los monitoreos realizados los parámetros que se encontraron fuera de norma son la Demanda Bilógica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los sólidos sedimentables y los sólidos suspendidos, además de coliformes. Parámetros que por los tratamientos de coagulación disminuyeron de la siguiente forma: 23 % en el caso del DBO y el pH de 12 a 7,84. Esto demuestra que es posible lograr una eficiente remoción de la carga orgánica en las aguas residuales provenientes de la industria alimentaria mediante la coagulación. Sin embargo, estos tratamientos presentan ciertas desventajas, como altos costos operativos, la necesidad de manejar adecuadamente los subproductos generados y la complejidad en el ajuste continuo del proceso para mantener su efectividad.

Según Yolanda Andía (2000), en su trabajo de investigación, “Tratamiento de agua, Coagulación-Floculación”, la turbiedad y el color del agua, son principalmente causadas por pequeñas partículas coloidales cuya concentración es estable pero que no tienden a aproximarse unas a otras. El método para eliminar estas partículas son los procesos de coagulación, floculación; usados de una manera correcta ya que la producción de un floc muy pequeño produce una decantación insuficiente. La cantidad de coagulante tiene influencia directa con la eficiencia de la coagulación así, poca cantidad adicionada no neutraliza la carga de la partícula y se obtiene un resultado de turbiedad alta; de igual forma mucha cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula y no se obtienen buenos resultados en cuanto a turbiedad, como conclusión la cantidad optima se obtiene mediante ensayos de laboratorio.

6.3.2 Segunda alternativa

En respuesta a esta creciente demanda ambiental para la descontaminación de aguas residuales de la industria se han desarrollado en los últimos años nuevas tecnologías, que tienen en cuenta en su aplicación factores fundamentales como la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas del sistema; la factibilidad de reúso, la economía y la eficiencia de los procesos y sus rangos de aplicación. Por esta razón se han desarrollado procesos de oxidación más eficientes

llamados Procesos Avanzados de Oxidación (POA) los cuales son aplicados generalmente en pequeña o mediana escala y especialmente en donde los métodos convencionales pierden eficiencia (Forero et al., 2005).

La oxidación avanzada la componen una variada y amplia relación de tecnologías basadas en gran parte en la generación de los radicales hidroxilo o aporte de energía para la destrucción de contaminantes. Estos radicales tienen un alto potencial redox (2,9 eV) y son capaces de destruir e incluso de mineralizar cualquier contaminante orgánico. Este tipo de reacciones se caracterizan por su no selectividad y por las altas velocidades de reacción, entre 10^7 y $10^{10} M^{-1} s^{-1}$. Se ha probado la eficacia de la oxidación avanzada en la destrucción de contaminantes como los hidrocarburos halogenados, compuestos, aromáticos (benceno, fenol, tolueno), compuestos orgánicos volátiles, detergentes, tintas o pesticidas, así como en contaminantes inorgánicos (Sanz & De Luis, 2013).

Se ha demostrado que la combinación de POAs y Procesos biológicos presenta diversas ventajas: el pretratamiento por POAs puede proteger a los microorganismos de compuestos tóxicos o inhibitorios; los costos totales de tratamiento se reducen en muchos casos al usar sistemas combinados; el tiempo de tratamiento se disminuye y se logra la mineralización total de los contaminantes en menores tiempos y costos que empleando tecnologías separadamente (Hernández et al., 2008).

Las principales tecnologías de la oxidación avanzada, útiles para el tratamiento de aguas industriales son:

6.3.2.1 Ozonización/Peróxido de hidrógeno

La ozonización introduce ozono en el efluente, oxidando directamente los compuestos orgánicos y produciendo radicales libres que continúan la reacción de oxidación. Este proceso puede descomponer moléculas orgánicas complejas en compuestos más simples que son más fácilmente biodegradables en el tratamiento biológico, la ozonización es una técnica de oxidación química con una gran variedad de aplicaciones, que incluye: desinfección, oxidación de micro contaminantes orgánicos recalcitrantes (fármacos, pesticidas, contaminantes fenólicos, entre

otros), oxidación de contaminantes inorgánicos (hierro, manganeso y sulfitos), eliminación de color y sabor, potabilización de aguas y depuración de aguas residuales. Por ejemplo, hay instalados muchos ozonizadores para la eliminación de olores de plantas de tratamiento de aguas residuales. En este caso la reacción tiene lugar en la fase gaseosa y el ozono oxida los compuestos responsables de los olores (Silva et al., 2018).

6.3.2.2 Proceso Fenton

El proceso de Fenton ha resultado efectivo para el tratamiento de aguas residuales conteniendo distintos compuestos orgánicos de difícil degradación por tratamientos biológicos convencionales. Estos son principalmente compuestos fenólicos, organoclorados y colorantes (Silva et al., 2018), este se conoce por su alta efectividad en la descontaminación de aguas provenientes de la industria petroquímica, textil, farmacéutica, papelera, entre otras. Al emplear los procesos Fenton se puede obtener una degradación parcial o total de contaminantes inorgánicos y orgánicos persistentes, dando lugar a una disminución de la toxicidad del efluente; el proceso de Fenton es la adición de sales de hierro como catalizador en presencia de H_2O_2 es uno método clásico de producción de radicales HO^\cdot (López Ramírez et al., 2021).

6.3.2.3 Oxidación electroquímica

La electrodiálisis como POA electroquímico combina las membranas y el campo eléctrico, consiste en remover componentes iónicos de soluciones acuosas empleando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante. Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta $0,0001 \mu m$ mediante hojas o laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua (López Ramírez et al., 2021). La aplicación de la oxidación electroquímica al tratamiento de efluentes contaminados con compuestos orgánicos permite reducirlos, transformarlos o eliminarlos. Mediante la selección adecuada de los electrodos y del electrolito, se generan oxiradicales con un poder oxidante superior al de cualquier sustancia química oxidante convencional, los cuales dan lugar a la oxidación de la materia orgánica, dando como productos CO_2 y H_2O (Silva et al., 2018).

6.3.2.4 Fotocatálisis

La fotocatálisis emplea radiación UV y/o visible como fuerza motriz de tratamiento de aguas. Este proceso causa la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la presencia de un catalizador (sensibilizador), que da lugar a la eliminación de materia orgánica y metales pesados disueltos en el agua residual. Dentro de la fotocatálisis se tienen dos tipos de técnicas: procesos heterogéneos, mediados por un semiconductor como catalizador, y los procesos homogéneos en donde el sistema es usado en una sola fase (ósea, catalizador disuelto). La fotocatálisis se aplica cuando el contaminante por sí mismo no es capaz de capturar fotones, y por lo tanto se requiere el uso de un sensibilizador (el catalizador) que absorbe la energía radiante y acelera la oxidación. (Silva et al., 2018).

El proceso de fotocatálisis permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie terrestre. La aplicación de radiación solar para la realización de procesos fotoquímicos sólo es posible con ciertos catalizadores y dependiendo de la configuración del foto-reactor, como por ejemplo cationes de hierro disueltos o dióxido de titanio en fase sólida, para catálisis homogénea o heterogénea, respectivamente. Mediante esta tecnología se generan oxidantes como el radical hidroxilo que, en medio acuoso, reaccionan con los contaminantes orgánicos degradándolos a dióxido de carbono, agua y otras sales. Además, se puede promover la desinfección del agua (Silva et al., 2018).

La utilización de procesos oxidativos avanzados con ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta para el tratamiento de efluentes industriales que contienen compuestos recalcitrantes representa una oportunidad para aumentar el grado de biodegradabilidad y alcanzar reducciones significativas de color. La utilización de procesos biológicos en serie resultaría beneficiosa para completar y/o mejorar la degradación de los compuestos remanentes, además de permitir cumplir con los estándares de calidad de la legislación ambiental cada vez más exigente.

6.3.2.5 Antecedentes investigativos

Según Miguel Ángel et al, 2021. Los procesos o tecnologías de oxidación avanzada, a pesar de ser técnicas aplicables en países desarrollados, en América Latina existen industrias y empresas importantes a nivel internacional que podrían incluir estos tipos de procesos. Algunos ejemplos son: industrias mineras, de extracción de hidrocarburos, alimenticias, metalúrgica o de transformación de materias, en las cuales existen compuestos químicos difíciles de degradar y pueden causar daño al ambiente. Sin embargo, para procesos típicos como el tratamiento de aguas grises o domésticas no son tan aplicables, ya que los contaminantes son de fácil degradación. Si bien los tiempos de tratamiento serían menores los costos se elevarían, ya que muchos de estos procesos son por separación mecánica o biológica.

Según José Ignacio & Ana del Luis, 2013. Las tecnologías de oxidación avanzada se están consolidando como la opción más eficaz en el tratamiento de efluentes contaminados por sustancias recalcitrantes o tóxicas. Entre otros aspectos es destacable su alta versatilidad, la amplia variedad de las tecnologías disponibles y la posibilidad que ofrecen de combinarse con las tecnologías más convencionales. Entre los retos a futuro se encuentran el alcanzar una mayor eficiencia, en especial económica. En este sentido son de especial interés dos áreas de investigación emergentes como la utilización de la energía solar y la utilización de la oxidación avanzada como un pretratamiento a los sistemas biológicos.

Según Marlon & Bryan, 2021. Los POAs al ser procesos fisicoquímicos altamente eficientes tienen un alto costo para su implementación a diferencia de un proceso convencional que es más económico, no obstante, algunas industrias requieren de la combinación de procesos para cumplir con la normativa ambiental vigente.

6.3.3 Tercera alternativa.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es una infraestructura esencial para el manejo de efluentes industriales, permitiendo la eliminación de contaminantes antes de que las aguas tratadas sean descargadas al medio ambiente. En el contexto de la empresa Joli Foods, la optimización del proceso biológico aerobio mediante lodos activados es crucial para mejorar la

eficiencia del tratamiento, asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental colombiana y mitigar el impacto ambiental de sus operaciones.

El proceso de lodos activados es un método ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad para degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos mediante la acción de microorganismos aerobios. Sin embargo, la eficiencia de este proceso puede verse afectada por diversos factores operacionales, tales como el tiempo de retención hidráulico (TRH), la relación sustrato-microorganismo (S/M), el control de la aireación, y la concentración de sólidos en suspensión volátiles (SSV).

La optimización del proceso biológico aerobio por lodos activados en la PTAR de Joli Foods es una estrategia integral que contribuye a la mitigación del impacto ambiental, mejora la eficiencia del tratamiento actual y asegura el cumplimiento de la normatividad vigente. Ajustar parámetros operacionales como el TRH, la relación S/M, el control de la aireación y la concentración de SSV es esencial para maximizar la actividad microbiana y la degradación de contaminantes, garantizando así un efluente de alta calidad y un desempeño ambiental sostenible.

6.3.3.1 Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) es el período durante el cual las aguas residuales permanecen en el reactor biológico. Este parámetro es crucial porque determina el tiempo disponible para que los microorganismos degraden los contaminantes presentes en el efluente. Un TRH adecuado permite que los microorganismos tengan suficiente tiempo para consumir los sustratos orgánicos. Si el TRH es demasiado corto, los microorganismos no podrán completar la degradación de los contaminantes, lo que resultará en un efluente de mala calidad. Por otro lado, un TRH excesivamente largo puede ser ineficiente y costoso. En la práctica, el TRH se ajusta según la carga orgánica y la capacidad del reactor.

6.3.3.2 Relación Sustrato-Microorganismo (S/M)

La relación Sustrato-Microorganismo (S/M) es una medida de la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos en relación con la biomasa presente en el sistema.

Esta relación es fundamental para el equilibrio del proceso biológico. Una relación S/M adecuada garantiza que los microorganismos tengan suficiente alimento para mantener su actividad metabólica y crecimiento. Si la relación S/M es demasiado baja, los microorganismos pueden morir por falta de nutrientes, mientras que una relación S/M alta puede llevar a un crecimiento excesivo de biomasa, lo que puede causar problemas de sedimentación y manejo de lodos. El ajuste de la relación S/M se logra controlando la carga orgánica y la concentración de biomasa en el reactor.

6.3.3.3 Control de la Aireación.

La aireación es el proceso de suministrar oxígeno a los microorganismos aerobios, que es esencial para su respiración y metabolismo. La eficiencia del tratamiento biológico depende en gran medida de un suministro adecuado de oxígeno. Un control preciso de la aireación asegura que los microorganismos reciban suficiente oxígeno para oxidar la materia orgánica de manera eficiente. La falta de oxígeno puede llevar a condiciones anaerobias, donde los microorganismos aerobios no pueden sobrevivir y la eficiencia del tratamiento disminuye. Por otro lado, una aireación excesiva puede ser costosa y energéticamente ineficiente. El control de la aireación puede mejorarse mediante el uso de sistemas de aireación avanzada, sensores de oxígeno disuelto y estrategias de control automático.

6.3.3.4 Concentración de Sólidos en Suspensión Volátiles (SSV).

Los Sólidos en Suspensión Volátiles (SSV) representan la fracción de la biomasa activa en el reactor. La concentración de SSV es un indicador de la cantidad de microorganismos disponibles para el tratamiento. Mantener una concentración adecuada de SSV es crucial para el equilibrio del proceso de lodos activados. Una concentración baja de SSV indica una baja biomasa activa, lo que puede resultar en una degradación insuficiente de los contaminantes. Una concentración alta de SSV puede causar problemas de sedimentación y aumentar la producción de lodos. El ajuste de la concentración de SSV se logra mediante el control del tiempo de retención de sólidos (TRS) y la tasa de purga de lodos.

7. Discusión

La interpretación crítica de los resultados obtenidos en la evaluación y mejora de la PTAR-I de Joli Foods revela una serie de hallazgos clave que destacan la efectividad de las estrategias implementadas y sugieren áreas para mejoras adicionales.

Eficiencia de la Implementación del Tanque de Calamidad: La incorporación del tanque de calamidad el 4 de junio de 2024 ha tenido un impacto significativo en la estabilidad operativa de la planta. Esta infraestructura ha permitido un manejo más efectivo de las variaciones en el flujo y carga orgánica de las aguas residuales, lo cual es crucial durante periodos de alta producción y procesos de limpieza. La estabilización de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) observada desde su implementación confirma que el tanque ha mejorado la eficiencia del tratamiento al reducir los picos de carga y mantener un flujo constante y uniforme. Este ajuste ha sido clave para asegurar que los efluentes cumplan con los requisitos normativos establecidos por la Resolución 0631 de 2015.

Análisis de la Remoción de Contaminantes: A pesar de los avances logrados con el tanque de calamidad, la necesidad de evaluar la eficacia de la remoción de contaminantes no debe subestimarse. Los resultados indican que, aunque la planta cumple con los límites de DQO, las estrategias actuales podrían no ser suficientes para manejar todos los tipos de contaminantes presentes en las aguas residuales. La variabilidad en la calidad del efluente sugiere que, aunque el sistema es efectivo en la mayoría de los casos, puede haber fluctuaciones que requieren una atención más detallada. Este hallazgo subraya la importancia de continuar monitorizando y optimizando el proceso para asegurar un rendimiento consistente.

Consideraciones sobre Estrategias Adicionales: Las alternativas propuestas, como la integración de procesos de coagulación y floculación y el uso de Procesos Avanzados de Oxidación (POA), ofrecen potenciales mejoras en la eficiencia del tratamiento. La coagulación y floculación pueden ser efectivas para la eliminación de partículas coloidales y compuestos orgánicos que no son completamente tratados por los métodos actuales. Por otro lado, los POAs podrían abordar contaminantes orgánicos y tóxicos persistentes que no se eliminan adecuadamente con los métodos

convencionales. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías debe ser evaluada cuidadosamente en términos de costos y beneficios. La integración de estas técnicas debe considerar la relación costo-eficacia y la factibilidad operativa en el contexto de la planta existente.

Optimización del Proceso Biológico Aerobio: La optimización del proceso de lodos activados sigue siendo una prioridad crítica. Los ajustes en los parámetros operacionales, como el tiempo de retención hidráulico (TRH), la relación sustrato-microorganismo (S/M) y el control de aireación, son esenciales para maximizar la actividad microbiana y la eficiencia del tratamiento. La capacidad de estos ajustes para mejorar la degradación de contaminantes y mantener un efluente de alta calidad es fundamental para el cumplimiento normativo continuo y la sostenibilidad ambiental.

Recomendaciones para Futuras Implementaciones: Aunque la implementación del tanque de calamidad ha logrado estabilizar el proceso y asegurar el cumplimiento normativo, las estrategias adicionales deben ser consideradas para abordar potenciales limitaciones. La empresa podría beneficiarse de realizar estudios de costo-beneficio detallados para evaluar la viabilidad de las tecnologías avanzadas y optimizar aún más el proceso biológico. La planificación para la integración de estas tecnologías debe tener en cuenta las necesidades futuras de expansión y la adaptación a normativas ambientales más estrictas.

Los resultados sugieren que, mientras Joli Foods ha logrado avances significativos en la gestión de aguas residuales a través de la mejora operativa actual, existe un potencial considerable para optimizar aún más el proceso de tratamiento mediante la implementación de tecnologías adicionales y la optimización continua de los procesos biológicos. La empresa debe continuar evaluando y ajustando sus estrategias para asegurar una operación eficiente y un cumplimiento normativo sostenido en el tiempo.

8. Conclusiones

En el contexto de una creciente rigurosidad en las normativas ambientales, las empresas industriales deben adaptar sus procesos para cumplir con los estándares más exigentes. Este diagnóstico ha permitido identificar y analizar las posibles mejoras en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria, destacando la importancia de implementar estrategias adecuadas para un crecimiento sostenible y una gestión ambiental efectiva.

La PTAR-I de Joli Foods ha demostrado ser adecuada para el manejo de las aguas residuales industriales generadas por su producción. La reciente incorporación del tanque de calamidad el 4 de junio de 2024 ha sido una medida crucial que ha optimizado la capacidad operativa de la planta, garantizando tanto la eficacia del tratamiento como el cumplimiento de la Resolución 0631 de 2015. Esta infraestructura ha permitido una gestión más estable y eficiente del flujo de aguas residuales, minimizando picos de carga y variaciones en los parámetros de calidad del efluente.

El control de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), uno de los indicadores críticos del cumplimiento normativo, ha mostrado una estabilización significativa tras la implementación del tanque de calamidad. Los resultados de las pruebas confirmaron que la planta cumple consistentemente con los límites regulatorios, evidenciando una mejora en la calidad del efluente tratado.

No obstante, la aplicación de estrategias adicionales podría fortalecer aún más la capacidad de la PTAR-I. La integración de procesos avanzados como la coagulación y floculación, así como el uso de Procesos Avanzados de Oxidación (POA), podría ofrecer mejoras sustanciales en la remoción de contaminantes. Estos métodos complementarios tienen el potencial de optimizar la eficiencia del tratamiento y manejar de manera más eficaz los contaminantes orgánicos y compuestos tóxicos que podrían no ser completamente eliminados por los métodos actuales.

Adicionalmente, la optimización del proceso biológico aerobio mediante lodos activados sigue siendo esencial. Ajustar parámetros operacionales, como el tiempo de retención hidráulico

(TRH), la relación sustrato-microorganismo (S/M), y el control de aireación, es fundamental para maximizar la actividad microbiana y garantizar un tratamiento eficiente.

Joli Foods ha demostrado un sólido compromiso con la gestión ambiental mediante la implementación exitosa de mejoras operacionales en su PTAR-I. La reciente adecuación del tanque de calamidad ha consolidado la estabilidad del proceso de tratamiento y el cumplimiento normativo. Aunque las estrategias adicionales propuestas son costosas y no inmediatas, podrían ser valiosas para futuros incrementos en la capacidad de la planta o en la adaptación a normativas más estrictas. Joli Foods continúa avanzando en la gestión sostenible de aguas residuales, reafirmando su posición como líder en el cumplimiento ambiental dentro del sector alimentario.

9. Referencias

- Agama Rodríguez, M. D., & Carrera Martínez, B. E. (2021). Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea por métodos de oxidación avanzada heterogéneos de Fenton, ozonización y foto-Fenton a escalas de laboratorio (Bachelor's thesis). Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20886>
- Alfárez Rivas, L. E., & Nieves Pimiento, N. (2019). Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (junio). Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html/hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1906tratamiento-aguas-residuales>
- Andía Cárdenas, Y.A. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Documento técnico. Planta de Tratamiento de Agua Sedapal, Lima, 2021. Disponible en: https://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file.
- Buenaño Dávalos, M. G. (2015). Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa envasadora de leche del cantón Rumiñahui, para que cumpla con la norma técnica ambiental (TULAS) (Bachelor's thesis, Quito, 2015). Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10534>
- Castro Rosas, J. (2012). Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores UASB. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/producto.php?producto=4751>
- Da Cámara, L., Hernández, M., Paz, L., & Gómez, M. G. (2014). Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias. Disponible en: <https://lc.cx/CG6r3K>
- Forero, J. E., Ortiz, O. P., & Ríos, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *CT&F-Ciencia, tecnología y futuro*, 3(1), 97-109. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5513926>
- Galeano Orozco, P. A. (2020). Gestión del agua en la industria alimentaria como estrategia empresarial para disminuir la huella hídrica generada en el desarrollo de su actividad económica. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/17181/1/GaleanoPaula_2020_GestionAguaIndustria.pdf
- Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Investigación & Desarrollo*, 1(17), 83-98. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312017000100008&script=sci_arttext

-
- Hernandez, S., Rodriguez, M., & Sarria, V. M. (2008). Mejoramiento de la biotratabilidad de aguas residuales de tintorería a través de un proceso de oxidación avanzada. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia (Documento de trabajo, s. hernandez38@uniandes.edu.co). Disponible en: <https://lc.cx/A5dDmi>
- Jorge, A. C. (2018). Aguas Residuales Provenientes de la Industria Avícola en Colombia: Generalidades y Tratamientos. Una revisión bibliográfica. Disponible en: https://lc.cx/1_xbYO
- López Barroso, M. F., & Mendoza Arias, L. C. (2018). Desarrollo de una propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales para la reducción de la DQO Y DBO en la Fábrica De Chocolates Triunfo SA. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6720/1/6131981-2018-1-IQ.pdf>
- López Ramírez, M. Á., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. D. R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñiz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. Enfoque UTE, 12(4), 76-87. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422021000400076&script=sci_arttext
- Merino Jima, J. C. (2014). La seguridad e higiene industrial y la calidad del agua y su incidencia en la gestión de riesgos laborales y ambientales en el Centro de Faenamiento Ocaña (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización). Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6986>
- Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de las aguas residuales (vol. I), Madrid: McGraw-Hill
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). Resolución 1207 del 2014. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/7.-Anexo-7-Resolucion-1207-de-2014.pdf>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). Resolución 0631 del 2015. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Oviedo Cuestas, L. N., Medina Satova, V. A., & Beltran Diaz, M. S. (2023). Tratamiento de aguas residuales en la industria de alimentos en Colombia mediante la electrocoagulación (Bachelor's thesis, Ingeniería Química). Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/12828/OviedoLeidy2023.pdf?sequence=1>

-
- Patarroyo Hernández, E. M. (2013). Procesos de estabilización de residuos generados en la industria textil en Colombia mediante lodos activados. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10862>
- Quiroga, J., & López, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. Revista de tecnología, 7(2), 21-28. Disponible en: <https://lc.cx/zaFedt>
- Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Latinoamérica, 2001, 4849. Disponible en: https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/documentos_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). Informe de vigilancia tecnológica. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.
- Rumié de la Hoz, D., McNish Bernal, F., & Cano Vargas, J. (2011). Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento del sistema automatizado de estabilización del PH de agua residual industrial, en un tanque de neutralización de la planta DPA en Valledupar. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/1383#page=1>
- Sanz, J., Lombraña, J. I., & De Luis, A. (2013). Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias. Afinidad, 70(561). Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/268536/356125>
- Silva, A., Monge, S. B., Bengoa, C., Torres-Pinto, A., & Ribeiro, R. S. (2018). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. Disponible en: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/136083/2/388266.pdf>
- Vásquez Núñez, G. D. C. E. (2013). Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana (Doctoral dissertation). Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54467>
- Velasco, F., Molano, A., & Pramparo, L. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. Entre Ciencia e Ingeniería, 13(26), 17-26. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532015000300015&script=sci_arttext

10. Anexos

Anexo 1.

Resultados de la medición de los parámetros tomado del agua residual no domesticas del tanque de salida el día 04 de abril del 2024 por el laboratorio uno.

INFORME DE ANALISIS No. A-24-38602-1 (SUPLEMENTO DE INFORME DE ANALISIS No. A-24-38602-0 QUE REEMPLAZA AL INFORME DE ANALISIS No. A-24-38602-0)							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: JOLI FOODS SAS- AGUAS NITICO: 860075787-1 DIRECCION: Calle 84 sur N° 37-15 TELEFONO: (4) 448 47 77 ext 403 MAIL: laura.sanchez@jolifoods.com CIUDAD: MEDELLIN CONTACTO: SRA. LAURA CAMILA SANCHEZ OSORIO CARGO: ANALISTA DE GESTION AMBIENTAL				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: PLANTA DE PRODUCCION JOLI FOODS RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: BIOTRENDS LABORATORIOS SAS FECHA DE TOMA DE ITEM: 2024-04-01 HORA: 15:30:00 FECHA DE RECEPCION: 2024-04-01 HORA: 16:00:00 FECHA DE INGRESO A ANALISIS: 2024-04-01 FECHA DE EMISION DE INFORME: 2024-04-22 LUGAR DE ANALISIS: Bogotá - Av. Boyacá 64F-68			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION (+)			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR (+)			
24-38602	AGUA RESIDUAL SALIDA DE FILTROS			N.E			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD (+)	FECHA VENC (+)	LOTE (+)	T° ITEM DE ENSAYO	T. RECEPCION
FRASCO DE VIDRIO X 1000 mL - FRASCO AMBAR X 1000 mL - FRASCO AMBAR X 500 mL.		3	N.E	N.E	N.E	6,7°C	4,0°C
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	U	REGLA	UNIDADES	ESPECIFICACION Minambiente	CUMPLIMIENTO
Temperatura	Termometría. IDEAM. En sitio No acreditado.	mín:22,1 máx: 25,4		NO APLICA	NO APLICA	°C	NO APLICA
Caudal	Volumétrica. IDEAM. En sitio No acreditado.	m ³ : 1,1719 m ³ : 3,8481		NO APLICA	NO APLICA	l/h	NO APLICA
pH.	SM 4500-H- B (potenciometría) Ed. 23-2017. IDEAM. No acreditado.	Mín: 7,0 - Máx: 7,8		±0,04	REGLA 1	Unidades de pH	6,00 - 9,00
Demanda Química de oxígeno (DQO)	Reflejo Colorido, Método Volumétrico, SM 5220 C. IDEAM No acreditado.	603,3		±	REGLA 1 (concentración) x 2%	mg O ₂ /L	Máximo 600,00
Sólidos Suspensos Totales (SST)	Gravimétrico - Secado a 103 - 103°C, SM 2540 D. IDEAM No acreditado.	79,0		±	REGLA 1 (concentración) x 3%	mg/L	Máximo 200,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	SM 2540 F (Volumétrica) Ed. 23-2017. IDEAM. No acreditado.	<0,1		NO APLICA	NO APLICA	mg/L	Máximo 2,00
Grasas y Aceites.	SM 5520 B (extracción Líquido-Líquido, gravimétrica) Ed. 23-2017. IDEAM No acreditado.	<10,0		±	REGLA 1 (concentración) x 5%	mg/L	Máximo 20,00
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	Incubación a 5 días SM 5210 B; Modificación de Azida SM 4500-O C. IDEAM No acreditado.	357		±	REGLA 1 (concentración) x 5%	mg O ₂ /L	Máximo 400,00
INTERPRETACION DE RESULTADO							
EL ITEM DE ENSAYO NO CUMPLE CON LA ESPECIFICACION: Resolución 0631 de 2015 (ELABORACION DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS) - VERTIENTOS A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES)							

Anexo 2.

Resultados de la medición de los parámetros tomado del agua residual no domesticas del tanque de salida el día 07 de mayo del 2024 por el laboratorio dos.

Parámetro-sigla (Unidades)	Valores límites máximos permisibles	Valor obtenido salida del sistema	Cumple o No Cumple o No se Analizó (N.A)
Generales	Generales		
DQO (mg/L O ₂)	600,00	476	Cumple
DBO5 (mg/L O ₂)	400,00	253	Cumple
SST (mg/L)	200,00	118	Cumple
Grasas y Aceites (mg/L)	20,0	<9,97	Cumple

³Los resultados presentados en este informe se circunscriben a los análisis realizados a las muestras tomadas en campo en los días y horarios descritos en el presente informe.