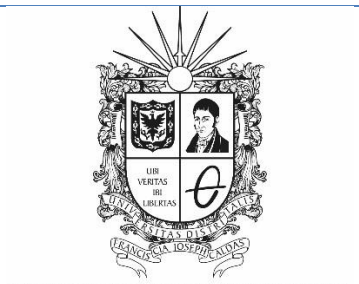
1.

Evaluación del uso y tratamiento de aguas residuales en la empresa Doña Carmen para su reincorporación en el proceso productivo



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Autores

María Valentina Blanco Jaramillo

Laura Julieth Guevara Cifuentes

Tutor

Luisa Fernanda González Ramírez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Administración Ambiental
Bogotá, Colombia
noviembre de 2025

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 5
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 7
2.1 Planteamiento del problema 7
2.2 Formulación del problema 8
2.3 Sistematización del problema 8
3. OBJETIVOS 9
3.1 Objetivo General 9
3.2 Objetivos Específicos 9
4. MARCO DE REFERENCIA 10
4.1 Marco Teórico 10
4.1.1 Uso del recurso hídrico en la industria alimentaria 10
4.1.2 Contaminación y gestión de aguas residuales industriales 13
4.1.3 Producción más limpia y economía circular aplicadas a la gestión del agua 15
4.2 Marco conceptual 16
4.3 Marco legal 21
4.4 Marco contextual 23
4.5 Evaluación de alternativas técnicas 29
4.5.1 Primer alternativa - Clarificación 29
4.5.2 Segunda alternativa – Lodos activados 32
4.5.3 Tercera alternativa – Osmosis Inversa 34
4.6 Costos totales 35
5. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON EL EVANACE DEL CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO 37
5.1 Estudios internacionales 37
5.2 Estudios latinoamericanos y colombianos 38
5.3 Brechas de conocimiento y aporte del estudio 39
6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 40
6.1 Enfoque Metodológico 40

6.2 Métodos Aplicados 40
6.3 Fuentes de Información 41
6.4 Etapas del proceso metodológico 41
7. ANALISIS Y DISCUSIÓN EN FUNCIÓN DEL PROBLEMA PROPUESTO 46
7.1 Resultados por Objetivo Específico 46
7.1.1 Resultados del Objetivo Específico 1: Caracterizar el manejo del recurso hídrico en la empresa Doña Carmen 46
7.1.2 Resultados del Objetivo Específico 2: Diseñar una solución técnica basada en herramientas de producción más limpia 52
7.1.3 Resultados del Objetivo Específico 3: Definir estrategias de gestión ambiental empresarial 56
7.2 Análisis Transversal de Resultados en función del Problema de Investigación 58
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60
8.1 Conclusiones 60
8.2 Recomendaciones 61
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 63

Lista de tablas

Tabla 1 Legislación Ambiental 21
Tabla 2 Matriz de consumo hídrico 26
Tabla 3 Máximos Permisibles de vertimientos industriales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas. 28
Tabla 4 Costo totales 36
Tabla 5 Etapas del proceso metodológico 42
Tabla 6 Matriz de alternativas 42
Tabla 7 Ruta de implementación 44
Tabla 8 Agua consumida con el 60% de agua reutilizada en el proceso productivo 47

Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo(**Diagrama de flujo.pdf))** 23
Figura 2 Plano de la empresa 24

Figura 3 Mapa ubicación de las fuentes hídricas y empresa Doña Carmen 25
Figura 4 Proceso de un sistema de lodos activados 33
Figura 5 Costo de Sistema de Osmosis Inversa por Capacidad..... 35
Figura 6 Ecomapa..... 48
Figura 7 Aspectos e impactos ambientales..... 50
Figura 8 Esquema gráfico 54

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático, la escasez hídrica y el manejo ineficiente de los recursos naturales se han consolidado como desafíos globales que requieren respuestas urgentes, sostenidas y multisectoriales para garantizar la sostenibilidad ambiental, económica y social (IDIGER, s.f.; Hoekstra et al., 2011). En este contexto, la industria alimentaria es reconocida como uno de los sectores con mayor impacto sobre el recurso hídrico, debido al volumen de agua requerido en sus procesos de producción, limpieza y transformación de materias primas (Ceupe, 2022). Ante esta situación, diversas empresas han optado por incorporar prácticas sostenibles y herramientas de producción más limpia con el fin de reducir su huella hídrica y mitigar los impactos ambientales generados por sus actividades (ONUDI, 2008).

Entre las estrategias destacadas se encuentra la economía circular, cuyo enfoque busca maximizar el aprovechamiento de los recursos mediante la reutilización, el reciclaje y la minimización de residuos. En Colombia, esta visión ha sido impulsada normativamente a través de la Resolución 1207 de 2014, la cual establece lineamientos técnicos para la gestión integral del recurso hídrico y promueve el uso eficiente del agua en los procesos productivos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Si bien Colombia dispone de importantes fuentes de agua dulce, persisten problemáticas relacionadas con la contaminación de cuerpos hídricos, la presión sobre fuentes vulnerables y la baja cobertura de sistemas de tratamiento, especialmente en zonas rurales (Banco Mundial, 2021).

En efecto, muchas industrias y hogares rurales no cuentan con infraestructura adecuada para el tratamiento y el abastecimiento de agua, lo que obliga a implementar soluciones que, en ocasiones, no garantizan los estándares mínimos de calidad. Frente a esta situación, el tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías físicas, químicas o biológicas constituye una alternativa viable para mejorar la disponibilidad hídrica, asegurar la continuidad operativa de los procesos productivos y reducir los vertimientos contaminantes (Bajpai, 2017; Romero, 2008).

El presente trabajo se desarrolla en la empresa Doña Carmen, ubicada en el municipio de Barbosa, Santander, la cual se dedica a la producción de arepas de maíz pelado. El objetivo principal es diseñar una propuesta técnica que permita reincorporar las aguas residuales

tratadas a su proceso productivo, contribuyendo así al uso eficiente del agua potable y a la disminución del impacto ambiental asociado a la actividad industrial. La metodología contempla la caracterización del manejo hídrico en cada etapa del proceso, la identificación de puntos críticos, y la formulación de acciones de mejora bajo criterios de sostenibilidad, eficiencia hídrica y producción más limpia. Esta propuesta se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 6 —agua limpia y saneamiento—, se proponen soluciones locales que promueven una gestión responsable y circular del recurso hídrico.

En cuanto a las limitaciones que se presentaron y dificultaron el desarrollo completo de la propuesta, se identificó que la investigación se fundamenta en fuentes secundarias, por lo tanto no se tuvo un muestreo directo de análisis fisicoquímicos del agua, dado que al ser una propuesta técnica no tendrá implementación, así mismo el cálculo de los costos es basado en información secundaria y estudios de caso de otras empresas, lo que implica que los resultados son una aproximación mas no un dato real.

En este contexto, el presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque cualitativo aplicado, basado en la revisión y sistematización de fuentes secundarias —documentación interna de la empresa, normativa ambiental y literatura científica—, con el propósito de diseñar una propuesta técnica para el tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas en la empresa Doña Carmen. El estudio se estructura en cuatro componentes principales: (i) la caracterización del manejo hídrico actual de la empresa; (ii) la revisión de tecnologías de tratamiento de aguas residuales aplicables al sector alimentario; (iii) el diseño de un sistema técnico de tratamiento y reúso de aguas; y (iv) la formulación de estrategias de gestión ambiental complementarias.

El documento se organiza en ocho capítulos: en el capítulo 1 se presenta la introducción; en el capítulo 2 se expone el problema de investigación; en el capítulo 3 se formulan los objetivos; el capítulo 4 aborda el marco de referencia; el capítulo 5 desarrolla el estado del arte; el capítulo 6 describe los métodos y técnicas de recolección, sistematización y análisis de la información; el capítulo 7 presenta el análisis y discusión de los resultados; y finalmente, en el capítulo 8 se exponen las conclusiones y recomendaciones.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento del problema

El efervescente contexto de crisis hídrica global ha convertido la gestión del agua en una prioridad para la sostenibilidad de los procesos productivos y el bienestar territorial (Banco Mundial, 2025). Aunque Colombia dispone de una abundante disponibilidad de agua dulce —estimada en aproximadamente 4.000 m³ per cápita anuales en algunos análisis recientes—, su acceso equitativo y seguro permanece comprometido por fenómenos como el cambio climático, la contaminación de fuentes hídricas y la deficiente planificación del uso del suelo (Ática, 2024; IDEAM, 2023).

En el ámbito de la producción industrial, el agua constituye un recurso vital y estratégico. Sin embargo, la falta de tecnologías de tratamiento y reúso en muchas empresas ocasiona una sobrecarga del recurso y aumenta el riesgo de vulnerabilidad operativa (Banco Mundial, 2025). En el municipio de Barbosa (Santander), por ejemplo, se registra una disminución de la disponibilidad hídrica vinculada a la expansión desordenada de la frontera agrícola, el crecimiento urbano sin control y la limitada implementación de medidas de protección de cuenca (IDEAM, 2023).

La empresa Doña Carmen, dedicada a la producción de arepas de maíz pelado, opera en este contexto de tensión hídrica. Actualmente enfrenta restricciones en su suministro de agua, lo que amenaza su continuidad operativa, incrementa sus costos y limita su capacidad de contribución al desarrollo local. Debido a la ausencia de un sistema técnico para tratar y reincorporar aguas residuales generadas en su proceso, se presentan pérdidas de recurso y emisiones potenciales al entorno.

Si esta situación persiste, se espera que la empresa experimente una disminución progresiva de productividad, una mayor exposición a riesgos operativos y una posible erosión de su papel como dinamizadora cultural y económica del territorio. En consecuencia, la ausencia de estrategias de aprovechamiento del agua residual limita tanto su eficiencia como su competitividad.

La implementación de una propuesta técnica de tratamiento y reúso de aguas residuales, fundamentada en principios de producción más limpia y economía circular, representa una oportunidad para reducir el consumo de agua potable, mitigar impactos ambientales y fortalecer la resiliencia empresarial (MINAMBIENTE, 2021).

En términos de variables de análisis, la investigación considera como variable dependiente la eficiencia en el uso del recurso hídrico en la empresa Doña Carmen, entendida como la relación entre el volumen de agua consumido y la producción de arepas de maíz pelado. Como variables independientes se contemplan la implementación de un sistema técnico de tratamiento y reúso de aguas residuales, la gestión operativa del recurso agua y la adopción de prácticas de producción más limpia. El pronóstico indica que, de no intervenirse la situación actual, la empresa continuará incrementando su vulnerabilidad frente a restricciones en el suministro de agua y a eventuales exigencias normativas más estrictas; en contraste, la propuesta técnica de tratamiento y reúso se plantea como la principal medida de control para mitigar estos riesgos y mejorar la sostenibilidad del proceso productivo.

2.2 Formulación del problema

¿De qué manera puede diseñarse una solución técnica, basada en principios de producción más limpia y economía circular, para la reincorporación de aguas residuales tratadas en el proceso productivo de la empresa Doña Carmen, ubicada en el municipio de Barbosa, Santander?

2.3 Sistematización del problema

- ¿Cuál es el volumen y calidad de agua empleada actualmente en el proceso productivo de la empresa Doña Carmen?
- ¿Qué tecnologías de tratamiento y reúso de aguas residuales son técnica y económicamente viables para la empresa?
- ¿Qué impacto ambiental y operativo podría generarse con la implementación del sistema de reúso de aguas residuales en la empresa?

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta técnica para la reincorporación de aguas residuales tratadas en el proceso productivo de la empresa Doña Carmen, a partir del análisis de información secundaria y principios de producción más limpia.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el manejo del recurso hídrico en la empresa Doña Carmen mediante la recopilación y análisis de información sobre su uso en el proceso productivo.
- Diseñar una solución técnica basada en herramientas de producción más limpia para optimizar el uso e incorporación de aguas residuales en la empresa, reduciendo costos y el consumo de recursos hídricos.
- Definir estrategias y acciones de gestión que optimicen el uso de aguas residuales en la empresa, promoviendo beneficios económicos y la reducción de impactos ambientales en el proceso productivo.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 Marco Teórico

Introducción al marco teórico

Aplicar un sistema de tratamiento de agua residual en los procesos productivos proporcionan mayor eficiencia en las empresas dado que el rehusó del agua hace que se tenga mayor disponibilidad de agua y no se vean afectados en las ocasiones donde se establecen razonamientos, dado la crisis hídrica, caracterizado por escasez de agua potable, contaminación de fuentes hídricas y distribución inadecuada del recurso (Banco Mundial, 2025) dado la inadecuada planificación del uso del suelo como efecto tenemos la expansión urbana, agrícola e industrial de manera desorganizada (Ática, 2024; IDEAM, 2023).

En la producción industrial los recursos naturales cuentan un papel principal para el correcto funcionamiento y en el cual la industria tiene un impacto significativo, al aplicar tecnologías enfocadas al tratamiento de aguas utilizadas en el proceso productivo pueden traer beneficios económicos, sociales y ambientales. En el caso de las fábricas de arepas de maíz, predominan diversas empresas que se encargan de la producción y comercialización de su propia marca. La mayoría de estas organizaciones pertenecen al sector de las MIPYMES y se caracterizan por mantener procesos tradicionales, lo que resalta la necesidad de incorporar mejoras tecnológicas que incrementen su eficiencia y sostenibilidad. (Covilla ,2022)

4.1.1 Uso del recurso hídrico en la industria alimentaria

El agua constituye un recurso fundamental en la industria alimentaria debido a que su intervención es de manera directa e indirecta en las diferentes etapas del proceso productivo que van desde la transformación de materias primas, cocción hasta la limpieza y desinfección de equipos. La gestión adecuada del agua es esencial para la eficiencia productiva, calidad y seguridad alimentaria. (Pedrero, 2024) Un manejo adecuado del recurso hídrico permite optimizar los costos de operación, reducir los desperdicios y mejora las prácticas sostenibles dentro de las empresas de producción.

De acuerdo con la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) cerca del 70% del consumo mundial de agua dulce se destina a la producción en la industria alimentaria, lo que convierte a este sector en unos de los principales consumidores de agua (Works, 2019). Gran parte de esta agua, una vez utilizada, termina con altas cargas contaminantes como grasas, aceites, SST y materia orgánica acabando en cuerpos de agua que si no son tratados correctamente terminan contaminando de manera significativa y degradando estos ecosistemas.

Por otra parte, la eficiencia hídrica es una herramienta clave que permite reducir el desperdicio de esta, suministrando adecuadamente la cantidad de agua necesaria para llevar a cabo un proceso. (Pascual, 2021). En la industria alimentaria, el consumo de agua es elevado y varía dependiendo del tipo de alimento producido, sin embargo, la mayoría de estos requieren de grandes volúmenes de agua tanto para su procesamiento en la elaboración como el aseguramiento de condiciones sanitaras. Frente a esta realidad, la mayoría de las industrias han implementado medidas y estrategias orientadas a reducir al máximo el uso de agua, según Telwesa (2024) estas medidas permiten “lograr un vertido cero gracias a la reutilización”.

Es importante que la calidad del agua en los procesos industriales cumpla una serie de normas que garantice la inocuidad y seguridad de los alimentos, por lo que el agua debe someterse a un tratamiento para garantizar que se apta para su uso y consumo. Las empresas del sector alimentario deben de implementar sistemas de control que permitan verificar el cumplimiento de las condiciones físico químicas necesarias, evitando riesgos microbiológicos que puedan afectar el producto final. (Pablo, 2021)

Así mismo, una de las características del consumo de agua está asociada a los factores naturales y estacionales, como lo son los cambios de temperatura, en temporadas secas o de temperaturas altas, el volumen de agua es mínimo lo que causa limitaciones en la productividad de las empresas, a su vez estas condiciones de agua pueden “afectar la calidad de agua por una mayor concentración de contaminantes” (Llorens, 2024). Por otra parte, durante periodos de mayor productividad o “temporadas altas” el consumo de agua aumenta debido a la demanda de producción que se necesita diariamente.

La demanda hídrica se define como el volumen total de agua que se requiere para llevar a cabo un proceso productivo o satisfacer las necesidades de un sistema determinado y de la población en general (Marmol, 2024). En el ámbito industrial la demanda hídrica hace referencia a la cantidad de agua utilizada en diferentes etapas de los procesos como fabricación, molienda, cocción y limpieza de equipos y utensilios. El volumen de agua utilizado en la industria representa entre el 10% y 20% del total de agua dulce extraída, además genera impactos ambientales negativos asociados a la descarga de efluentes y contaminación del agua, los cuales pueden deteriorar la calidad del agua si no se trata de manera adecuada. (Cristina, 2023)

Existen múltiples factores que influyen en la demanda hídrica industrial que varían según el tipo de industria, la escala de producción, la tecnología empleada y las condiciones climáticas y geográficas del entorno. En primer lugar, se estima que los procesos industriales consumen aproximadamente el 20% de agua en el mundo (Aclima, 2025). La demanda hídrica se relaciona con el tamaño y capacidad de producción de la industria, es decir, entre más producción más incrementa el volumen de agua necesario para el desarrollo de los procesos.

El sector manufacturero, que incluye industrias como la alimentaria, química y metalúrgica, constituye uno de los principales consumidores de agua. Estas empresas emplean el agua en operaciones y procesos de refrigeración, procesamiento y limpieza de productos. Es por ello que la mejora en la eficiencia hídrica es un objetivo crucial en el sector, promoviendo acciones como el reciclaje de agua, la reparación inmediata de fugas, la modernización de sus equipos y la recirculación del agua para minimizar el desperdicio. (Everflow., 2024)

El uso de tecnologías apropiadas representa un avance significativo para el sector alimentario, debido que permiten optimizar el recurso hídrico. Actualmente existen sistemas de filtración avanzada que facilitan el reúso del agua, como ultrafiltración, osmosis inversa y nanofiltración estos sistemas permiten eliminar las partículas suspendidas, microorganismos y demás cargas contaminantes, permitiendo una eficiente remoción del 99% de los sólidos suspendidos totales (SST). (Sánchez, 2025)

Otro de los procesos para tratamientos de agua es la filtración es una de las etapas más importantes para eliminar partículas y solidos que se encuentran presentes en el agua. En

el caso de la industria alimentaria, los filtros más utilizados son los de arena, cartucho y membrana, que permiten remover impurezas y prevenir la contaminación en los productos durante la producción. La desinfección es una tecnología destinada a eliminar microorganismos patógenos que pueden afectar la calidad del agua, los sistemas más aplicados son la cloración, ozonización y la radiación ultravioleta (UV), garantizando un alto nivel de desinfección, mejorando la calidad del agua y reduciendo el riesgo de contaminación. (Morales, 2023)

Por último, el tratamiento biológico es esencial en procesos donde se busca reusar el agua, este proceso hace uso de microorganismos activos que degradan la materia orgánica presente en el agua transformándola en compuestos más simples, favoreciendo su remoción. Los reactores biológicos aeróbicos y anaeróbicos reducen la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mejorando la calidad del efluente. (Morales, 2023)

4.1.2 Contaminación y gestión de aguas residuales industriales

La industria alimentaria genera aguas residuales con una alta carga contaminante, resultado de la presencia de materia orgánica, grasas, proteínas, nutrientes y productos químicos utilizados en el proceso. (Sensactive, 2025) De acuerdo con la UNESCO alrededor del 80% de las aguas residuales regresan al ecosistema sin ser tratada ni reutilizada (BBVA, 2025), esto representa un desafío para los sectores donde el agua es un insumo esencial.

Dependiendo del origen y de su composición, las aguas residuales industriales se clasifican en dos tipos, en primer lugar, se encuentran las **aguas residuales de proceso** que corresponde al agua utilizada en procesos de fabricación y transformación de materias primas, la composición depende de cada fabrica y de su producción, en este caso en las fábricas de arepas de maíz los efluentes suelen contener restos de cascara, almidón y solidos sedimentables

Por último, están las ag**uas residuales de limpieza** provenientes de la sanitización de equipos, maquinaria, utensilios, superficies y pisos elementos que son utilizados durante la producción. Estas aguas pueden contener detergentes, desinfectantes, restos de materia orgánica, aceites y microorganismos, cuya concentración depende de la frecuencia de

limpieza y de los productos usados, este tipo de agua representa una proporción de efluentes grande. (García, 2024) Las aguas residuales del sector alimentario se caracterizan por presentar valores altos de DQO, DBO, SST y aceites generando impactos negativos en el ambiente.

Una mala gestión del recurso hídrico puede conllevar a problemas e impactos ambientales, como consecuencia el sector alimentario a través de los vertimientos provenientes de los procesos productivos que suelen tener altas cargas de contaminantes contaminando así el agua. Como consecuencia, estos efluentes pueden degradar significativamente la calidad del agua, alterar los ciclos naturales y afectar la funcionalidad de los ecosistemas. La presencia de estos contaminantes disminuye el oxígeno disuelto y altera las condiciones fisicoquímicas del agua, perdiendo el equilibro del recurso hídrico. (Telwesa, 2023)

Para las actividades industriales alimentarias el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible instauró la resolución 0631 de 2015, la cual establece los parámetros y límites máximos permisibles de vertimientos a cuerpos de agua superficiales y al sistema de alcantarillado (Ministerio de Medio Ambiente, 2015). Esta norma específica valores límites para DBO, DQO, SST, aceites, pH, carga contaminante, entre otro, y exige el cumplimiento de dichos estándares. También se encuentra el decreto 3930 de 2010 quien regula los usos del agua y define la calidad exigida de la misma según la actividad y establece los lineamientos para la autorización de vertimientos, reúso de aguas tratadas, asegurando el cumplimiento del agua utilizada en los procesos cumpliendo con los requisitos necesarios.

4.1.3 Tecnologías de tratamiento de aguas residuales industriales en pymes alimentarias

Existen diversos sistemas que permiten realizar un correcto tratamiento de aguas residuales entre ellos la Clarificación, un proceso fundamental que se encarga de eliminar los sólidos suspendidos y partículas de mayor tamaño presentes en el agua. Este sistema incluye una serie de subprocesos que permiten tener una eficiencia de remoción, se encuentra la coagulación, etapa en la cual se adiciona un coagulante que desestabiliza partículas coloidales facilitando su aglomeración, posteriormente, está la floculación donde las partículas previamente desestabilizadas se agrupan formando flóculos de mayor tamaño facilitando la eliminación y por ultimo esta la etapa de sedimentación allí los flóculos se

depositan en el fondo del sistema por efecto de la gravedad. (Novaquimica Colombia S.A., 2025)

Otro proceso de tratamiento efectivo es el sistema de lodos activados, ampliamente utilizado en la etapa de tratamiento secundario. Su objetivo principal es eliminar cualquier materia orgánica residual que haya quedado como resultado del tratamiento primario. Este método se basa en el uso de microorganismos aeróbicos que consumen la materia orgánica como alimento transformándola en dióxido de carbono, agua y nuevos microorganismos a través de procesos metabólicos. El agua residual se airea de forma constante asegurando el suministro de oxígeno necesario para favorecer la actividad biológica, formando flóculos que luego serán separados por sedimentación. Este sistema ofrece una alta eficiencia en la reducción de **DBO y DQO**, siendo una de las tecnologías más aplicadas en la industria alimentaria. (Copco, s.f.)

Finalmente, la Osmosis inversa es una técnica utilizada para remover contaminantes disueltos en el agua mediante el uso de membranas semipermeables. El proceso se basa en aplicar presión a una solución más concentrada, generando una presión superior. Como resultado, se obtiene un flujo de agua purificada en un lado de la membrana y en el otro las impurezas, este proceso tiene una alta remoción de solidos disueltos, sales y compuestos orgánicos. (Rosales, 2022.)

Al aplicar modelos de gestión del agua aplicados en microempresas nos lleva a practicar el Desarrollo Sustentable, aplicando la prevención, protección del recurso hídrico y prevención para que se generen menos impactos ambientales. Un aplicativo viable al manejo del recurso hídrico,

4.1.4 Producción más limpia y economía circular aplicadas a la gestión del agua

La sostenibilidad se entiende como la capacidad de garantizar la disponibilidad de los recursos naturales, asegurando su uso sin comprometer las generaciones futuras. Este enfoque busca obtener un equilibrio entre las dimensiones ambientales, sociales y económicas, buscando la conservación y adecuada gestión de los recursos en los diferentes sectores.

En base a los lineamentos de la Producción Más Limpia (P+L) se estima se utilizan herramientas para optimizar los procesos, observando y planteando alternativas que mejoren las condiciones de la empresa involucrado en su proceso productivo, las dimensiones ambiental, económico y social del entorno donde está ubicada la empresa. Los principios de producción más limpia son aplicados al sector industrial de alimentos, que son fundamentales para asegurar la calidad y productividad sin tener implicaciones negativas en el ambiente.

Como lo señala Restrepo (2012) en su artículo titulado "*Producción Más Limpia en la Industria Alimentaria*" algunas de las estrategias que más se destacan: (1) el cambio de insumos e ingredientes hacia materias primas de origen natural, el monitoreo de la calidad de los mismos y del producto final para garantizar la inocuidad alimentaria. (2) La implementación de tecnologías limpias que permitan minimizar los impactos negativos generados por residuos y vertimientos. (3) El correcto mantenimiento de equipos, capacitaciones al personal, separación de desechos, identificación de puntos críticos y la normalización de fichas técnicas.

Estas acciones mejoran el desempeño ambiental de las empresas y fortalecen su competitividad debido a la reducción de costos operativos y el cumplimiento de la normatividad, por lo tanto, la P+L es un enfoque integral que se articula con la eficiencia económica y la responsabilidad ambiental.

4.2 Marco conceptual

1. **Recurso hídrico:** El agua dulce es utilizado por los humanos con parámetros establecidos enfocados en cantidad y calidad supliendo las necesidades industriales y domesticas (CAS, s.f). En el caso de la empresa alimentaria es indispensable tanto para el proceso de producción dado que se utiliza como materia prima y para el funcionamiento de la empresa. Sin embargo, algunas temporadas es escaso por sequías o disminución del recurso por factores externos.

2. **Aguas residuales industriales:** Según la Resolución 1256 (2021) Las aguas residuales industriales generadas por la fabricación de la arepa de maíz pelado de la empresa, siendo un residuo de los procesos de lavado del maíz, cocción del maíz

pelado con ceniza con el objetivo de pelar el maíz y posterior se dispone a lavar las materias primas como el maíz, yuca y demás ingredientes con el fin de eliminar impurezas y mantener en condiciones actas para el consumo humano. Además, se utiliza el recurso hídrico para el proceso de limpieza del establecimiento y maquinaria.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2010) las aguas industriales de procesos enfocada a la industria alimentaria. tienen una demanda de oxigena especifica de DBO_5 (800 y 2.500 mg/L) Y DQO_5 (1.200 y 4.000 mg/L), con la presencia de solidos suspendidos dado que se utiliza ceniza que genera un pH alcalino generando una reacción básica en las aguas residuales y teniendo un efecto negativo dado que en la actualidad no se tiene un tratamiento de aguas residuales.

3. **Tratamiento de aguas residuales:** Se propone un tratamiento de aguas residuales fisio-químico utilizando tecnología especializadas en cumplir con el Decreto 631 de 2015 y utilizar con el fin de reutilizar el recurso hídrico y recircularlo en el proceso productivo, eliminando DQO – DBO, solidos suspendidos orgánicos e inorgánicos por ello se propone el sistema de tratamiento de aguas residuales enfocados en la clarificación, lodos activos, osmosis inversa y desinfección UV. (Ministerio de Medio Ambiente, 2015)

4. **Reúso de agua**. Se entiende como la utilización de aguas residuales tratadas para un uso posterior, ya sea dentro del mismo proceso productivo o en actividades distintas a las que originaron el consumo inicial, siempre que se cumplan los criterios de calidad establecidos por la normativa vigente (Resolución 1207 de 2014; Tchobanoglous et al., 2014). Este concepto es central en la presente investigación, dado que el objetivo general consiste precisamente en diseñar una propuesta técnica para reincorporar las aguas residuales tratadas al proceso productivo de la empresa Doña Carmen.

5. **Producción más limpia (PML): Se** aplican de estrategias administrativas, técnicas y ambientales, aplicando herramientas de P+L en la fábrica de maíz pelado en los procesos de manera eficiente, reduciendo los impactos ambientales negativos y

aumentando los beneficios económicos, sociales y ambientales para la empresa. (ONUDI, 2008)

6. **Huella hídrica:** Según la Universidad Nacional de Colombia (s,f) La huella hídrica proporciona de forma cuantitativa el uso directo o indirecto que consume la empresa con el fin de analizar las emisiones y el impacto del uso del agua que este tiene en la producción de arepas de maíz pelado, con el fin de identificar la cantidad de agua que se consume y la cantidad de agua que se vierte al cuerpo de agua o se dispone para tratamiento y poder recircular el agua.

7. **Clarificación y coagulación / Floculación / Sedimentación:** Es el primes proceso para el tratamiento de aguas residuales se utilizan coagulantes neutralizantes como el sulfato de aluminio, cloruro férrico y polímeros orgánicos que permiten unir de las partículas de residuos como la ceniza, residuos orgánicos e inorgánicos aglomerando en flóculos grandes y por gravedad ayuda a la sedimentación, puede reducir en un 60-80 % los sólidos suspendidos totales y 40-60% DQO_5 (IDEAM, 2010). Este proceso nos ayuda a la separación de residuos orgánicos (maíz, yuca, chicharrón, etc.) del proceso de producción dentro de la empresa.

8. **Lodos activados:** Es la segunda etapa del tratamiento de aguas residuales, este degrada la materia orgánica disuelta por los microorganismos aeróbicos, después de la clarificación se dispone un lodo en el tanque de aeración, acelerando el metabolismo de microorganismos convirtiéndolos en biomasa, dióxido de carbono, obteniendo una sedimentación y separación del agua. Así mismo se recircula el lodo al tanque de aeración para mantener sus características y se puedan aprovechar (Tchobanoglous et al., 2014, p. 382). Este proceso nos ayuda a tratar residuos orgánicos, grasas separándolos del agua y obteniendo un lodo concentrado, después se dispone a deshidratación, este residuo se puede donar a los agricultores locales para que estos los utilicen en sus cultivos como fertilizante.

9. **Ósmosis inversa:** Es el tercer proceso de Purificación del agua, utiliza la presión los solutos centrándose en la membrana semipermeable generando baja conductividad, conducto de sales y demás contaminantes, el proceso de tratamiento de aguas residuales es (1). Pretratamiento: elimina los sólidos, turbidez, residuos

de cenizas en el caso de la empresa, aceites y demás desechos orgánicos que se pueden generar. (2). Selección de membrana: estoy depende del tipo de material y características que se encuentren en la fuente hídrica. (3). Control operativo de presión y recuperación: se genera la presión o rechazo de este proceso. (4). Si se presenta rechazo en el proceso se debe gestionar un plan para el manejo y corrección del proceso (Benavides & Muvdi., 2014).

10. **Desinfección UV:** Es la etapa final del sistema de tratamiento de agua residual de la empresa, este proceso está enfocado en eliminar y evitar que los microorganismos se multipliquen mediante rayos UV. Estoy crea una barrera para obtener la purificar y reintegrar el agua al proceso productivo en la fabricación del producto, de manera eficaz garantizando la calidad sanitaria para el consumo humano (Amézquita. & Tovar. 2022)

11. **Gestión ambiental empresarial:** Encargada de administrar los procesos en las organizaciones teniendo como fin identificar, planear, ejecutar y evaluar los procesos analizando el consumo de recursos naturales que necesita empresa para la fabricación de la arepa de maíz pelado, velando por el cumplimiento de la normatividad, minimizando los impactos ambientales, estudiando las mejores opciones económicas, sociales y ambientales dentro de la organización, creando estrategias para minimizar los impactos ambientales negativos enfocadas en el manejo del agua , el uso, el Sistema de tratamiento aguas residuales (Aguirre, 2009).

12. **Economía circular:** La economía circular es el encargado de utilizar al máximo los recursos naturales evaluando alternativas para la reutilización de los residuos en los procesos productivos, con el fin de reducir los impactos negativos ambientales y obtener beneficios para la empresa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Aplicada en la fábrica de arepas, se enfoca en aprovechar al máximo el recurso hídrico, ejecutando una recirculación ya aprovechamiento en el proceso productivo, reduciendo impactos ambientales negativos en este caso el vertimiento del agua residual sin un tratamiento previo.

13. **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):** Es un instrumento técnico que nos permite identificar los aspectos ambientales dentro del proceso de fabricación de las arepas de maíz pelado, se establece una metodología para la calificación del impacto de acuerdo con su frecuencia y criterios establecidos, teniendo en cuenta que recurso natural se impacta y los residuos que genera, esto nos ayuda a establecer estrategias y decisiones acertadas para la empresa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022) En la propuesta presentada se realizó una evaluación de impacto ambiental hibrida, la cual nos permite aplicar una gestión empresarial ambiental y nos da resultados acertados de los recursos que más se impacta al realizar la fabricación de las arepas de maíz pelado.

14. **Cargas contaminantes/ Cargas puntuales:** La carga contaminante es el total de agua la cual se ha alterado su composición por actividades antropogénicas y son liberadas al ambiente y las cargas puntuales es la cantidad de agua que se vierte al cuerpo del agua (Corponariño, 2020). En el caso de la empresa las cargas contaminantes son el total de agua con que perdieron su estado original a causa de actividades de la fábrica y son liberadas al medio ambiente, representados por volumen y tiempo en el caso del recurso hídrico, y este genera una carga puntual que se verte a él rio Suarez sin un tratamiento previo.

15. **ODS 6 (Agua limpia y saneamiento):** Este objetivo de Desarrollo Sostenible se enfocado en garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento, el acceso para la industria alimentaria es fundamental para los procesos dentro de la empresa, teniendo parámetros de calidad para el consumo y así mismo aplicar estrategias de saneamiento y disponibilidad para toda la población dado su crecimiento demográfico. (ONU, s.f.) En esta propuesta se cumple el objetivo dado que al realizar un sistema de tratamiento de aguas velamos por el saneamiento sin afectar a la demás población que se encuentra aguas abajo del vertimiento del agua residual de la empresa.

4.3 Marco legal

A continuación, se presenta la legislación, aplicable a las actividades del proyecto (ver tabla #1)

Tabla 1 *Legislación Ambiental*

NORMA	OBSERVACIONES
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia. (1993). "Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables". Diario Oficial No. 41.146.
Ley 142 de 1994	Ley de Servicios Públicos Domiciliarios emitida por el Congreso de la Republica la cual regula el acceso, tratamiento y distribución del agua. Fundamental para hablar del consumo y tratamiento en empresas. Sustenta aspectos relacionados con el suministro de agua potable y disposición de aguas residuales. (Ley 142 de 1994)
Ley 1541 de 2012	"Por la cual se dictan disposiciones para la gestión integral del recurso hídrico" Regula el uso eficiente y la conservación del agua. Apoya la justificación técnica y ambiental del proyecto. (Ley 1541 de 2012)
Ley 1715 de 2014	Se quiere integrar un enfoque más integral en sostenibilidad, apoya el uso de tecnologías limpias y la eficiencia energética en procesos industriales.
Resolución 1207 de 2014	Regula específicamente el reúso de aguas residuales en Colombia. Debe ser incluida obligatoriamente porque es la base normativa del objetivo del proyecto (Res. 1207 de 2014).

Constitución Política de Colombia (Art. 79 y 80)	Reconoce el derecho a gozar de un ambiente sano y obliga al Estado a planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su sostenibilidad. (Constitución Política de Colombia, 1991, arts. 79-80)
Resolución 0631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público.
Decreto 2811 de 1974	Según el Ministerio de Medio Ambiente (1974) Se establece el código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Dicta que el ambiente es de todos y se debe valar por su preservación y manejo.
Decreto 3930 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979 y el Capítulo II del Título VI de la Ley 99 de 1993 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial No. 47.583.
Ley 373 de 1997	Se crea por el Congreso de Colombia. (1993). **“**por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”
Decreto 1575 de 2007	Según el Ministerio de Medio Ambiente (2007) se establece sistema para la protección, control enfocado a la calidad del agua.

Nota. Legislación ambiental. Elaboración propia

4.4 Marco contextual

La empresa Doña Carmen está enfocada a la producción de arepas de maíz pelado, típica de Santander la idea de negocio ha pasado de generación a generación en la familia Gil Oriunda, originaria del corregimiento San José de Suaita (Santander) ubicado a 240 km de la ciudad de Bogotá. La empresa tiene por nombre "Arepa de Maíz pelado Doña Carmen" en honor a la señora Carmen Rosa Gil su edad es 96 años y su Hija Elizabeth Fonseca fundadora de la empresa en el año 2015 en el Municipio de Barbosa (Santander) ubicado en la dirección Transversal 3 #8-92 con un área de 161.25 m². En la actualidad se promedia la venta de 10.800 unidades de arepas, la materia prima se obtiene de agricultores y empresas del municipio o aledaños en promedio de compra 2 toneladas de maíz, 0.05 ton de yuca y 0.5 ton de chicharrón de cerdo, aportando a la economía local.

La empresa se reconoce por la calidad del producto y el cumplimiento con sus productos, cuenta con un equipo humano de 6 personas encargadas de las diferentes actividades:

Figura 1 *Diagrama de flujo(**Diagrama de flujo.pdf**)*

1. Recepción y pedido de materias primas.
2. Inspección y pelado de maíz y yuca.
3. Pelar el maíz en maquina especializada donde se utiliza ceniza para el proceso.
4. Pesado y empacado de las materias primas para situarlo en el refrigerador.
5. Incorporar todos los ingredientes
6. Moler los ingredientes.
7. Amasar los ingredientes en la maquina industrial.
8. Tamizaje de la masa de la arepa.
9. Cocción de la arepa ya sea en el horno industrial o plancha.
10. Pasar las arepas a la zona de frio
11. Empaque de arepas.

En el siguiente plano se puede identificar las zonas de producción dentro de la empresa:

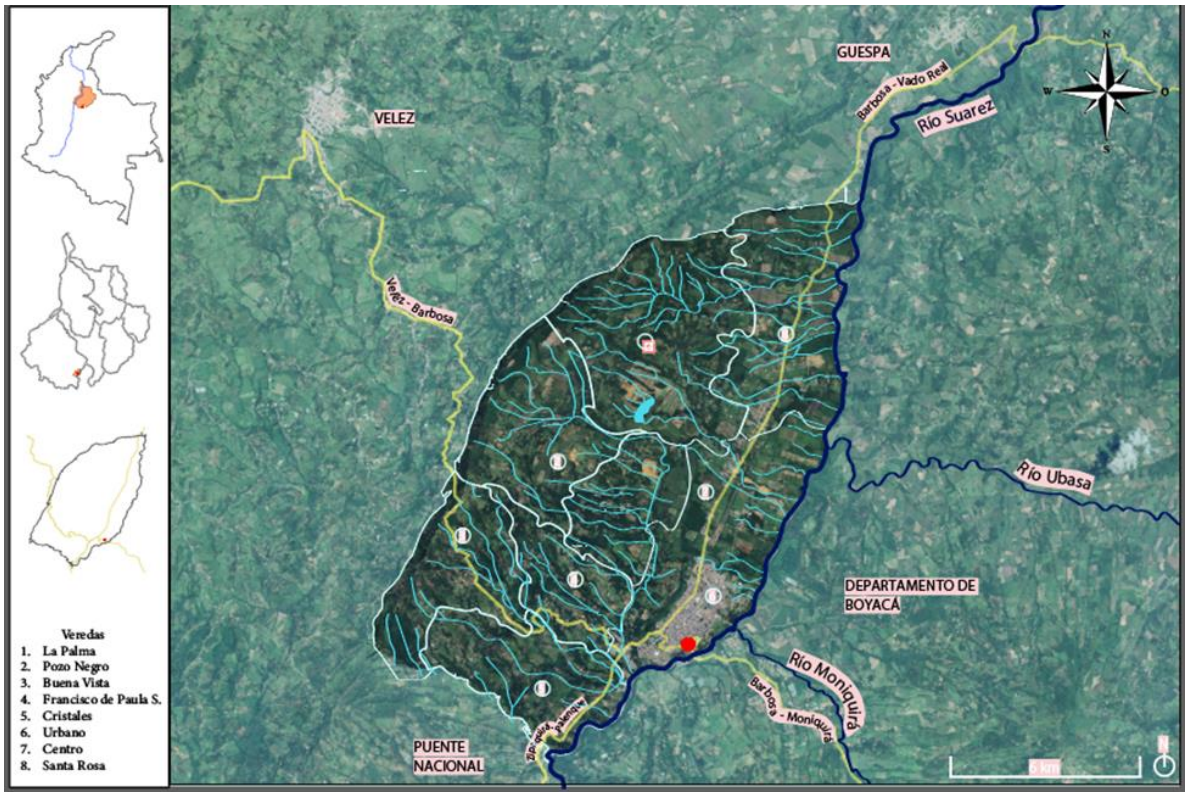
Figura 2 *Plano de la empresa*



Nota. Plano de la empresa. Elaboración propia

En la siguiente figura se podrá observar el mapa grafico donde se encuentra la ubicación a nivel nacional, departamental y municipal, las fuentes hídricas, municipios aledaños, carreteras principales y ubicación de la fábrica (punto rojo).

Figura 3 *Mapa ubicación de las fuentes hídricas y empresa Doña Carmen*



Nota. Ubicación de las fuentes hídricas y de la empresa Doña Carmen. Elaboración propia

El mapa grafico representa la ubicación a nivel nacional, departamental y municipal, las fuentes hídricas, municipios aledaños, carreteras principales y ubicación geográfica de la fábrica en el punto rojo. El agua que se consume en la empresa es proveniente de los nacimientos de agua y afluentes del rio Suarez, el consumo promedio mensual de agua es de 58 m³ valor tomado del recibo publico estos utilizados para un correcto funcionamiento de la empresa y en todas sus estaciones de producción y administración. En la elaboración de la arepa se resalta el consumo de agua en el proceso de preparación de materia prima donde se cocina y pela el maíz utilizando 8,178 m³ de agua y amasado 0.36 m³ de agua, para una producción mensual promedio de 4.032 ton.

Tabla 2 *Matriz de consumo hídrico*

Matriz de consumo hídrico			
Consumo de agua en el proceso productivo de la empresa Doña Carmen			
Industria Alimentaria			
Nombre del indicador			
Consumo de agua			
Fuentes de información			
Servicio Público del agua			
Fórmula de calculo			
Consumo mensual (m³/mes) = (Número de días del periodo/ Volumen total de agua utilizada (m³))			
Unidad de medida *Meses*	**Frecuencia de medición**		**Meta**
(m³/mes)	**Mensual**		**Reincorporar el 60% de las aguas residuales del proceso productivo**
Mes	m³ Consumidos	Valor m³	Valor del recibo
Marzo	52	$ 2.246	$ 116.792
Abril	74	$ 2.246	$ 166.204
Mayo	65	$ 2.246	$ 145.990
Junio	50	$ 2.246	$ 112.300
Julio	45	$ 2.246	$ 101.070
Agosto	63	$ 2.246	$ 141.498
Septiembre	62	$ 2.246	$ 139.252
Total	411		$ 923.106,00

Nota. Matriz de consumo del agua en los meses de enero a septiembre del año 2025. Elaboración propia (Matriz de consumo hídrico trabajo de grado.xlsx)

En la empresa se preparan un promedio de 4.032 toneladas de masa y se consume un promedio de 58 m3 de agua mensual, se llega a la conclusión que por cada tonelada se utilizan 14,58 m3/ ton de masa producida, indicando un consumo medio de agua, demuestra la importancia de optimizar el recurso hídrico en la empresa y gracias a la implementación del sistema de tratamiento y reúso de agua, podría reducir la huella hídrica aproximadamente de un 30% a 50% lo que contribuye al ODS 6.

Con el fin de identificar los recursos necesarios para cada proceso y servicios dentro de la empresa, se realizó un ecomapa (Figura 2) que permitirá reconocer los puntos de consumo de los servicios como agua, luz, gas y energía. Esta herramienta permite identificar los puntos del proceso productivo donde la utilización de recursos naturales es más alta y de esta manera identificar los riesgos y oportunidades de mejora en la empresa.

Se puede identificar que el uso de recursos naturales que más demanda la empresa es el agua y energía se realizó la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para soportar la información y así las medidas tomadas sean óptimas para el proceso en la empresa.

A lo largo del proceso productivo, el agua es un factor indispensable para el desarrollo de las diversas actividades que se desarrollan dentro de la empresa, por ello la Resolución 631 (2015) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece parámetros y límites máximos permisibles para vertimientos de aguas industriales, además de los parámetros físicos –químicos los cuales se pueden observar en la tabla 1. El cumplimiento de esta resolución permite que la reincorporación del agua al proceso productivo se lleve a cabo de manera adecuada y segura, minimizando los posibles impactos ambientales que puedan generarse.

Tabla 3 *Máximos Permisibles de vertimientos industriales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas.*

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES	ELABORACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	ELABORACIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS, AGUAS MINERALES Y OTRAS AGUAS EMBOTELLADAS
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxigeno (DQO)	mg/L O_2	600,00	200,00	200,00	400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L O_2	400,00	100,00	100,00	200,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,00	1,00	2,00	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00	10,00	20,00

Nota. Resolución 631/2015 donde se establecen los parámetros para vertimientos de aguas industriales de actividades asociadas con la elaboración de productos alimenticios. Tomada de Res. 631 de 2015

Así mismo es importante que las descargas de aguas que se realizan cumplan con lo establecido en la norma vigente sobre los límites permitidos de composición. Es fundamental que el diseño y mantenimiento sea adecuado en los sistemas de tratamientos de agua proporcionando una eficiencia en el proceso y en la remoción de cargas contaminantes, tecnologías como la clarificación, sistemas de lodos activados y la osmosis inversa son utilizadas en diferentes sectores e industrias por lo cual el mantenimiento regular de estas reduce posibles fallas en la operación de estas.

En base a los lineamentos de la Producción Más Limpia (PML) se estima se utilizan herramientas para optimizar los procesos, observando y planteando alternativas que mejoren las condiciones de la empresa involucrado en su proceso productivo, las

dimensiones ambiental, económico y social del entorno donde está ubicada la empresa. Por otro parte, la Evaluación de Impacto Ambiental es la que permite "identificar y valorar las actividades propias de un proyecto, y como pueden causar afectaciones (positivas y negativas) sobre los diferentes componentes del medio" (Gerencia Ambiental de Proyectos Ltda., s.f.)

Ficha de sistematización (EIA) (Anexo A - Matrices EIA.xlsx) el estudio de la evaluación de impactos ambientes para empresa nos ayuda a identificar los impactos ambientales más significativos mediante una calificación cualitativa del impacto ambiental teniendo en cuenta los indicadores establecidos, con el fin de tomar acciones desde la prevención, mitigación y corrección. En la matriz de evaluación de impacto ambiental se identificó que los recursos naturales más impactados son el Agua y la Energía dado que se necesitan para el correcto funcionamiento de la empresa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). La matriz presentada nos ayuda a identificar correctamente los impactos ambientales dado que está destinada para la gestión ambiental empresarial de la empresa, trabajada en la asignatura Desarrollo Sustentable

4.5 Evaluación de alternativas técnicas

Se identificaron y analizaron tres alternativas viables para el tratamiento de aguas residuales: clarificación, lodos activados y ósmosis inversa. Para cada una se describieron sus etapas, ventajas, desventajas y costos estimados. Posteriormente, se aplicó una matriz de evaluación multicriterio que permitió determinar su viabilidad técnica, económica y ambiental.

4.5.1 Primer alternativa - Clarificación

El agua puede contener impurezas que representan una carga negativa y que alteran la calidad del agua, por ello es necesario un tratamiento que elimine estos agentes contaminantes, de tal forma que el agua sea devuelta al cuerpo receptor en condiciones óptimas o en este caso que sea reutilizada para los procesos que tiene la empresa Doña Carmen. Por medio de la **Clarificación** que es una etapa en el tratamiento primario de aguas residuales, tiene por objetivo remover la turbiedad, eliminando las partículas como

arenas limos y materia orgánica que puedan afectar la calidad del agua. Este proceso combina 3 principales subprocesos que son la coagulación, floculación y sedimentación.

La coagulación es un proceso rápido que consiste en la adición de una sustancia coagulante al agua, neutralización la carga de los coloides para que los flóculos tengan un mayor tamaño y peso permitiendo que se agrupen, este proceso se utiliza en la mayoría de los casos para la remoción de turbiedad y color. Los coagulantes más utilizados 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” (Burbano M., 2024). Para que el proceso de coagulación sea eficiente se debe tener la dosis requerida, para que se tenga una desestabilización de los coloides.

En la floculación las partículas se unen formando flóculos de mayor peso y tamaño, en este proceso se debe agitar el agua evitando que los flóculos se rompan. Por último, el agua pasa a un tanque de sedimentación, donde los flóculos se van hacia el fondo por la acción de la gravedad, formando un lodo primario. (*Guía de Operaciones, Procesos E Instalaciones Industriales*, s. f.). Entre los principales floculantes más utilizados en los procesos de clarificación se encuentran el “Sulfato de Aluminio, Polielectrolitos, Cloruro férrico, Sulfato ferroso y férrico” (Romero M., 2008).

La sedimentación es el proceso donde ocurre la eliminación de los sólidos suspendidos, es decir, las partículas más livianas quedan suspendidas mientras que las más pesadas quedan agrupadas al fondo por acción de la gravedad, este es uno de los procesos preliminares más comunes utilizados para diferentes tratamientos de agua (Solutions

, 2018).

Todos los tratamientos ya sean primarios secundarios o terciarios son importantes para obtener un resultado deseado, a continuación, se presentarán las ventajas y desventajas que puede tener el proceso de clarificación como ya se mencionó anteriormente es el proceso primario para el tratamiento de aguas residuales.

Ventajas

- Reducción de solidos disueltos y suspendidos en su mayoría, disminuyendo la turbidez.

- Uso en menor cantidad de químicos durante el proceso.
- Facilita los procesos posteriores permitiendo que haya una limpieza profunda del agua.
- Los costos de inversión son bajos a comparación de tecnologías más avanzadas.
- Por medio de la coagulación química, se reduce el tiempo total del proceso, debido a que por el uso de químicos los sólidos se suspenden más rápido. (*Pros And Cons Of Wastewater Treatment Methods: Coagulation And Disinfection*, s. f.)
- Contribuyen a proteger el medio ambiente y la salud publica dado a que elimina las cargas contaminantes que alteran la calidad del agua. (SeoSimple, 2024)

Desventajas

- No elimina partículas más pequeñas.
- Uso adicional de productos químicos, donde las dosis deben ser exactas para evitar resultados erróneos.
- Si no se usa puede causar efectos secundarios como alteración del pH, temperatura, entre otros.

Costos

Para una fábrica de alimentos, se debe tener en cuenta el nivel de contaminantes del efluente de esta y límites de vertimiento, se debe centrar en la eliminación de los contaminantes, además cuando el caudal es menor este tiene menores costos de capital, “con un caudal de 100 GPM a 200 GPM, el sistema puede costar entre **$500,000 y más de $1 millón** COP, dependiendo de los niveles de DBO” (Overton, 2023).

Como se puede observar en la página *Precio Bajo Sistemas de Tratamiento de Agua Por Ultrafiltración UF Adquisitivo,¿Cuánto Cuesta Construir una Pequeña Planta de Tratamiento de Agua?*, (2024) el costo de instalación para una planta pequeña que incluye el proceso de clarificación y tratamiento básico es aproximadamente de US$ 50.00 es decir $200.000.000 COP, pero en este caso para la empresa Doña Carmen el costo de inversión inicial varia de $80.000.000 a $200.000.000 COP dependiendo de la capacidad, es decir, si es de 10m3/ día o 20m3/día, el material que vaya a ser utilizado, la ubicación y la mano de obra. Por otro lado, el mantenimiento y limpieza de tanques y reparaciones necesarias en el año puede aproximarse entre los $5.000.000 a $10.000.000 COP.

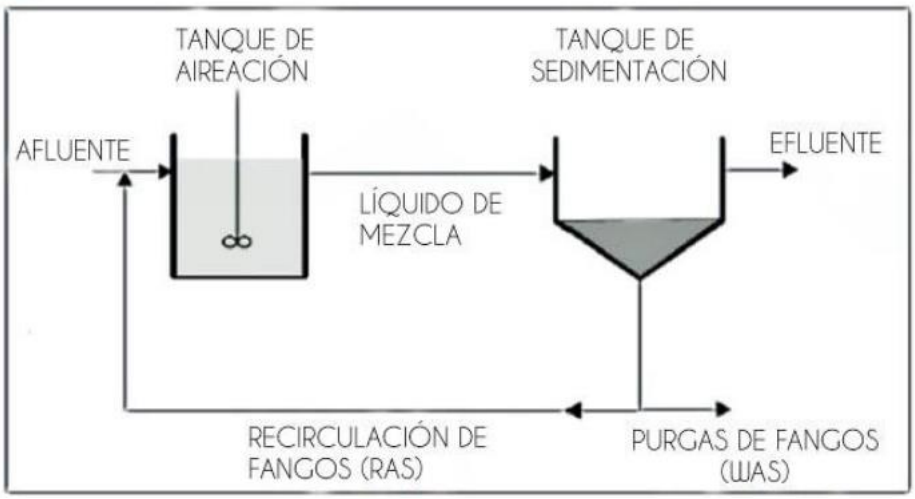
4.5.2 Segunda alternativa – Lodos activados

Mediante el proceso de **Lodos activados** se puede mejorar la eficiencia del tratamiento y mitigar los impactos negativos ambientales en los procesos de producción. Este permite la degradación de contaminantes orgánicos que se encuentran en suspensión, mediante el uso de microorganismos aerobios, "que crecen en el agua y convierten la materia en productos simples como nuevas bacterias" (Valdivielso, 2024).

El propósito de este sistema es eliminar los flóculos que no fueron separados en el tratamiento primario, estos "son útiles para la nitrificación, desnitrificación y conversión del fósforo en las aguas residuales" (Rosales, 2022.). Este proceso se compone de 4 etapas, en primer lugar, el agua entra al reactor donde se mezcla con microorganismos, las bacterias consumen la materia orgánica y se multiplican, allí se inyecta aire para asegurar que los sólidos permanezcan en suspensión y en contacto con las bacterias (Sela G., 2024). Luego pasa a un tanque de sedimentación allí se decantan al fondo, separándolos del agua tratada, en la recirculación de lodos una parte de la biomasa sedimentada regresa al reactor para que los microorganismos se mantengan activos, luego se retira el excedente del lodo residual y, por último, ya se tiene la salida del agua tratada para su reúso.

Este proceso representa una alternativa eficiente y avanzada para el tratamiento de aguas, que mejora la calidad del agua tratada, la eficiencia en procesos productivos y a su vez contribuye de manera significativa en el entorno ambiental. Como lo menciona Bajpai (2017) en el capítulo 6 del libro titulado *Tecnologías emergentes de Tratamiento de Aguas Residuales*, la eficacia del sistema Lodos activados varía dependiendo el tipo de efluente y "los valores típicos se sitúan entre el 60 % y el 85 % de eliminación de DQO , el 85 % y el 98 % de DBO5, la reducción de AOX entre el 40 % y el 65 %, la reducción de fósforo entre el 40 % y el 85 % y la reducción de nitrógeno entre el 20 % y el 50 %", lo que demuestra que se trata de un sistema efectivo para una segunda fase de eliminación de cargas contaminantes.

Figura 4 *Proceso de un sistema de lodos activados*



Nota. Proceso de un sistema de lodos activados. Tomada de ISA, https://www.iagua.es/sites/default/files/images/proceso-lodos-activados_texto.jpg

Se presentarán las ventajas y desventajas de esta alternativa de tratamiento de agua, según lo expuesto por el Eawag (Instituto Federal Suizo de Ciencias y Tecnología Acuáticas)

Ventajas

- Es un proceso eficiente y su instalación no es costosa
- Alta reducción y eliminación de DBO y DOQ, además de su adaptabilidad a diferentes cargas contaminantes
- Se puede adaptar a diferentes cargas contaminantes y a variaciones en el caudal del agua.
- Es utilizado en aguas residuales domésticas como industriales.

Desventajas

- Aumento del consumo energético debido a sus sistemas de aireación
- Requiere de personal calificado para operación y mantenimiento dado a que se necesita de un monitoreo constante de los parámetros del agua.

4.5.3 Tercera alternativa – Osmosis Inversa

La Osmosis Inversa es un sistema que permite purificar el agua, eliminando las partículas en suspensión, es un proceso físico-químico de filtración que elimina las impurezas del agua, donde pasa por unas "membranas semipermeables que facilita el paso de gases disueltos y moléculas sin carga electroestática de bajo peso molecular" (Jhuesa Tratamiento de agua, 2025).

"La ósmosis inversa es una tecnología de separación por membranas que permite eliminar hasta el 99 % de los contaminantes presentes en el agua, incluyendo sales disueltas, microorganismos y compuestos orgánicos" (Pure Water, 2015). Su funcionamiento se basa en el pretratamiento donde por medio de un equipo de bombeo se eliminan las partículas en suspensión, luego pasa por una membrana semipermeable y se ejerce una presión osmótica en la dirección contraía al proceso normal de osmosis, se deja pasar el agua y se retiene los sólidos obteniendo de esta manera un agua pura. Esta alternativa tiene una serie de ventajas y desventajas que se explicaran en base a lo encontrado en Pure Aqua, Inc., (s.f.).

Ventajas

- Elimina aproximadamente el 96% - 99 % de la mayoría de los contaminantes como sales, nitratos, colorantes, fluoruros y contaminantes biológicos.
- Mejora de la calidad del agua tratada
- Es una tecnología reconocida y que puede ser utilizada en diferentes sectores, sus costos no son tan altos.
- Requiere de un menor uso de consumo energético, además es un sistema más amigable con el medio ambiente.

Desventajas

- Se necesita de un tanque de almacenamiento grande debido a que al no tener suficiente agua almacenada podría dañar una bomba.
- No elimina el 100% de las cargas contaminantes que se encuentran en el agua.

Costos

El costo de un sistema de Osmosis Inversa varía significativamente de acuerdo con el caudal y el nivel de tratamiento que sea necesario. Como lo menciona Overton (2023), “un sistema sencillo con una capacidad de 5 a 10 GPM puede costar menos de $60,000, mientras que un sistema grande de 300 GPM con un sistema de pretratamiento complejo puede costar entre $2 y $4 millones”, esto indica que esta tecnología es usada en diversas industrias y que el costo depende totalmente de las condiciones y factores tanto internos como externos.

Otro factor importante es identificar la capacidad de flujo de Toneladas por hora (TPH) que depende del tamaño de la fábrica, como se observa en la figura 4 para una escala media, es decir, una capacidad de 2 a 5 TPH los precios estimados son de $8.000 a $20.000 dólares, esto en pesos colombianos es de entre $30.000.000 a $78.000.000.

Figura 5 *Costo de Sistema de Osmosis Inversa por Capacidad*

Capacidad	Gasto	Precio estimado (USD)	Aplicaciones comunes
A pequeña escala	De 500 a 1.000 LPH	$3,000 – $7,000	Laboratorios, Pequeñas fábricas, Talleres
Escala media	De 2 a 5 TPH	$8,000 – $20,000	Plantas de bebidas, Producción de alimentos, Edificios comerciales
Industrial Estándar	De 10 a 20 TPH	$25,000 – $60,000	Textil, Químico, Agua embotellada, Agricultura
A gran escala	30–100+ TPH	$70,000 – $200,000+	Abastecimiento de agua municipal, Centrales eléctricas, Zonas industriales

Nota. Costo de la implementación de un sistema de Osmosis Inversa dependiendo de su capacidad de flujo (TPH). Tomado de (DigoodCMS, 2025)

4.6 Costos totales

Con el fin de estimar los recursos económicos requeridos para la implementación de las alternativas se elaboró la **tabla 4,** donde se explica las inversiones necesarias así mismo como el mantenimiento y monitoreo, permitiendo evaluar la viabilidad financiera del proyecto. Para el sistema de clarificación el costo total de inversión es de $ 34.538.701, el sistema de lodos activados suma un total de $ 40.433.223 y finalmente para osmosis inversa el costo total es de $551.340.000, como sumatoria de estos 3 sistemas el costo aproximado de inversión es de **$126.311.924** pesos colombianos.

Tabla 4 *Costo totales*

ELEMENTO	CLARIFICACIÓN	LODOS ACTIVADOS	OSMOSIS INVERSA
Diseño y estudios previos	$ 4.000.000	$ 6.000.000,0	$ 7.000.000,0
Implementacion sistemas	$ 21.698.701,0	$ 22.093.223,0	$ 30.000.000,0
Monitoreo	$ 3.000.000,0	$ 4.000.000,0	$ 5.000.000,0
Capacitación al personal	$ 840.000,0	$ 840.000,0	$ 840.000,0
Mantenimiento anual	$ 3.000.000,0	$ 5.000.000,0	$ 6.000.000,0
Costos operativos anuales (energía, insumos)	$ 2.000.000,0	$ 2.500.000,0	$ 2.500.000,0
Costo total	**$ 34.538.701,0**	**$ 40.433.223,0**	**$ 51.340.000,0**

Nota. La tabla presenta los costos de la inversión de los sistemas. Elaboración propia.

5. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON EL EVANACE DEL CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO

En los últimos años, la gestión del agua y el tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria han emergido como ejes de sostenibilidad operativa y ambiental. Es por ello que los tratamientos al recurso hídrico son un proceso crítico para mantener la calidad del agua y gestionar los residuos (Global Growth Insights, 2024), por ello se han consolidado como una alternativa clave que permite mejorar la eficiencia de los procesos dentro de las empresas especialmente en aquellas, donde el consumo de agua es elevado y a su vez generan impactos significativos sobre los cuerpos de agua donde se realizan los vertimientos.

5.1 Estudios internacionales

Un estudio longitudinal llevado a cabo en la agroindustria Fiordelisi (Puglia, Italia) demostró que mediante la adopción de ultrafiltración por membrana, lodos activados y desinfección por rayos UV fue factible reutilizar aproximadamente 300 m^3 diarios de aguas residuales para riego y lavado de vegetales, logrando reducciones significativas en DQO (demanda química de oxígeno) y SST (sólidos suspendidos totales) Los resultados de este estudio demostraron que no se generaron efectos negativos significativos al reutilizar el agua tratada, evidenciando que es una estrategia viable para conservar el agua. (Tarantino et al., 2016) No obstante, el estudio reporta limitaciones en el proceso como lo es la acumulación de sales y compuestos iónicos en el agua tratada, lo cual es necesario un monitoreo constante evitando efectos adversos en el suelo y cultivos a largo plazo.

En Latinoamérica, las investigaciones de Vásquez y Ramos (2023) en una fábrica peruana de alimentos señalaron que la implementación de carbón activado granulado permitió una remoción de DQO cercana al 95 %, acompañada de reducciones de 40 % en turbidez y 21 % en SST, aunque los autores subrayan que el éxito depende no sólo de la tecnología sino del mantenimiento, capacitación y estrategia de gestión integrada. Para el tratamiento de aguas está fábrica contempla 3 etapas; (i) tratamiento físico químico en el cual se hace

uso de coagulante y floculante que permiten la separación y sedimentación de lodos, (ii) tratamiento biológico, con ayuda de un tanque percolador que contiene bacterias encargadas de degradar la materia orgánica y funcionan como un filtro en el tratamiento cuando el agua desciende en este proceso el lodo se concentra en el inferior para luego ser almacenado en el tanque de lodos y por último, (iii) tratamiento de lodos se mezclan los lodos que vienen de las dos primeras etapas para posteriormente ser deshidratados. Estos sistemas no tenían un resultado eficaz y por ello, el estudio se basa en la implementación de carbón activado granulado, obteniendo mayores resultados en la reducción de las cargas contaminantes.

En México el grupo Bimbo una importante empresa de gran escala del sector alimentario cuenta con iniciativas sustentables que se enfocan en mejorar los procesos en todas las áreas y el aprovechamiento de las fuentes hídricas. Actualmente este grupo empresarial reúsa aproximadamente el 70% del agua tratada, a su vez cuenta con 36 plantas de tratamiento de agua. El agua tratada es reutilizada en actividades de riego, limpieza en las líneas de producción, entre otras. Los procesos de tratamiento le han permitido reducir su huella hídrica, mejoras en su cadena de valor y la disminución de impactos negativos significativos. Este caso evidencia que, con una adecuada planificación e implementación de sistemas de tratamientos, acordes a su capacidad operativa y las condiciones físicas de las instalaciones, garantizando eficiencia y sostenibilidad en el uso del recurso hídrico es posible adaptar las tecnologías.

5.2 Estudios latinoamericanos y colombianos

En Colombia, el diagnóstico realizado por Burbano M. (2024) en la empresa Joli Foods (Medellín) —que operaba un sistema de tratamiento compuesto por tanque de calamidad, homogenización, lodos activados y filtración en arena y carbón activado— reveló fluctuaciones en DQO y DBO durante jornadas de alta producción, lo que evidencia la complejidad operativa y la necesidad de soporte técnico continuo.

No obstante, una revisión de la literatura muestra que existe una brecha significativa en estudios aplicados a micro pymes del sector alimentario ubicadas en entornos rurales de Colombia, con rigurosidad en la medición del impacto hídrico y la reincorporación técnica de las aguas tratadas al proceso productivo. Esta monografía busca aportar a ese vacío,

focalizando su análisis en la empresa Doña Carmen, ubicada en Barbosa (Santander), con el fin de diseñar una propuesta técnica viable que promueva eficiencia hídrica, producción más limpia y economía circular.

5.3 Brechas de conocimiento y aporte del estudio

A partir del análisis de los estudios revisados, se identifican tres vacíos de conocimiento: (1) la escasa investigación aplicada en empresas pequeñas del sector alimentario ubicadas en zonas rurales; (2) la falta de estudios que integren de manera explícita indicadores de eficiencia hídrica, tecnología de tratamiento y modelo de gestión en un solo diseño; y (3) la limitada evidencia empírica sobre la viabilidad económica del reúso de aguas residuales en contextos colombianos con recursos limitados.

En conjunto, los estudios revisados evidencian que los sistemas combinados de tratamiento —que integran procesos físico-químicos (clarificación, coagulación–floculación), biológicos (lodos activados) y etapas de pulido (ósmosis inversa, desinfección UV)— alcanzan eficiencias de remoción superiores al 90 % en DQO y SST, permitiendo el reúso de aguas en actividades no potables (Tarantino et al., 2016; Vásquez & Ramos, 2023; Burbano, 2024). Sin embargo, estos trabajos se han desarrollado principalmente en empresas medianas o grandes, con capacidades de inversión y personal técnico superiores a las de una microempresa rural como Doña Carmen. Esta brecha evidencia la necesidad de diseñar soluciones técnicas adaptadas a contextos de menor escala y recursos limitados, objetivo que orienta la presente monografía.

Por tanto, esta investigación aportará al conocimiento al diseñar una solución técnica adaptada a las condiciones de la empresa Doña Carmen, integrando medición de consumo hídrico, tratamiento de aguas residuales y su reincorporación al proceso productivo, fortaleciendo el vínculo entre eficiencia operativa e impactos ambientales en el contexto rural de Santander.

6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.1 Enfoque Metodológico

Este trabajo se desarrolla bajo un enfoque **cualitativo aplicado**, orientado a la comprensión de una problemática ambiental específica: el uso ineficiente del recurso hídrico en una empresa de producción alimentaria. El estudio busca diseñar una propuesta técnica contextualizada que responda a los principios de sostenibilidad ambiental y economía circular. Se fundamenta en el análisis de **fuentes secundarias** como registros operativos de la empresa, literatura técnica, normativa vigente y casos de referencia nacionales e internacionales en tratamiento de aguas residuales.

6.2 Métodos Aplicados

Conforme a los lineamientos del formato institucional, se emplearon los siguientes métodos:

a) Métodos teóricos

- **Análisis y síntesis**: Se aplicaron para descomponer el proceso productivo de la empresa y, posteriormente, integrar los hallazgos en una propuesta de solución técnica.
- **Inducción y deducción**: A partir del estudio de casos de empresas similares se dedujeron criterios aplicables al contexto local, y se realizó la inferencia de pautas generales para optimizar el reúso del agua.
- **Modelación conceptual**: Se diseñaron representaciones del sistema productivo y del sistema de tratamiento de aguas propuesto (ecomapa, matriz de consumo hídrico, matriz de alternativas y ruta de implementación), facilitando la visualización de los procesos y recursos implicados.

b) Métodos empíricos

- **Observación indirecta**: A través del análisis de documentación técnica, registros operativos (facturas de agua, consumo mensual, procedimientos internos), fichas de sistematización y planos esquemáticos de la empresa.

- **Revisión documental**: Se aplicó para analizar la normatividad vigente, literatura técnica y científica, así como estudios de caso relevantes en el campo de la gestión hídrica empresarial.

c) Métodos estadísticos

- **Estadística descriptiva**: Se aplicó para organizar y analizar datos cuantitativos como el volumen de agua utilizado, producción mensual, costos de tratamiento, eficiencia de cada alternativa tecnológica y estimación de costos de implementación.
- Se emplearon tablas y matrices de comparación para facilitar la toma de decisiones.

6.3 Fuentes de Información

Se utilizaron fuentes secundarias confiables y actualizadas, entre ellas:

- Documentación interna de la empresa Doña Carmen (facturación de servicios, registros operativos).
- Normativa ambiental vigente (Resolución 631 de 2015, Decreto 3930 de 2010, entre otros).
- Artículos científicos y académicos indexados.
- Estudios de caso de empresas agroalimentarias en Colombia y en el extranjero.
- Informes de organismos nacionales e internacionales (IDEAM, Min Ambiente, Banco Mundial).

6.4 Etapas del proceso metodológico

A continuación, se presenta la tabla 4, que muestra detalladamente las etapas del proceso metodológico, articuladas con los objetivos específicos.

Tabla 5 *Etapas del proceso metodológico*

Objetivo Específico	Actividades Metodológicas	Instrumentos y Técnicas
1. Caracterizar el manejo del recurso hídrico en la empresa Doña Carmen.	- Revisión documental - Análisis de registros de consumo - Identificación de puntos críticos	Mapa hidrográfico Matriz de consumo hídrico Ecomapa
2. Diseñar una solución técnica para el reúso de aguas residuales.	- Revisión de tecnologías disponibles - Evaluación comparativa - Diseño preliminar del sistema	Matriz de alternativas técnicas Esquema técnico del sistema
3. Proponer estrategias de gestión ambiental complementarias.	- Diseño de programa de buenas prácticas - Formulación de recomendaciones normativas y operativas	Guía de recomendaciones Ruta de implementación Programa ambiental empresarial

Nota. Elaboración propia

Tabla 6 *Matriz de alternativas*

A continuación, se muestra la tabla 5, que con el fin de identificar las opciones más viables para el tratamiento de aguas se elaboró una matriz de alternativas donde se empleó una matriz multicriterio que permite comparar los diferentes criterios a nivel ambiental, técnicos

y operativos. Esto ayudará a evaluar la eficiencia de cada alternativa para garantizar un correcto uso en el proceso de tratamiento.

Criterios	Ponderación	Clarificación	Lodos Activados	Ósmosis Inversa
Eficiencia	30%	4	4	4
Costo	15%	4	3	3
Durabilidad	15%	3	4	3
Mantenimiento	10%	3	3	3
Sostenibilidad	15%	4	4	4
Viabilidad	15%	5	5	5
Puntaje Total	—	**3.9**	**3.9**	**3.75**

Nota. Elaboración propia

Escala 1 Muy bajo – 5 Muy alto

En la evaluación de alternativas técnicas se empleó una matriz multicriterio que considera seis criterios: eficiencia de remoción de contaminantes, costo de inversión, durabilidad de los equipos, requerimientos de mantenimiento, sostenibilidad ambiental y viabilidad operativa. Estos criterios fueron seleccionados dado a que representan los aspectos más relevantes de cada sistema garantizando una implementación adecuada. Cada criterio fue ponderado de acuerdo con su importancia relativa en el contexto de la empresa Doña Carmen, otorgando un peso mayor a la eficiencia (30 %) dado a que es el objetivo central del sistema y a la viabilidad (15 %), dada la necesidad de garantizar el cumplimiento normativo y la continuidad operativa con recursos limitados.

Al realizar la anterior matriz nos permite identificar que las alternativas de clarificación, lodos activados y osmosis inversa son eficientes y se pueden adaptar a las necesidades de la

empresa Doña Carmen garantizando una mayor remoción de contaminantes asegurando que se cumpla la normativa vigente, esto nos permite concluir que son completamente viables en cuanto a su economía, sostenibilidad y además son amigables con el medio ambiente.

6.6 Ruta de implementación

Se construyó una ruta detallada para la implementación del sistema propuesto, que incluye fases de diseño técnico, planificación administrativa, ejecución y monitoreo. Se especifican las actividades, responsables, duración estimada, recursos y productos esperados. Esta herramienta facilita la gestión ordenada del proceso de innovación ambiental en la empresa.

Tabla 7 *Ruta de implementación*

Etapa	Actividades	Responsables	Duración	Recursos	Producto esperado	Costo
Inicial	Revisión de los recibos de agua para identificar puntos criticos de consumo y vertimiento del agua	Administrador ambiental	2 dias	Recibo del agua- medidor	Matriz de consumo hidrico - ecomapa	$ 240.000
Inicial	Propuesta y evaluación de alternativas. Definir las alternativas viables	Administrador ambiental	1 mes	Revision de literatura tecnica	Matriz de alternativas	$ 2.864.094
Diseño tecnico del sistema	Elaboracion del diseño tecnico preliminar de propuestas de tratamiento	Ingeniero Sanitario	1 mes	Planos, cotizaciones	Esquema gráfico de propuesta de reúso.	$ 4.944.393
Planificacion administrativa y financiera	Espacio disponible y capacidad de la empresa	Tecnico ambiental	1 dia	Equipos de medición	Plano	$ 65.000
Planificacion administrativa y financiera	Tramite de permisos ambientales correspondientes y transporte de los sistemas de tratamiento	Administrado ambiental / Transportadora	1 mes	Documentos legales, asesoria financiera, medio de transporte	Permisos de gestion ambiental y transporte	$7.000.000
Implementacion	Instalación de los sistemas de tratamiento en la empresa	Ingeniero Sanitario / Operarios	2 meses	Tanques, bombas, tuberias, materiales de construcción, epp.	Sistema de tratamiento instalado	$ 9.888.786
Monitoreo y seguimiento	Evaluacion de la eficiencia del sistema y verificacion del cumplimiento de normatividad	Administradora Ambiental / Laboratorio	Periodico cada 3 meses	Toma de muestras periodicas, mantenimiento, analisis de parametros	Informe tecnico y cumplimiento normativo	$ 2.864.094
Monitoreo y seguimiento	Mantenimiento de los sistemas de tratamiento	Administrador ambiental / Ingeniero Sanitario / Operarios	Semanal cada tres meses	Limpieza de tanques, revsion de bombas, valvulas, filtros, entre otros	Registro de mantenimiento mediante fichas tecnicas	$ 1.277.735
Cierre	Capacitacion del personal, actualizacion anual del Programa Ambiental Empresarial	Administrador Ambiental	1 semana	Espacio fisico, material didactico, computador	Informe de capacitacion - actualizacion del PAE	$ 840.000

Nota. Ruta de implementación de las actividades necesarias para la ejecución del proyecto. Elaboración propia

A continuación, se observa el cronograma de la ruta de implementación que define la planeación de las acciones necesarias para el desarrollo del sistema de tratamiento de aguas. Esta programación permite y de manera clara la secuencia de cada una de las

actividades y el mes en donde se llevará a cabo lo que facilita el seguimiento y avance del proyecto. (Anexo B - Ruta de implementacion.xlsx)

Etapas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Inicial												
Inicial												
Diseño tecnico del sistema												
Planificacion administrativa y financiera												
Planificacion administrativa y financiera												
Implementacion												
Monitoreo y seguimiento												
Monitoreo y seguimiento												
Cierre												

Nota. Cronograma de ejecución de las actividades de la ruta de implementación. Elaboración propia

7. ANALISIS Y DISCUSIÓN EN FUNCIÓN DEL PROBLEMA PROPUESTO

7.1 Resultados por Objetivo Específico

(Nota: Cada bloque debe incluir resultados empíricos y su análisis técnico, en función del objetivo planteado. Aquí se propone una estructura clara y secuencial.)

7.1.1 Resultados del Objetivo Específico 1: Caracterizar el manejo del recurso hídrico en la empresa Doña Carmen

- **Diagnóstico del consumo de agua**

  - En el diagnostico se identificó que el agua es un recurso esencial para el desarrollo de las actividades de la empresa Doña Carmen, el consumo mensual promedio es de **58 m³** equivalente a **14,38 m³/ton** de masa producida, manteniéndose constante durante lo transcurrido del año, pero con ciertas variaciones en periodos de mayor producción. De acuerdo con los análisis de las facturas del acueducto la eficiencia hídrica es baja dado a la ausencia de sistemas que permitan la recirculación del agua y control del consumo, el agua es utilizada de forma continua y no se evidencian procedimientos de ahorro de la misma.

  - En el análisis de facturación y registros operativos se refleja que los costos asociados al consumo de agua en la empresa mantienen estables entre **$101.070 y $166.792 COP** mensuales. Sin embargo, podrían optimizarse mediante la implementación de sistemas de tratamiento y reúso de agua, disminuyendo el consumo y los vertimientos que se generan.

    Con base a los sistemas propuestos se planteó una meta del 60% de reincorporación de aguas tratadas al proceso productivo, esto permite una reducción del consumo mensual aproximado de **20 a 30 m³ /mes**, generando una disminución en los costos de facturación del servicio. El costo equivalente es de **$40.438 a 66.482 COP** mensuales, dependiendo la variación del consumo,

lo que representa un ahorrado acumulado de 7 meses de **$553.864 COP** representando una mejora operativa y financiera en la empresa. Lo anterior se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8 *Agua consumida con el 60% de agua reutilizada en el proceso productivo*

2025	Agua consumida mes m3	40%		
Marzo	20,8	$ 46.717		
Abril	29,6	$ 66.482		
Mayo	26	$ 58.396		
Junio	20	$ 44.920		
Julio	18	$ 40.428		
Agosto	25,2	$ 56.599		
Septiembre	24,8	$ 55.701		
		$ 369.242	**$ 553.864**	**Monto ahorrado**

Volumen de agua reusada mes septiembre: $62\ \frac{m^3}{mes} \cdot 0{,}60\ =\ 37{,}2\ \frac{m^3}{mes}$

Nuevo consumo de agua potable: $62\ \frac{m^3}{mes} -\ 37{,}2\ \frac{m^3}{mes} =\ 24{,}8\ \frac{m^3}{mes}$

Las ecuaciones anteriores permiten estimar el impacto directo de la reincorporación de agua tratada en el consumo total de agua potable de la empresa. En primer lugar, se calcula el volumen de agua reusada para el mes de septiembre, tomando el consumo total mensual del mes de septiembre (62 m³/mes) y aplicando el porcentaje proyectado de reúso (60%), lo que arroja un valor de 37,2 m³/mes de agua tratada reincorporada al proceso productivo. Luego, se determina el nuevo consumo de agua potable restando el volumen de agua reusada del consumo original, resultando en un consumo ajustado de 24,8 m³/mes. Esta reducción de la demanda de agua potable se traduce en un ahorro económico significativo en la facturación para la empresa.

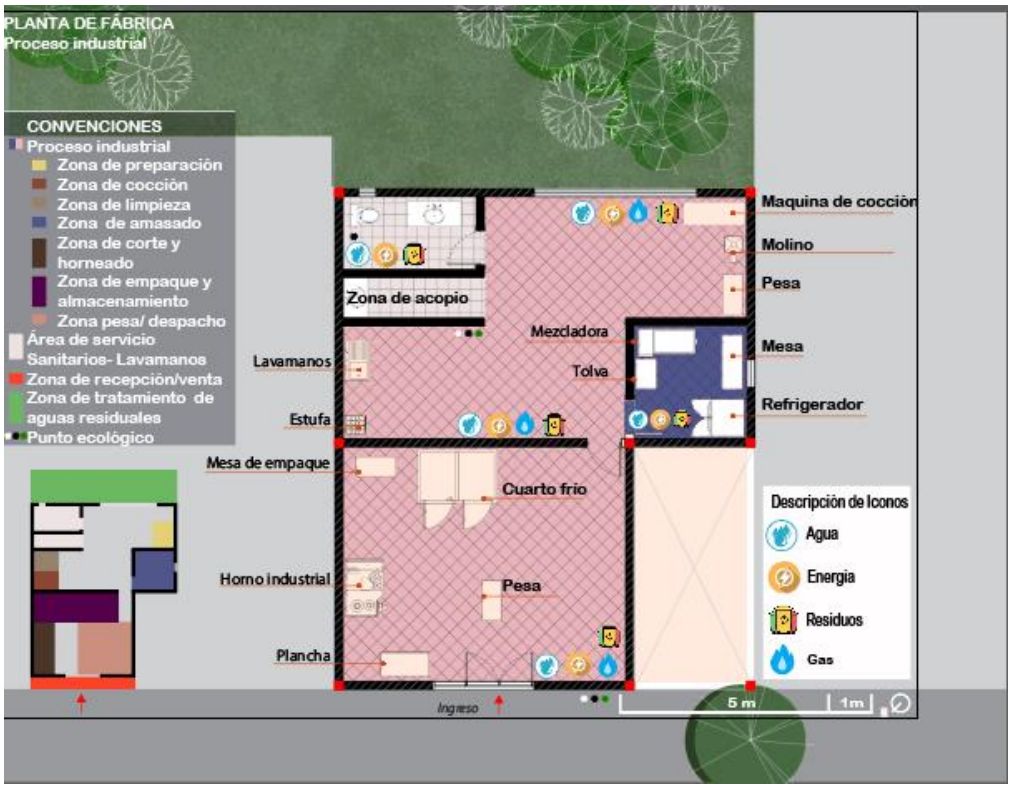
El costo proyectado de la facturación del agua para el período de marzo a septiembre disminuiría a $369.242 COP, cuando inicialmente los costos son de $923.106 COP, esto demuestra la viabilidad económica de la propuesta, dado que al reincorporar el 60% del

agua tratada reduce el consumo de agua potable y mejora la eficiencia de los procesos productivos sin afectar la calidad final de los productos, además de compensar progresivamente la inversión inicial de implementación de los sistemas.

Identificación de puntos críticos de uso

- Se identifico que los procesos con mayor consumo de agua corresponden a las etapas de pelado de maíz, cocción y limpieza. En el proceso de pelado de maíz se utiliza el agua para ablandarlo y retirar la cutícula del grano; en la cocción se proporciona el agua en la fase final del producto y por último en la limpieza se usa para el lavado constante de superficies, utensilios y equipos. Estos puntos críticos representantes oportunidades de mejora para la empresa mediante medidas eficientes en el marco de Producción Más Limpia, para llegar a ello se construyó un ecomapa observando los procesos que se realizan dentro de la empresa.

Figura 6 *Ecomapa*



Nota. Ecomapa donde se identifican los recursos naturales utilizados dentro de los procesos de la empresa. Elaboración propia

Se identifica recursos naturales como:

- **Agua** utilizada en las zonas de preparación, cocción, baños, cocina, amasado, horneado, empaque y almacenamiento del producto utilizando aproximadamente 58 m3 promedio mensual para la obtención del producto final. Teniendo un impacto negativo en el vertimiento de aguas residuales industriales sin ningún tratamiento de aguas residuales.
- **Energía eléctrica** es utilizada principalmente para la iluminación, funcionamiento de la maquinaria en el proceso industrial, teniendo como impacto ambiental negativo incrementando las emisiones atmosféricas.
- **Gas Natural** el recurso natural se utiliza para la cocción del maíz y del producto final "Arepa de maíz pelado" generando emisiones atmosféricas negativas.
- **Residuos Sólidos** la empresa genera pocos residuos dado que el empaque del maíz y yuca son tulas que se pueden reutilizar, se realiza separación en la fuente y los residuos aprovechables se les entregan a las personas que se dedican a la recolección de ellas.

Se puede identificar que el uso de recursos naturales que más demanda la empresa es el agua y energía se realizó la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para soportar la información y así las medidas tomadas sean óptimas para el proceso en la empresa.

A lo largo del proceso productivo, el agua es un factor indispensable para el desarrollo de las diversas actividades que se desarrollan dentro de la empresa, por ello la Resolución 631 (2015) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece parámetros y límites máximos permisibles para vertimientos de aguas industriales, además de los parámetros físicos –quimicos los cuales se pueden observar en la tabla 1. El cumplimiento de esta resolución permite que la reincorporación del agua al proceso productivo se lleve a cabo de manera adecuada y segura, minimizando los posibles impactos ambientales que puedan generarse.

Impactos asociados a la gestión actual del agua

- La gestión actual del recurso hídrico de la empresa Doña Carmen presenta limitaciones y riesgos tanto ambientales como operativos por racionamiento y escasez, especialmente en temporadas de sequía, esta situación podría afectar el desarrollo productivo de la empresa. Como lo indica la página de Enlace televisión (2024) “más de 40 municipios de Santander buscan alternativas frente al desabastecimiento de agua”, lo que evidencia la afectación para el desarrollo de actividades productivas de las empresas que dependen del recurso hídrico. La ausencia de sistemas de tratamiento de aguas conlleva a que se realicen vertimientos sin un control adecuado sobre las cargas contaminantes, generando afectaciones ambientales sobre el cuerpo de agua.

- Con la evaluación de Impacto ambiental se identificaron los aspectos ambientales (lo que realiza la empresa), impactos ambientales /Efecto sobre el ambienta) y sin son negativos o positivos resultado de los macroprocesos que se llevan a cabo dentro de la empresa **(Anexo A - Matrices EIA.xlsx).**

Figura 7 ***Aspectos e impactos ambientales***

CODIFICACION DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		
ASPECTO AMBIENTAL	**IMPACTO AMBIENTAL**	**TIPO**
CONSUMOS		
Consumo de Recursos: Agua, Energía,Gas, Combustibles, Papel.	Reducción del Recurso Natural	-
RECURSO AGUA		
Generación de Aguas Residuales Domésticas	Aumento de Aguas Residuales	-
Generación de Aguas Residuales Industriales	Aumento de Aguas Residuales	-
Vertimientos de aguas Residuales	Contaminación del Agua	-
Tratamiento de Aguas Residuales	Reducción Contaminación del Agua	+
Recirculación Agua	Aprovechamiento del Recurso	+
Vertimiento solventes/aceites	Aumento de Aguas Residuales	-
RECURSO AIRE		
Emisiones Atmosféricas Material Particulado, CO2,SOx, NOx, ...	Contaminación del Aire	-
Fugas (Gases, Compuestos Orgánicos Volátiles, aire comprimido)	Contaminación del Aire, Demanda de Recursos	-
Ruido	Contaminaciòn por ruido	
Olores Ofensivos	Afectación a la Comunidad	-
RESIDUOS		
Generación Residuos Peligrosos	Aumento de Residuos Peligrosos	-
Generación Residuos No Peligrosos	Aumento de Residuos No peligrosos	-
Aprovechamiento de Residuos (Reciclaje, Reutilización, Reducción, comercialización, etc)	Disminución de la Cantidad de Residuos	+
Reducción Residuos en la Fuente	Disminución de la Cantidad de Residuos	+
RECURSO SUELO		
Generaciòn de residuos solidos aprovechables y no aprovechables	Contaminación del Suelo o Agua	-
	Aumento de la cantidad de Residuos	-

Nota. Se identifican los aspectos, impactos ambientales y si son negativos o positivos, los recursos naturales utilizados dentro de los macroprocesos de la empresa. Elaboración propia

Se identificó en la tabla que los siguientes aspectos ambientales vinculados a los macroprocesos y consumo recursos (agua, energía, gas, combustible, papel genera un impacto ambiental negativo dado que se enfocado a la reducción del recurso natural. En el recurso agua la generación de aguas industriales y los vertimientos de aguas residuales generan un aumento de estas causando un impacto negativo al momento de verter la carga contaminante en el río Suárez, por el contrario, si se realiza el correcto tratamiento de agua residual y su recirculación se genera un impacto positivo dado que se da una reducción del agua contaminada y el aprovechamiento del recurso.

En el recurso aire las emisiones de material particulado, fugas de gases y demás componentes, ruido, olores ofensivos su impacto es negativo dado que la empresa no presenta una contaminación del aire significativa, no tiene fugas dado que se hace un control con el gas continuamente, la maquinaria no genera ruido que pueda afectar a la comunidad. En el aspecto de residuos como generación de residuos peligrosos y no

peligrosos nos da un impacto negativo no significativo dado que dentro de los procesos que se realizan en la empresa no se generan en gran cantidad y en los aspectos de aprovechamiento de residuos y reducción de en la fuente, tiene un impacto positivo dado que se presenta una disminución de residuos. Recurso Suelo su aspecto desde la generación de residuos sólidos aprovechables y no aprovechables en la fuente su impacto es negativo dado que la empresa no genera contaminación al suelo, no tiene gran cantidad de residuos que afecte este recurso.

Por lo tanto, la caracterización del recurso hídrico evidencia la necesidad de adoptar medidas de control, aprovechamiento y tratamiento que permitan optimizar el uso del agua, eficiencia en los procesos y reducción de impactos significativos.

Los resultados obtenidos permiten observar que el consumo total de agua en la empresa Doña Carmen se concentra en las etapas de lavado y escaldado, lo cual coincide con estudios realizados en microempresas alimentarias donde estas operaciones representan entre el 50 % y 70 % del uso total de agua (Tarantino et al., 2016). La proyección del escenario de reúso del 60 % indica un ahorro aproximado de 30-40 m^3/mes, equivalente a una reducción del Y60% respecto al escenario base. Este comportamiento es consistente con modelos de eficiencia hídrica reportados por Garrido-Baserba et al. (2020), quienes destacan que la recirculación del agua tratada en procesos térmicos y de limpieza puede reducir hasta en un 80 % la demanda de agua fresca. La importancia de este resultado radica en que permite disminuir la presión sobre la fuente hídrica local, aumentar la resiliencia del proceso productivo y acercar la operación a los principios de Producción + Limpia y economía circular (Geissdoerfer et al., 2017).

7.1.2 Resultados del Objetivo Específico 2: Diseñar una solución técnica basada en herramientas de producción más limpia

Evaluación comparativa de alternativas tecnológicas

- Con el fin diseñar una propuesta técnica que se adecue a las condiciones de la empresa, se evaluaron tres alternativas de tratamientos de aguas residuales: Clarificación, lodos activados y ósmosis inversa. L selección de estas tecnologías

responde a su capacidad de eliminación de carga contaminante, viabilidad operativa y económica.

- Cada sistema fue evaluado en base a eficiencia en la remoción de los contaminantes, costos, mantenimiento, sostenibilidad y viabilidad de implementación. De acuerdo con las investigaciones pertinentes el sistema de clarificación tiene una remoción de SST entre 60% y 70%, dependiendo la dosificación de coagulantes.

- El sistema de lodos activados corresponde a un tratamiento biológico aeróbico donde su objetivo es la degradación de materia orgánica, removiendo alrededor del 85% en DBO, DQO y la carga microbiana. Finalmente, la ósmosis inversa es una tecnología de filtración de membranas donde la eficiencia de remoción es del 96% de los contaminantes disueltos, logrando una alta pureza en la calidad del agua, apta para su reúso.

Análisis técnico-económico

- El análisis técnico realizado evidencio que los tres sistemas no tienen una variación significativa en los costos operativos, el sistema de clarificación presenta el menor costos de inversión ($34.538.701 COP). El sistema de lodos activados implica una inversión un poco más alta ($40.433.223 COP), su mantenimiento puede ser realizado por personal capacitado. La ósmosis inversa representa un costo más alto por su consumo energético ($51.340.000 COP), pero es muy eficiente en cuanto a la purificación del agua. Estás tecnologías pueden implementarse en áreas reducidas y se adaptan fácilmente a la disposición y condiciones de la empresa y la inversión inicial de la implementación de estos sistemas es de $126.311.924 COP.

Propuesta de sistema integrado adaptado a Doña Carmen

- A partir del análisis realizado, se propone la implementación de un sistema integrado de clarificación, lodos activados y ósmosis inversa, basado en los principios de Producción Más Limpia y economía circular. Estos sistemas tienen una variedad de ventajas que al combinarlos permiten separar los SST, grasas y reducir la carga

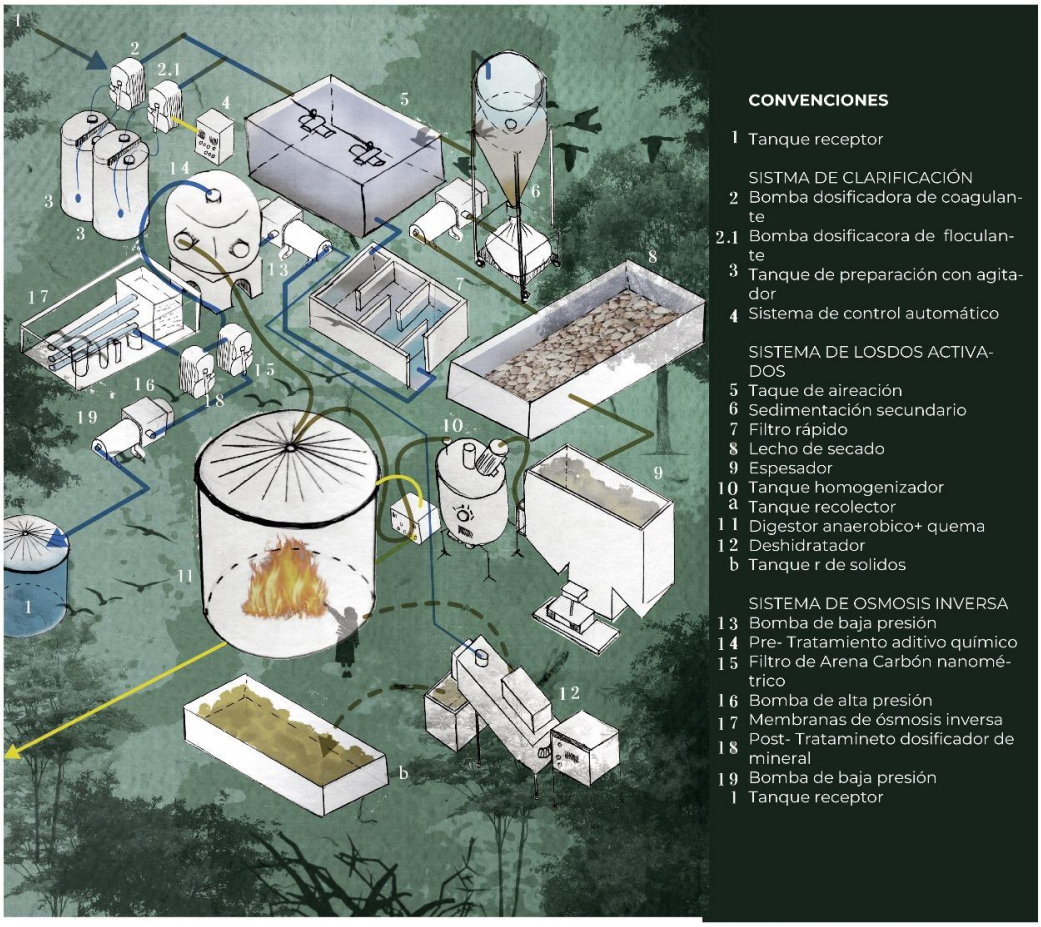
contaminante y orgánica mejorando la calidad del agua siendo apta para su recirculación.

- El proceso se basa en tres etapas, la primera es el pretratamiento donde el sistema de clarificación remueve los sólidos, sedimentos y demás materia flotante del agua. El segundo es el tratamiento biológico donde por medio de los lodos activados se degrada la materia orgánica con ayuda de microorganismos aeróbicos. Finalmente está la etapa de filtración y desinfección donde la ósmosis inversa permite la reducción de patógenos y mejora las características físico- químicas del agua tratada, este proceso es observado en el esquema gráfico.

- El agua resultante del tratamiento anterior puede ser reutilizada internamente en los procesos que se llevan a cabo en la empresa, lo que permite disminuir aproximadamente un 40% los costos asociados al consumo y alcanzar un 60% de reúso de agua, disminuyendo el uso de agua potable y de vertimientos al cuerpo hídrico.

- La siguiente figura representa el esquema gráfico de la propuesta integral de una solución técnica basada en herramientas de producción más limpia. Incluye los 3 sistemas de tratamiento de aguas residuales diseñada para la empresa Doña Carmen, donde se integra clarificación, sistema de lodos y osmosis inversa integrados de manera secuencial garantizando la remoción de carga contaminante. En el esquema se observa desde la recepción de agua residual hasta la obtención del efluente tratado para su reúso. Esquema gráfico.pdf

Figura 8 *Esquema gráfico*



Nota. En el esquema gráfico se observan la integración de los 3 sistemas de tratamiento.

El tren de tratamiento propuesto se sustenta en la composición típica del efluente alimentario, caracterizado por cargas elevadas de DBO, grasas y sólidos suspendidos. La clarificación primaria permite reducir entre el 40 % y 60 % de los SST, creando condiciones óptimas para el tratamiento biológico, donde los sistemas de lodos activados pueden alcanzar remociones del 85 % al 95 % de DBO bajo condiciones controladas (Metcalf & Eddy, 2014). La posterior incorporación de ósmosis inversa se justifica por su elevada eficiencia en la producción de un permeado de alta calidad, con remociones superiores al 98 % para DQO y SST (Cassano et al., 2018), lo que permite reincorporarlo al proceso conforme a lineamientos de reúso en el sector alimentario. Esta combinación tecnológica

ha demostrado ser especialmente adecuada para empresas de pequeña escala, donde se requiere una relación costo-beneficio favorable y facilidad operativa (Bajpai, 2017).

7.1.3 Resultados del Objetivo Específico 3: Definir estrategias de gestión ambiental empresarial

Estrategias operativas y sostenibles para el reúso

- Como resultado de la implementación de los sistemas de tratamiento propuestos en la empresa Doña Carmen, al ser un conjunto de estrategias operativas que tiene por objetivo el reúso de agua tratada, donde la recirculación interna del agua tratada destinada en las diversas actividades productivas de la empresa, lo que logrará una reducción de 60% del volumen de consumo de agua, así mismo se reducirán los vertimientos generados. Estas acciones forman parte de las líneas estratégicas de los Programas de Ahorro y Uso Eficiente y Ahorro del Agua y Energía, que buscan optimizar el recurso hídrico y minimizar los impactos ambientales

- El programa UEAA implementado tiene como meta reducir el consumo de agua en un 60% en comparación con el consumo de agua. Para lograr este objetivo, el programa se basa en un conjunto de actividades las cuales incluyen la instalación de los sistemas de tratamiento, monitoreos de consumo de agua y la capacitación del personal. Por otra parte, el programa UEAE tiene como meta reducir el consumo eléctrico en un 15%, para lograrlo se plantearon acciones que optimicen el uso de energía, mediante la identificación de equipos que tengan mayor demanda, programando horarios para su funcionamiento, y la evaluación de consumo trimestrales que permitan evaluar su cumplimiento. Esto permitirá cumplir con las metas establecidas y mejorar la eficiencia de los procesos, reduciendo la huella hídrica y alineándose con los principios de P+L.

- La adopción de buenas prácticas operativas enfocadas al uso eficiente del recurso hídrico, entre ellas se encuentra la implementación de tecnologías eficientes, mantenimiento preventivo de equipos, capacitaciones al personal sobre ahorro del agua y la estandarización de protocolos de limpieza, de esta manera se optimiza la gestión del recurso y minimizando su mal uso.

Recomendaciones normativas y de gestión

- Con el fin de cumplir con la normativa vigente se establece como prioridad la aplicación de los lineamientos de la Resolución 0631 de 2015, la cual regula los parámetros y valores máximos permisibles de vertimientos. Por ello se recomienda que se realice un control periódico de parámetros como DQO donde el límite permitido es de (600,00 mg/L O2), para DBO es de (400,00 mg/L O2) y SST (200,00 mg/L) para verificar que se esté cumpliendo con la norma.

- Se sugiere que se establezca un plan de monitoreo y seguimiento de calidad del agua, donde se realicen mediciones trimestrales, este plan debe ir integrado al Programa Ambiental Empresarial para evaluar la eficiencia del tratamiento implementado, la reducción del consumo de agua y la mejora continua y eficiente de los procesos.

Proyección de beneficios ambientales y económicos

- La aplicación de las estrategias operativas y del sistema de tratamiento permitirá una reducción de consumo de agua potable generando beneficios económicos y ambientales, dado a que se espera una reducción de un 60% en el consumo de agua, así mismo se minimizará la carga contaminante de los vertimientos contribuyendo a la conservación de cuerpo de agua.

- La adopción de estas medidas fortalecerá la imagen ambiental de la empresa, dado a que será un referente para las demás empresas del municipio de Santander al gestionar eficientemente el recurso hídrico. Así mismo estará alineado con el ODS 6 Agua limpia y saneamiento dando como resultado una transición hacia una producción más limpia.

Las estrategias de gestión ambiental deben responder directamente a los riesgos operativos identificados en el proceso. Para sistemas de reúso hídrico, la literatura enfatiza la necesidad de implementar programas de mantenimiento predictivo, monitoreo de parámetros críticos y capacitación continua del personal para minimizar fallas en el sistema biológico o en la operación de membranas (Hernández-Sancho & Molinos-Senante, 2014). Integrar estas prácticas en la

empresa Doña Carmen permitiría reducir la probabilidad de incumplimiento normativo y garantizar la estabilidad del sistema, alineándose con los lineamientos de Producción + Limpia promovidos por el Ministerio de Ambiente y la UNEP (2019).

7.2 Análisis Transversal de Resultados en función del Problema de Investigación

- El análisis de los resultados obtenidos permite evidenciar la problemática de la empresa Doña Carmen asociado con el uso ineficiente del agua y la ausencia de un tratamiento de aguas residuales, a esto se suman los periodos de racionamientos que enfrenta el municipio de Barbosa, situación que genera impactos a nivel económico, social y ambiental, reflejados en la disminución de la eficiencia operativa y la afectación del cuerpo de agua que recibe los vertimientos.

- El diseño de la propuesta técnica está basado en un sistema integrado de clarificación, lodos activados y ósmosis inversa que permiten reducir la carga contaminante de las aguas residuales. La evaluación de las alternativas demuestra que la propuesta tiene un alto potencial debido a su costo, simplicidad de operación y resultados ambientales positivos, logrando reducir la huella hídrica de la empresa.

- El análisis de la viabilidad técnica, ambiental y económica evidencia que las tecnologías son apropiadas para pequeñas empresas que no requieren una infraestructura compleja ni altos costos de mantenimiento. Desde el punto de vista ambiental, la implementación del sistema garantizará el cumplimiento de los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015, contribuyendo al control de la contaminación.

- La propuesta técnica desarrolladas contribuyen directamente al cumplimiento del ODS 6 al promover el tratamiento y reúso de aguas residuales dentro de un marco de responsabilidad ambiental. Así mismo impulsa el fortalecimiento territorial al generar impactos positivos en la comunidad y el entorno local, mejorando la gestión del recurso hídrico en el municipio y fomentando la adopción de prácticas sostenibles.

Los resultados de la evaluación técnica muestran que la combinación de clarificación y lodos activados puede alcanzar eficiencias de remoción de DQO y SST cercanas al 90 %, valores comparables a los reportados por Tarantino et al. (2016) en la agroindustria Fiordelisi y por Vásquez & Ramos (2023) en la industria alimentaria peruana. No obstante, a diferencia de estos estudios, el contexto de la empresa Doña Carmen se caracteriza por una menor capacidad de inversión y una infraestructura básica, lo que obliga a adaptar el diseño a un esquema modular y de bajo mantenimiento. Esta condición plantea un desafío para el cumplimiento sostenido de los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015, particularmente en lo que respecta a DQO y SST; por tanto, se recomienda implementar un programa de monitoreo periódico y ajustes operativos continuos.

El análisis transversal evidencia que los tres objetivos convergen en una propuesta integral de reconversión hídrica. La caracterización del OE1 muestra que la empresa presenta consumos elevados en operaciones de lavado y escaldado, una tendencia ampliamente documentada en microindustrias alimentarias (Simate & Cluett, 2019). El OE2 permitió diseñar un tren de tratamiento con eficiencias consistentes con estudios internacionales, y el OE3 integra estrategias de gestión que responden directamente a los riesgos operativos identificados. En conjunto, los resultados muestran que la empresa Doña Carmen puede transitar hacia un modelo circular en el cual el agua tratada cierra ciclos operativos, reduciendo entre el 40 % y el 60 % la presión sobre la fuente hídrica (Garrido-Baserba et al., 2020), alineándose con los lineamientos de P+L y contribuyendo a la resiliencia empresarial. Es importante, sin embargo, reconocer que los valores presentados son estimados a partir de literatura y no de mediciones directas, lo cual acota la validez externa del análisis, pero no invalida su pertinencia como fase de diseño preliminar (Bajpai, 2017).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Conclusión 1. (En relación con el Objetivo Específico 1: Caracterizar el manejo del recurso hídrico en la empresa Doña Carmen)

El análisis del manejo hídrico en la empresa Doña Carmen permitió evidenciar que el recurso agua es un insumo crítico en las diferentes etapas del proceso productivo —pelado, amasado, cocción y limpieza—, con un consumo promedio de 58 m³ mensuales y una eficiencia de 14,58 m³ por tonelada de masa producida. Este nivel de uso refleja una dependencia alta del recurso hídrico y la ausencia de un sistema de tratamiento o reincorporación, lo que implica riesgos ambientales y económicos frente a los escenarios de escasez y racionamiento. Asimismo, la caracterización evidenció una carencia de indicadores de gestión hídrica y de seguimiento técnico al consumo, lo que limita la toma de decisiones informadas para la sostenibilidad de la empresa.

Conclusión 2. (En relación con el Objetivo Específico 2: Diseñar una solución técnica basada en herramientas de producción más limpia)

Con relación al objetivo específico 2 el diseño de alternativas técnicas demostró que es viable implementar sistemas combinados de tratamiento de aguas residuales, integrando procesos de clarificación, lodos activados y ósmosis inversa. Estos sistemas ofrecen una eficiencia promedio de 80 % – 98 % en la remoción de DBO, DQO y sólidos suspendidos totales, garantizando la calidad del agua para su reutilización en actividades no potables dentro de la empresa. La evaluación técnica y económica realizada evidenció que estas tecnologías pueden adaptarse a la escala productiva y capacidad financiera de la empresa, con un costo estimado de inversión entre $80 y $200 millones de pesos, dependiendo de la capacidad de tratamiento. Este diseño se alinea con los principios de Producción Más Limpia (PML) y la Economía Circular, promoviendo la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de la huella hídrica.

Conclusión 3. (En relación con el Objetivo Específico 3: Definir estrategias y acciones de gestión ambiental empresarial)

La formulación de estrategias de gestión ambiental evidenció la importancia de incorporar la sostenibilidad hídrica como un componente transversal en la operación empresarial. La implementación del sistema de tratamiento y reúso de aguas residuales no solo responde a una exigencia normativa —conforme a la Resolución 0631 de 2015 y la Ley 373 de 1997, sino que representa una oportunidad para fortalecer la responsabilidad ambiental y la competitividad de la empresa. Las acciones de gestión propuestas —como el monitoreo de parámetros fisicoquímicos, la capacitación del personal, la gestión de residuos y la implementación de buenas prácticas— permiten proyectar una reducción de la huella hídrica entre 30 % y 50 %, contribuyendo al cumplimiento del ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y del ODS 12 (Producción y consumo responsables).

En síntesis, el estudio demuestra que la reincorporación de aguas residuales tratadas es técnica, económica y ambientalmente viable, constituyéndose en una estrategia integral de sostenibilidad empresarial. Los resultados evidencian que la empresa puede reducir su consumo de agua potable entre un 40 % y 60 % mediante la implementación del tren de tratamiento propuesto, lo que representa un impacto significativo en términos de eficiencia hídrica, resiliencia operacional y sostenibilidad. Este comportamiento es consistente con experiencias documentadas en plantas de alimentos latinoamericanas y europeas (Tarantino et al., 2016; Burbano, 2024). Así, se concluye que la estrategia planteada es técnicamente viable, ambientalmente pertinente y económicamente accesible para una microempresa rural, siempre y cuando se implemente un adecuado sistema de gestión y monitoreo.

La ausencia de datos y mediciones constituye una limitación importante del estudio, dado a que la selección de la alternativa óptima se basó en datos secundarios provenientes de literatura técnica y valores de referencia. Aunque estos parámetros permiten construir un diseño preliminar coherente y técnicamente sustentado, es posible que las condiciones reales del agua residual sean diferentes.

8.2 Recomendaciones

Recomendación 1. (Asociada a la caracterización del manejo hídrico)

Se recomienda que la empresa Doña Carmen implemente un sistema interno de monitoreo del consumo de agua, estableciendo indicadores de desempeño hídrico y registros mensuales de uso, pérdidas y vertimientos. Este seguimiento permitirá identificar patrones de consumo, definir metas de reducción y tomar decisiones preventivas frente a escenarios de escasez. Además, se sugiere gestionar ante la autoridad ambiental local el acompañamiento técnico para fortalecer la eficiencia en el uso del recurso.

Recomendación 2. (Asociada al diseño técnico de tratamiento y reúso)

Se recomienda iniciar la implementación gradual del sistema de tratamiento de aguas residuales, priorizando la fase de clarificación y lodos activados, dado su equilibrio entre eficiencia y costo operativo. Posteriormente, podrá incorporarse el módulo de ósmosis inversa como tratamiento terciario, una vez se asegure la estabilidad del sistema inicial. Es indispensable elaborar un plan de mantenimiento preventivo, incluir sensores de monitoreo de DBO, DQO y SST, y evaluar la posibilidad de aprovechar el lodo generado como subproducto para compostaje o disposición controlada.

Recomendación 3. (Asociada a la gestión ambiental empresarial)

Se recomienda desarrollar un Programa Integral de Gestión Ambiental Empresarial (PGAE) que incluya la capacitación continua del personal en manejo del agua, residuos y energía; la adopción de buenas prácticas de Producción Más Limpia; y la integración de un componente de educación ambiental comunitaria. Este programa deberá ser monitoreado periódicamente con indicadores de desempeño ambiental y reportes de seguimiento, asegurando el cumplimiento de las normas Resolución 0631 de 2015, Decreto 3930 de 2010, y Ley 99 de 1993. Finalmente, se sugiere establecer alianzas con entidades académicas o ambientales locales para fortalecer la innovación tecnológica y asegurar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

Se recomienda realizar una fase piloto del tren de tratamiento para validar en campo las eficiencias de remoción esperadas, así como desarrollar un programa de monitoreo mensual que incluya pH, DBO5, DQO, SST y aceites y grasas, conforme a la Resolución 0631 de 2015. También se sugiere fortalecer capacidades del personal mediante

capacitaciones en operación del sistema biológico y mantenimiento preventivo, siguiendo las guías técnicas internacionales para pequeñas industrias alimentarias (UNEP, 2019).

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aclima. (2025). *La industria necesita avanzar en gestión hídrica para ser más sostenible*. Blog Aclima. https://aclima.eus/la-industria-necesita-avanzar-en-gestion-hidrica-para-ser-mas-sostenible/

Aguirre. (2009). *Gestión ambiental empresarial: Pasado, presente y futuro de las normas e instituciones ambientales en Colombia*. Universidad Libre. https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/libreempresa/article/view/2927

Amezquita & Tovar . (2022). *Generalidades sobre métodos de desinfección mediante radiación ultravioleta*. Revista RETO (SENA). https://revistas.sena.edu.co/index.php/RETO/article/download/5463/5956

Ática. (2024). *Día Mundial del Agua: retos y soluciones para el futuro hídrico de Colombia*. https://www.atica.co/dia-mundial-del-agua-retos-y-soluciones-para-el-futuro-hidrico-de-colombia

Bajpai. (2017). *Externa treatment technologies used for pulp and paper mill effluents*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811099-7.00006-x

Banco Mundial. (2021, 18 marzo). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security

Banco Mundial. (2025). *Agua: panorama general*. https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview

BBVA. (2025) ¿Qué son y cómo se pueden clasificar las aguas residuales? *BBVA NOTICIAS*. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-y-como-se-pueden-clasificar-las-aguas-residuales/

Benavides & Muvdi. (2014). *Evaluación de la ósmosis inversa y de la evaporación*. Revista Ingeniería y Organización. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4150/5167

Burbano, M. (2024). *Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa Joli Foods*. Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/724fc0aa-fc41-4fbf-8199-e702c4cf06bd/content

CAS. (s.f.). *Recurso hídrico*. Corporación Autónoma Regional de Santander. https://www.cas.gov.co/gestion-corporativa/gestion-de-planeacion/recurso-hidrico

Cassano, A. et al. (2018). *Journal of Water Process Engineering*, 21.

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.* https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2920

Congreso de Colombia (2014). *Ley 1715 de 2014 Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.* https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53079

Congreso de Colombia (1997). *Ley 373 de 1997 por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.* ANLA. https://www.anla.gov.co/07rediseureka2024/normativa/leyes/ley-373-de-1997-programa-para-el-uso-eficiente-y-ahorro-del-agua-pueaa

Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Diario Oficial No. 41.146.

Constitución Política de Colombia (1991). Arts. 79 y 80. *Diario Oficial No. 39.703*. https://www.constitucioncolombia.com/

Copco, A. (s. f.). *Proceso de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales - Atlas Copco*. Atlas Copco. https://www.atlascopco.com/es-co/compressors/industry-solutions/wastewater-treatment/aeration-blowers-activated-sludge-process

Corponariño. (2020). *Formulación de metas de la carga contaminante del quinquenio 2020–2024*. https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2020/08/DOCUMENTO-METAS-DE-CARGA-CONTAMINANTE-QUINQUENIO-2020_2024.pdf

Covilla, M. (2022). *Propuesta de producción más limpia en una fábrica de arepas de maíz*. Universidad EIA. https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/4433/10/CovillaMelissa_2022_PropuestaProduccionLimpia.pdf

Cristina. (2023). *El rol vital del agua en la industria: retos y soluciones*. Almar Water Solutions. https://almarwater.com/es/el-rol-vital-del-agua-en-la-industria-retos-y-soluciones/

DigoodCMS. (2025, 26 mayo). *Reverse Osmosis System Cost Guide*. https://es.stark-water.com/article/reverse-osmosis-system-cost-guide-how-much-does-an-industrial-ro-system-really-cost-in-2025.html

Eawag & Spuhler, D. (s.f.). *Activated sludge*. SSWM. https://sswm.info/factsheet/activated-sludge

Enlace Televisión. (2024) Sequía, racionamiento de agua y prevención de incendios en Barbosa, Santander. | Noticias, Deportes y Entretenimiento En Santander. https://enlacetelevision.com/2024/04/16/sequia-racionamiento-de-agua-y-prevencion-de-incendios-en-barbosa-santander/

Everflow. (2024). *¿Qué industrias consumen más agua y por qué?* https://everflowutilities.com/blogs/which-industries-use-the-most-water-and-why

Fortich, M. (2022, 28 abril). *Economía circular: el círculo de valor*. Saving The Amazon. https://savingtheamazon.org/blogs/news/economia-circular-el-circulo-de-valor

García. (2024). *Aguas residuales industriales: tipos y tratamientos.* https://gargil.es/aguas-residuales-industriales/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20industriales%20son,tratar%20de%20una%20forma%20especial.

Galeano. (s.f.). *Guía de operaciones, procesos e instalaciones industriales*. https://www4.ujaen.es/~ecastro/proyecto/operaciones/movimiento/sedimentacion.html

Garrido-Baserba, M. et al. (2020). *Journal of Cleaner Production*, 247.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal Of Cleaner Production, 143, 757-768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Global Growth Insights. (2024). *Las 10 principales empresas de tratamiento biológico de aguas residuales del mundo*. https://www.globalgrowthinsights.com/es/blog/biological-wastewater-treatment-companies-251

Hernández-Sancho, F. & Molinos-Senante, M. (2014). *Water Research*, 56.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *Manual de huella hídrica*. https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

IDEAM. (2010). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/EVALUACION%2CSEGUIMIENTO%20Y%20CONTROL/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf

IDEAM. (2022). *Estudio Nacional del Agua 2022*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/publicacion-jue-23032023-1200

IDIGER. (s.f.). *Cambio climático*. Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. https://www.idiger.gov.co/rcc

Jhuesa Tratamiento de Aguas. (2025, 18 febrero). *Ósmosis inversa*. https://jhuesa.com/tecnologias/osmosis-inversa

Marmol, J. (2024). *Demanda hídrica*. IDEAM. https://www.ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario/demanda-hidrica

Metcalf y Eddy, AECOM (2014). *Ingeniería de tratamiento de aguas residuales y recuperación de recursos* . McGraw-Hill Education https://repositori.mypolycc.edu.my/jspui/handle/123456789/4586

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021) Resolución 1256 de 2021 Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones. Alcaldía Mayor de Bogotá. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=118863

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Política nacional de gestión integral del recurso hídrico*. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Política Nacional de Economía Circular*. https://www.minambiente.gov.co

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Evaluaciones ambientales estratégicas*. https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/evaluaciones-ambientales-estrategicas/

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1974). Decreto 1575 de 1974 por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1981) Decreto 2857 de 1981 *"Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto- Ley 2811 de 1974 sobre Cuencas Hidrográficas y se dictan otras disposiciones."* https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1550

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979 y el Capítulo II del Título VI de la Ley 99 de 1993 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial No. 47.583.

Morales, J. (2023). *Tecnologías de tratamiento de aguas para la industria alimentaria*. https://vitaqua.es/tecnologias-de-tratamiento-de-aguas-para-la-industria-alimentaria-2/

Nick, N. (2020). *Pros and cons of wastewater treatment methods*. https://www.wateronline.com/doc/pros-and-cons-of-wastewater-treatment-methods-coagulation-and-disinfection-0001

Novaquimica Colombia S.A. (2025, 24 febrero). *Clarificación - Novaquimica Colombia*. Novaquimica Colombia. https://novaquimica.com.co/clarificacion-2/

ONUDI. (2008). *Manual de producción más limpia*. https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/Toolkit_0.pdf

ONU. (s.f.). *ODS 6: Agua limpia y saneamiento*. https://agenda2030lac.org/es/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento

Overton, P. (2023). *How much does an industrial water treatment system cost?* https://samcotech.com/how-much-does-an-industrial-water-treatment-system-cost/

Pascual, A. (2021). Eficiencia hídrica y producción de alimentos - Fundación Aquae. https://www.fundacionaquae.org/mejorar-la-eficiencia-hidrica/

Pedrero, L. D. (2024). *Usos del agua en la industria alimentaria*. https://escuelaalimentaria.com/usos-del-agua-en-la-industria-alimentaria/

Precio Bajo Sistemas de Tratamiento de Agua. (2024). *¿Cuánto cuesta construir una pequeña planta de tratamiento de agua?* https://es.chunkerowaterplant.com/news/mini-water-plant-price

Pure Water. (2015). Osmosis inversa- un proceso sofisticado de filtración por membranas. Pure Water. https://purewater.com.co/osmosis-inversa-un-proceso-sofisticado-de-filtracion-por-membranas/#:~:text=La%20%C3%B3smosis%20inversa%20(OI)%20es,agua%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%20calderas.

Resolución 1207 de 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.minambiente.gov.co

Restrepo, M. (2012). *Producción más limpia en la industria alimentaria*. https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/93ea5f88-82d6-41a9-b839-1dfaf604d684/content

Romero. (2008). *Tratamientos utilizados en potabilización de agua*. Universidad Rafael Landívar. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf

Rosales. (2025). *Lodos activados: qué son y en qué consiste este proceso*. Grupo Acura. https://grupoacura.com/es/blog/lodos-activados/

Sánchez. (2025). *Reutilización de agua industrial en Latinoamérica*. Veolia. https://golatam.veoliawatertechnologies.com/es/blog/reutilizacion-de-agua-industrial-en-latinoamerica-tecnologias-y-casos-exitosos

Sela, G. (2024). *El proceso de lodos activados*. Cropaia. https://cropaia.com/es/blog/lodos-activados/

Sensactive. (2025, 21 agosto). *Contaminación de Aguas Residuales en la industria alimentaria*. Sensactive Tech. https://sensactivetech.com/aguas-residuales-en-la-industria-alimentaria/

SeoSimple. (2024). *¿Qué son los clarificadores de agua y cómo funcionan?* https://peru.pochteca.net/clarificadores-de-agua-que-son

Simate, G. S. & Cluett, J. (2019). *J. Env. Chem. Eng.*, 7(1).

Solutions, A. T. (2018). *What is sedimentation in water treatment*. https://aosts.com/what-is-sedimentation-in-water-treatment-types-settling-tanks/

Tarantino, E. (2016). *Efectos de aguas residuales agroindustriales en suelos*. https://www.researchgate.net/publication/310621753

Tarantino, A. et al. (2016). *Journal of Cleaner Production*, 112.

Telwesa. (2023). El impacto ambiental de las aguas residuales. Telwesa. https://telwesa.com/impacto-ambiental-aguas-residuales/%7B

Telwesa. (2024). Eficiencia hídrica, un reto que debemos alcanzar. Telwesa. https://telwesa.com/eficiencia-hidrica-reto/

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (5th ed.). McGraw-Hill. https://www.mheducation.com/highered/product/wastewater-engineering-treatment-and-resource-recovery-metcalf-and-eddy.html

UNEP. (2019). United Nations Environment Programme.

Universal, R. E. (2019, 22 marzo). *La receta de Bimbo para cuidar el agua*. https://www.eluniversal.com.mx/cartera/negocios/esta-es-la-receta-de-bimbo-para-cuidar-el-agua/

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Calculadora de huella hídrica*. https://minas.medellin.unal.edu.co/campus-sostenible/calculadora-huella-hídrica

Vásquez & Ramos. (2023). *Propuesta de mejora en el proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTRIL*. UPC. http://hdl.handle.net/10757/670802

Valdivielso (2024). *¿Qué es un sistema de lodos activados?* iAgua. https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-lodos-activados

Works. (2019). *La industria alimentaria absorbe el 70% del consumo mundial de agua*. https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/la-industria-alimentaria-absorbe-el-70-del-consumo-mundial-de-agua-bChNV