



UNIVERSIDAD DE
MANIZALES

**EVALUACIÓN DE LA ULTRAFILTRACIÓN CERÁMICA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA AGROINDUSTRIA EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ.**

ÁNGELA PATRICIA IBAÑEZ RIOS

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Colombia
2018**

**EVALUACION DE LA ULTRAFILTRACIÓN CERÁMICA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA AGROINDUSTRIA EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ.**

ÁNGELA PATRICIA IBAÑEZ RIOS

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Tutor: Nelson Rodríguez Valencia. PhD.

Línea de Investigación: Biosistemas integrados
Director. Dr. Jhon Fredy Betancur Pérez

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Colombia
2018

Nota de aceptación:

Firma de jurado

Firma de jurado

Tutor de tesis

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Nelson Rodríguez Valencia, Ingeniero Químico, PhD. en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Director de Tesis, por sus valiosos aportes, acompañamiento y apoyo en la realización de este proyecto. A Yonny, por ser mi compañero de vida, por nunca dejar de creer en mí y ser mi apoyo incondicional para lograr este resultado. A mi niña, porque sin haber nacido me dio las fuerzas para continuar y culminar este arduo camino. A mis padres por su fe en mí, por su fuerza y su entusiasmo para salir adelante, y siempre demostrarme que todo es posible, solo debes soñarlo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRACIONES	9
LISTA DE TABLAS	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. CONTEXTO DEL PROBLEMA.....	13
4. OBJETIVOS.....	15
4.1. Objetivo General.....	15
4.2. Objetivos Específicos	15
5. ANTECEDENTES.....	16
6. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	18
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Aguas residuales no domésticas	19
7.2. Aguas residuales domésticas.....	19
7.3. Industria de alimentos	19
7.4. Tratamiento de las aguas residuales.....	20
7.4.1. Generalidades	20
7.4.2. Tratamientos físico-químicos Fuente?	20
7.4.3. Tratamientos biológicos Fuente?	21
7.4.4. Nuevos procesos y tecnologías Fuente?.....	22
7.5. Plantas de tratamiento de aguas residuales	24
7.5.1. Situación de las PTAR en Colombia Fuente?	24
7.6. Que se debe tener en cuenta para escoger las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales no domésticas. Fuente?	25
7.6.1. Tipo de aguas residuales	25
7.6.2. Uso o disposición del agua tratada.....	26
7.6.3. Oferta tecnológica	26
7.6.4. Costos de inversión, operación y mantenimiento.....	26

7.6.5. Área disponible	27
7.7. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS ACTUAL.....	27
7.7.1. OPERACIÓN.....	27
7.7.2. UNIDADES Y ACCESORIOS	28
7.7.3. MANTENIMIENTO	31
7.8. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE FILTRACIÓN CERÁMICA	32
7.8.1. Información básica Fuente?	32
7.8.2. Funcionamiento	34
7.8.3. Ventajas y desventajas	35
7.9. NORMATIVIDAD.....	37
8. METODOLOGIA	41
8.1. Ubicación del área de estudio	41
8.2. Tipo de investigación.....	41
8.3. Periodo de ejecución	41
8.4. Instrumento	42
8.5. Materiales y Métodos.....	42
8.5.1. Recopilación de datos	43
8.6. Prueba piloto	45
8.6.1. Instalación del sistema.....	46
8.6.2. Fase de muestreo	47
8.6.3. Sistematización de la información y análisis de datos	47
9. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	49
9.1. Variables de la muestra.....	51
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
11. BIBLIOGRAFÍA.....	77
12. ANEXOS.....	82

RESUMEN

Con el fin de evaluar la ultrafiltración cerámica para el tratamiento de las aguas residuales industriales provenientes de una agroindustria en la ciudad de Bogotá, se realizó la comparación en remoción de parámetros fisicoquímicos del agua residual después de someterla a esta técnica, y utilizando un sistema convencional de tratamiento (actualmente existente en la compañía). Se realizó una prueba piloto con el equipo PURIFICS M16 de ultrafiltración cerámica durante 45 días dentro de las instalaciones de la compañía, durante los cuales se realizaron caracterizaciones de la cantidad y calidad del efluente del equipo. En las caracterizaciones preliminares de entrada al equipo, se pudo evidenciar una alta concentración de materia orgánica, grasa y sólidos suspendidos totales. Se recolectaron varias muestras puntuales y compuestas a lo largo de la prueba, las cuales fueron analizadas, una parte dentro de la compañía y otra parte en un laboratorio externo. Se plantearon 4 escenarios de operación diferentes para el equipo, con el fin de evaluar cuál de estos evidenciaba mayor porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos en el agua.

Con base a la caracterizaciones realizadas por el laboratorio externo (6 caracterizaciones compuestas), se observó que el 92% de las muestras cumplen en materia de calidad en normatividad de vertimientos, Resolución 631 de 2015, en parámetros como pH, temperatura, DBO, DQO, SST y grasas y aceites. Además cuatro de los cinco parámetros analizados tuvieron una eficiencia 30% mayor que el sistema convencional utilizado en la compañía, mostrando además una reducción en los gastos de operación, mantenimiento, nómina y productos químicos.

Palabras clave: Aguas residuales no domésticas, Ultrafiltración cerámica, DQO, DBO, SST.

ABSTRACT

In order to carry out an evaluation of an ultrafiltration treatment system for the safety of industrialists from an agro-industry in the city of Bogotá, The comparison was made in the removal of physicochemical parameters, of this treatment and a conventional treatment system (currently existing in the company). For which a pilot test was carried out with the PURIFICS M16 ceramic ultrafiltration equipment for 45 days inside the company's facilities, during which characterizations of the quantity and quality of the equipment effluent were made. In the preliminary characterizations of input to the equipment, a high concentration of organic matter, fats and total suspended solids could be evidenced. Several point and compound samples were collected throughout the test, which were analyzed a part within the company and others with an external laboratory. Four different operating scenarios were proposed for the team, in order to evaluate which of these evidenced the highest percentage of physical-chemical parameters removal in the water.

Based on the characterizations made by the external laboratory (6 composite characterizations), it was observed that 92% of the samples comply with the quality of the regulations for discharges, Resolution 631 of 2015, in parameters such as pH, temperature, BOD, COD, SST and fats and oils. In addition, four of the five parameters analyzed were 30% more efficient than the conventional system used in the company, also showing a reduction in operating expenses, maintenance, payroll and chemical products.

Keywords: Non-domestic wastewater, Ceramic ultrafiltration, COD, BOD, SST.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Plano de proceso PTAR. Fuente: Agroindustria, 2015.	27
Ilustración 2 Screen estático. Fuente: Protón, 2014	29
Ilustración 3 Sedimentador. Fuente: Protón, 2014	29
Ilustración 4 filtro de arena antracita. Fuente: Proton, 2014	30
Ilustración 5 Filtro prensa. Fuente: Protón, 2014	31
Ilustración 6 Purifics CUF M16. Fuente: Purifics, 2016.....	33
Ilustración 7 Efluente, concentrado y permeado del equipo. Fuente: Purifics, 2016.....	34
Ilustración 8 Flujo de proceso. Fuente: Purifics, 2016.	35
Ilustración 9 Toma de muestras del efluente de la planta.....	44
Ilustración 10 Medición de Solidos sedimentables	44
Ilustración 11 Medición de pH	45
Ilustración 12 Afluente y efluente del sistema. Fuente: Propia 2017	46
Ilustración 13 Instalación del sistema.....	46
Ilustración 14 Muestra preliminar	47
Ilustración 15 Solidos suspendidos totales agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia ..	71
Ilustración 16 Grasas y aceites agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia	71
Ilustración 17 DBO agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	72
Ilustración 18 DQO agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia	72
Ilustración 19 PH agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencia de mantenimientos en la PTAR. Fuente: Propia.....	32
Tabla 2 Consumo de energía de la PTAR actual. Fuente: Agroindustria, 2017.....	49
Tabla 3 Costos de operación de la PTAR actual. Fuente: Agroindustria, 2017.....	49
Tabla 4 Consumo de químicos actual. Fuente: Agroindustria, 2017.....	49
Tabla 5 Consumo de energía del PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	50
Tabla 6 Costos de operación del PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	50
Tabla 7 Consumo de químicos del PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	50
Tabla 8 Análisis puntual PTAR existente, parámetro DQO. Fuente: Propia.....	54
Tabla 9 Análisis puntual PTAR existente, parámetro pH. Fuente: Propia.....	58
Tabla 10 Análisis puntual PTAR existente, parámetro DBO. Fuente: Propia.....	61
Tabla 11 Análisis puntual PTAR existente, parámetro SST. Fuente: Propia.....	65
Tabla 12 Análisis puntual PTAR existente, parámetro Grasas y aceites. Fuente: Propia.....	69
Tabla 13 Porcentaje de remoción y cumplimientos de normatividad del sistema actual de tratamiento. Fuente: Propia.....	70
Tabla 14 Análisis compuesto del sistema PURIFIC M16. Fuente: Propia.....	70
Tabla 15 Porcentaje de remoción y cumplimiento de normatividad del sistema actual de tratamiento PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	73
Tabla 16 Gastos PTAR actual y PURIFICS M16. Fuente: Propia.....	74

1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de cualquier forma de vida en el planeta, el agua es un recurso indispensable. Actualmente debido al acelerado crecimiento demográfico, la demanda constante de productos, la industrialización y el desarrollo de nuevos procesos de producción, el uso irracional del agua se ha convertido en un problema en aumento, lo que ha generado a su vez que el adecuado tratamiento o depuración de estas aguas no se esté realizando de la mejor manera, generando graves problemas de deterioro en el recurso.

Las aguas contaminadas y la falta de saneamiento básico obstaculizan la erradicación de la pobreza extrema y las enfermedades en los países más pobres del mundo. En la actualidad, 2,3 billones de personas no disponen de instalaciones básicas de saneamiento, como baños o letrinas. Según el Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento, al menos 1800 millones de personas en todo el mundo beben agua que no está protegida contra la contaminación de las heces. Un número aún mayor bebe agua que se distribuye a través de sistemas vulnerables a la contaminación. (ONU 2015)

Actualmente existen en la ciudad de Bogotá, algunas industrias de alimentos que se han mostrado interesadas en mejorar sus procesos de gestión ambiental y mejorar las condiciones y tratamientos realizados al agua residual no doméstica que generan, para permitir la adecuada remoción de contaminantes sin generar afectaciones negativas de los cuerpos receptores de estas aguas. Sin embargo, los altos costos de instalación, mantenimiento, operación, insumos y mano de obra que requiere un adecuado tratamiento de aguas residuales no domésticas, se han convertido en un gran impedimento para que las industrias realicen el adecuado tratamiento y lleven una gestión sostenible de los procesos, evitando la contaminación del recurso.

2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, y especialmente en la ciudad de Bogotá, actualmente existen una gran cantidad de empresas manufactureras de alimentos, estas poseen una gran carga orgánica en sus aguas residuales no domésticas, y teniendo en cuenta la entrada en rigor de la Resolución 0631 de 2015, la cual exige cumplir con parámetros fisicoquímicos aún más estrictos antes de verter el agua al alcantarillado o a cuerpos de agua superficiales, y dado que un sistema de tratamiento de agua residual no doméstica convencional posee costos elevados de instalación y mantenimiento; se ve la necesidad de plantear una alternativa para solucionar el problema de las descargas de agua de este tipo de industria. Así mismo, esta problemática es sumamente relevante y se hace necesario priorizar iniciativas que se puedan brindar desde la ingeniería enfocada al desarrollo sostenible, para contribuir al cuidado del medio ambiente y para diseñar herramientas útiles para las empresas manufactureras de alimentos no solo en la ciudad de Bogotá, sino las de todo el territorio de nuestro país puedan utilizar en pro del mejoramiento de sus procesos. Con la finalidad de atender esta problemática se ha planteado realizar un proyecto de investigación, en el cual se pueda establecer si una nueva tecnología compuesta de membranas de ultrafiltración cerámica, como sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, es efectiva y económica de adquirir para las empresas manufactureras de alimentos en la ciudad de Bogotá.

3. CONTEXTO DEL PROBLEMA

Alrededor del mundo las sustancias contaminantes presentes en las fuentes hídricas, son uno de los mayores problemas que estas enfrentan, la introducción de estas sustancias por vertimientos no controlados de uso industrial y doméstico, provocan graves impactos ambientales sobre los cuerpos de agua. Debido a esto, algunos de esos vertimientos no controlados están generando diversos problemas ambientales, como la alteración de los ecosistemas acuáticos y afectaciones en la salud humana, como problemas digestivos, sin contar la proliferación de vectores, que a través del tiempo se convierten en un problema significativo para la salud de las comunidades aledañas.

El deterioro del medio ambiente en el mundo y sus consecuencias negativas en los ecosistemas, son producto del acelerado crecimiento poblacional en las diversas regiones del planeta y del desarrollo industrial que ha ido aumentando en los últimos años. Esta problemática exige contar con infraestructura material adecuada, recursos financieros que permitan garantizar el cumplimiento de los tratamientos del agua residual. De acuerdo a lo anteriormente mencionado el impacto ambiental sobre el recurso hídrico se da en la relación entre la carga del efluente y la de la fuente receptora teniendo en cuenta tanto los efectos de las descargas recibidas en su curso como los efectos positivos de la recuperación de la corriente receptora.

Nuestro país siempre ha tenido presente las gestiones y sistemas relacionados con el control de la contaminación hídrica, y se han desarrollado diferentes esfuerzos para reducir los impactos ambientales. Sin embargo, los mismos no han sido suficientes para mitigar estos impactos, y se observa como prioridad evaluar las alternativas financieras, estatales, institucionales y normativas, para coordinar una dirección unificada, que permita fácilmente alcanzar metas a mediano y largo plazo. Además, en nuestro país, se han realizado numerosos esfuerzos para la construcción de infraestructura que ayude a mitigar los impactos de la contaminación del agua. Pero estos esfuerzos se han visto limitados por

las Corporaciones Autónomas Regionales y los municipios, que no tienen las herramientas suficientes para desarrollar proyectos sobre tratamiento de aguas residuales.

Aunque en Colombia existen diferentes medios normativos, que le exigen a las diferentes industrias cumplir unos requerimientos en cuanto al vertimiento de aguas residuales industriales en los cuerpos de agua y el alcantarillado; los sistemas de tratamiento de estas aguas requieren una gran inversión y una extensa área de instalación dentro de las compañías, sin contar con los grandes gastos de mantenimiento y compra de insumos químicos para su sostenimiento. Por esta razón las industrias colombianas, en muchas ocasiones, prefieren pagar las multas interpuestas por las autoridades ambientales y los gobiernos, que mantener sistemas tan costosos y tan indispensables de mano de obra las 24 horas del día, que darle un adecuado tratamiento a las aguas residuales y verterlas con los parámetros fisicoquímicos exigidos por la ley.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar la ultrafiltración cerámica para el tratamiento de las aguas residuales de una agroindustria en la ciudad de Bogotá.

4.2. Objetivos Específicos

- Realizar la comparación en cuanto a remoción de parámetros fisicoquímicos del agua (DBO, DQO, SST, Sólidos sedimentables, grasas y aceites) de la ultrafiltración cerámica y un sistema de tratamiento convencional instalado en una agroindustria.
- Realizar el análisis financiero del sistema de ultrafiltración cerámica.
- Identificar las ventajas y desventajas del uso de la ultrafiltración cerámica para el tratamiento de aguas residuales industriales.

5. ANTECEDENTES

El desarrollo industrial que se ha dado en el último siglo en nuestro planeta, lleva un elevado costo ambiental, del cual la sociedad solo ha empezado a ser consiente en la última década. Cada vez se adquiere un conocimiento más profundo de los parámetros que influyen en la relación del ser humano y el medio ambiente, y se adquiere conciencia de los cambios que surgen en el planeta, lo que ha provocado la sensibilización de la población y ha logrado que la ingeniería ambiental y el desarrollo sostenible tome una importante posición en el campo de la investigación científica.

La calidad ambiental está reconocida como una parte esencial de nuestra vida, así pues, en muchos países se están publicando normas de calidad cada vez más exigentes de los efluentes de las aguas residuales tratadas, que necesitarán un alto grado de tratamiento para satisfacer las necesidades que estas normas exigen. De esta forma, los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica con tecnología de membrana ofrecen la posibilidad de realizar una remoción de hasta el 95% de los parámetros fisicoquímicos presentes en el agua, con una significativa reducción en la utilización de productos químicos dentro del tratamiento. (Alzogroup, 2016)

Las membranas semipermeables ya se utilizaban a principios del siglo XIX en el riñón artificial, por lo cual no es una tecnología tan novedosa, sino en cambio una tecnología a la que se busca darle nuevas aplicaciones y desarrollo se nuevos materiales para la construcción de membranas (Maroto, 2007). Los procesos de separación de materia disuelta y suspendida por medio de membranas, bajo el efecto de una presión, se conocen desde hace más de cien años. Sin embargo, la primera utilización de biorreactores con membrana (BRM), para el tratamiento de aguas residuales, data de los años 60 y es en la década de los 70 que la tecnología entra al mercado (Stephenson, 2000). En la década de los 70, la tecnología entró por primera vez en el mercado japonés, gracias a un acuerdo entre las compañías Dorr-Oliver y Sanki Engineering (Centro Canario del Agua, 2003). También en la década de los 70, Thetford Systems, actualmente parte de Zenon Environmental, lanzó su versión de un sistema externo para el tratamiento aeróbico de las aguas residuales, el proceso fue llamado “Cycle-Let” (Stephenson, 2000). A finales de los 80 y a principios de

los 90, Zenon Environmental desarrolló este proceso con membranas sumergidas en el licor mezclado, obteniendo dos patentes del sistema: Zenon's sistema comercial, y ZenoGem. (Stephenson, 2000).

Las primeras plantas con BRM aparecieron en América del norte a finales de la década de los 70 y en Japón a principios de los 80 (NAZIM, 2003). En esta misma época los procesos anaerobios de tratamiento de agua residual industrial empezaron en Sudáfrica (NAZIM, 2003). La introducción en Europa de los BRM aerobios no se produjo hasta mediados de los 90 (NAZIM, 2003). En 1982, Dorr-Oliver introdujo el sistema de reactor anaeróbico de membrana (RAM) para el tratamiento del efluente de una industria alimentaria. El proceso contaba igualmente con una unidad de ultrafiltración externa al reactor. Casi al mismo tiempo, se desarrolló en el Reino Unido dos sistemas BRM con procesos de microfiltración y ultrafiltración (NAZIM, 2003).

En dichos trabajos se observaron y estudiaron fenómenos osmóticos. Sin embargo, hubo que esperar hasta el siglo XX para que se comercializaran las primeras membranas. Pero sin duda, el detonante más importante en tecnología de membranas se produjo hace tan solo tres décadas con el desarrollo de las membranas asimétricas, consistentes en una fina capa selectiva depositada sobre un soporte poroso. Estas membranas permitían obtener mayores densidades de flujo de permeado con el mismo espesor que una membrana simétrica. Durante estos últimos treinta años la tecnología de membranas ha atraído numerosos esfuerzos de investigación. Los trabajos más recientes se han centrado en el desarrollo de nuevos materiales para la fabricación de membranas, en la modelización de los diversos procesos de separación por membranas y en la determinación de la influencia de numerosas variables en dichos procesos (ROMERO, 2010).

6. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La ultrafiltración cerámica para el tratamiento de aguas residuales no domésticas provenientes de una agroindustria, presenta mejores resultados que los obtenidos con un sistema de tratamiento convencional.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Aguas residuales no domésticas

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014). Las aguas residuales son aquellas que presentan un peligro o no cumplen con las adecuadas características de uso o consumo y deben ser desechadas, por tener un gran contenido de sustancias y/o microorganismos después de ser usadas por el hombre en cualquier actividad (DIAZ, 2017). Como sus características originales se han modificado y su calidad se ha visto comprometida, por lo cual requieren un tratamiento previo, antes de ser vertidas al alcantarillado o a una fuente natural de agua; o antes de ser reusadas. Las aguas residuales no domésticas son las que provienen de algún tipo de proceso realizado en fábricas y/o establecimientos industriales. Estas contienen aceites, ácidos, sólidos, microorganismos, productos y/o subproductos de origen animal, vegetal o mineral; su composición varía dependiendo el proceso industrial que se lleve a cabo (RIVAS, 1978).

7.2. Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son aquellas que tienen origen en alguna actividad humana residencial y comercial, que contienen desechos fisiológicos y deben ser vertidas o dispuestas de una manera apropiada (OEFA, 2014). Estas aguas principalmente son de origen residencial (desechos humanos, baños, cocina), generalmente son recolectadas por sistemas de alcantarillado, junto con aguas provenientes de otras actividades comerciales o industriales (RODRIGUEZ et al. 2004).

7.3. Industria de alimentos

Los vertimientos que generan las empresas o industrias manufactureras de agroalimentos

generalmente poseen una elevada carga orgánica biodegradable al igual que un alto contenido de sólidos suspendidos totales, y la escasa o ninguna presencia de contaminantes peligrosos o tóxicos. Por ello la cantidad de materia orgánica que aporta cada empresa según su sector es realmente variada y estrechamente relacionada con las materias primas utilizadas y el proceso productivo que se lleva a cabo.

7.4. Tratamiento de las aguas residuales

7.4.1. Generalidades

El tratamiento de aguas residuales también se conoce como proceso de depuración, se utiliza para remover contaminantes del agua y su objetivo es proteger la salud y el bienestar del medio ambiente. Casi siempre el agua logra descontaminarse por sus propios medios, pero esto se lleva a cabo en un periodo de tiempo muy largo; por lo cual la planta de tratamiento de aguas residuales sirve para acelerar este proceso. De esta manera el agua recupera su calidad para ser reutilizada en diferentes actividades. Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales se deben considerar diferentes características, como la disponibilidad de recursos humanos y económicos, la calidad del agua a tratar, el punto de descarga, el área disponible, entre otros (SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS, 2012).

7.4.2. Tratamientos físico-químicos (AGUILAR, 2002)

En este proceso predominan las fuerzas físicas para la eliminación de contaminantes, sumados con la utilización de productos químicos para el desarrollo de reacciones químicas, optimizan el proceso de descontaminación y exclusión de subproductos presentes en el agua que modifican su calidad. Es decir, las características y propiedades del agua se cambian mediante la aplicación de fuerzas físicas y químicas, este método fue el primero utilizado por el hombre para el tratamiento de aguas residuales, ya que se basa en la observación directa de fenómenos que ocurren en la naturaleza. Algunos procesos físicos que se llevan a cabo dentro del tratamiento son:

- Medición de caudal.
- Desbaste, donde se eliminan sólidos gruesos por medio de retención.
- Floculación: Las partículas se eliminan por sedimentación, por medio de su aumento de tamaño y aglomeración.
- Sedimentación: Eliminación de las partículas por medio de la gravedad.
- Flotación: eliminación de partículas con densidad menor a la del agua.
- Filtración: eliminación de los sólidos presentes en el agua después de pasar por el tratamiento físico o químico.

Por otro lado, algunos procesos químicos que se llevan a cabo dentro del tratamiento son:

- Desinfección
- Desinfección con luz ultravioleta
- Desinfección con dióxido de cloro.
- Desinfección con cloro.
- Desinfección con cloruro de bromo
- Desinfección con ozono
- Absorción: eliminación de la materia orgánica presente en el agua después de los tratamientos biológicos y químicos.
- Decloración: eliminación del cloro residual presente en el agua después de la cloración.

7.4.3. Tratamientos biológicos (ORTIZ, 2011)

El tratamiento biológico de aguas residuales se basa en la utilización de microorganismos vivos para la depuración de esta. Su principal objetivo es suprimir la presencia de materia orgánica, y en muchos otros casos, también la eliminación de fósforo y nitrógeno. La contaminación presente en el agua sirve de alimento a estos microorganismos dentro de un reactor biológico, en el cual se mantienen las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de la biocenosis. La eliminación de la contaminación del agua por parte de estos organismos se puede llevar a cabo a través de reacciones catabólicas que realizan la

transformación de moléculas complejas de materia orgánica en moléculas más simples, produciendo energía.

Los principales procesos dentro de un tratamiento biológico de aguas residuales son:

- **Aerobios:** en estos procesos los microorganismos necesitan del oxígeno para realizar la transformación de las moléculas; el crecimiento de estos microorganismos se puede realizar de manera suspendida o adherida.
- **Anaerobios:** los microorganismos realizan la descomposición de la materia orgánica sin la presencia de oxígeno. El crecimiento de los microorganismos se realiza de manera adherida, suspendida o híbrida.
- **Anóxicos:** en caso de ausencia de oxígeno y presencia de nitrógeno gaseoso, los microorganismos convierten los nitrógenos presentes en el agua. A esto se le llama también desnitrificación anóxica del agua.

7.4.4. Nuevos procesos y tecnologías

7.4.4.1. Micro y Ultrafiltración (TOTAGUA, 2014)

El principio de la ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana. Así pues, la depuración mediante ultrafiltración es un proceso en el cual el agua no se depura por un proceso químico ni biológico, sino por filtración a través de membranas, obteniendo aguas libres de microorganismos. Las ventajas más relevantes que se consiguen utilizando la tecnología de ultrafiltración son:

- Calidad de agua tratada.
- Estabilidad. Calidad del permeado estable con independencia de picos de carga.
- Desinfección. Efluente desinfectado tras atravesar una membrana de ultrafiltración.

- Compacidad. Mínimo requerimiento de espacio.
- Modularidad. Sistemas fácilmente ampliables sin necesidad de reformas ni ampliación de reactor biológico.
- Mantenimiento. Sistemas muy automatizados, mantenimiento mínimo.
- Eliminación de bulking y espumas de origen filamentoso.

7.4.4.2. Electrocoagulación (ARANGO, 2005)

En este proceso se utiliza la electricidad para eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. A través de placas metálicas puestas en paralelo se aplica electricidad al agua, generando que las partículas presentes por medio de las reacciones químicas se desestabilicen, produciendo partículas menos coloidales y de fácil remoción. De esta manera a través de un tratamiento secundario estas partículas sólidas que flotan y/o se precipitan son fácilmente eliminadas.

7.4.4.3. Ósmosis inversa (DSS, 2013)

En este proceso el agua pasa por una membrana semipermeable por medio de una alta presión, y se hace la separación del agua y sus contaminantes. Con este proceso se obtiene la filtración más fina de sustancias, rechazando la gran mayoría de sólidos disueltos y suspendidos, además de retener bacterias y virus de igual manera. Las sustancias contaminantes que quedan en la membrana son limpiadas por corrientes de la misma agua, por lo cual su auto limpieza es constante y eficaz.

7.4.4.4. Nano filtración.

Este proceso maneja el mismo fundamento del agua residual dentro de un sistema de osmosis inversa, su principal diferencia es el grado de retención de las membranas.

7.4.4.5. Luz ultravioleta (SOLSONA, MENDEZ. 2008)

Este procedimiento se usa como alternativa en el uso de químicos, se lleva a cabo para realizar la desinfección del agua residual. Este procedimiento produce una desinfección efectiva en el agua sin generar subproductos problemáticos dentro del tratamiento. Este sistema transfiere energía electromagnética a los microorganismos presentes en el agua, modifica su ADN y causa que estos pierdan su destreza para reproducirse.

7.5. Plantas de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales se da por la necesidad de eliminar de esta, todas las sustancias que puedan alterar la salud humana o los ecosistemas. La manera más eficiente de realizarlo es a través de una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, que es un sistema compuesto de diferentes procesos que retira los contaminantes presentes en el agua residual procedente de cualquier tipo de actividad doméstica y/o industrial; esto con el fin de realizar una depuración y devolver la calidad específica del agua para poder ser vertida a los cuerpos receptores sin causar ningún tipo de impacto negativo sobre el medio ambiente y el ser humano.

7.5.1. Situación de las PTAR en Colombia (GONZALES, 2011)

El vertimiento de aguas residuales no domésticas sin tratar, se ha convertido en un problema ambiental creciente a través de los años, si tenemos en cuenta el incremento de industrias en el país, la mayoría de ellas en centros urbanos debido a la situación socioeconómica del país. Esta situación tiene directa influencia sobre el aumento de los vertimientos de agua de tipo industrial, deteriorando cada vez más la calidad del recurso. Las evaluaciones reportan que los centros urbanos en Colombia captan alrededor de los 170 m³/s, de agua de los cuales se pierden entre 40% y 50 %, regresando al ambiente en forma de aguas residuales entre un 70% a 80% de las aguas consumidas. Se estima que en Colombia se descargan diariamente cerca de 700 toneladas de carga orgánica del sector industrial y doméstico a los cuerpos de agua. Esta situación no permite que el recurso esté disponible en muchas regiones del país, para consumo humano. La sobresaturación de diferentes sustancias y microorganismos desequilibra los ecosistemas acuáticos, lo que

limita la vida y el desarrollo de estas comunidades. A partir de este crecimiento industrial y demográfico, se ha visto el aumento de las aguas residuales domésticas y no domésticas.

7.6. Que se debe tener en cuenta para escoger las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales no domésticas. (NOYOLA, MORGAN, GüERECA, 2009)

Al momento de tomar una decisión sobre cual tecnología o sistema escoger para tratar el agua residual no doméstica, se deben tener en cuenta diversos aspectos económicos, ambientales, técnicos y sociales. Cuando una tecnología ofrezca el menor uso de insumos y energía eléctrica, y que además no presente impacto negativo alguno sobre el medio ambiente, se puede decir que esta tecnología es sustentable. A continuación se enumeran algunos aspectos a tener en cuenta para seleccionar la tecnología adecuada para el tratamiento de aguas residuales.

7.6.1. Tipo de aguas residuales

El proceso que genera las aguas residuales, tiene directa relación con la facilidad o sencillez del tratamiento de las mismas. Las aguas residuales domésticas son más homogéneas y fáciles de tratar que las aguas residuales provenientes de procesos industriales, productivos o de servicios. Esto permite que a la hora de elegir un sistema o tecnología para realizar el tratamiento al agua residual doméstica no sea indispensable llevar a cabo una caracterización fisicoquímica exhaustiva y permite que escoger la tecnología se base solo en el número de habitantes de una población. Por otro lado para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales no domésticas, se deben realizar muestreos compuestos en el laboratorio que permitan definir el tipo de contaminantes químicos, físico y biológicos y su concentración en el agua. Una vez se lleva a cabo la caracterización, se debe definir el objetivo de cumplimiento legal de los parámetros y el reúso o disposición final del agua tratada, para fijar los objetivos de remoción de contaminantes dentro del tratamiento.

7.6.2. Uso o disposición del agua tratada

Se debe definir el reúso o disposición final del agua tratada para definir las necesidades del tratamiento. De esta manera se puede definir el objetivo de reúso para el agua tratada, y darle un aprovechamiento a los subproductos y/o residuos obtenidos dentro del tratamiento, como lodos o biogás. Además, la calidad del agua debe estar también definida por la normatividad de descarga que aplique al proceso o punto de descarga. Definir estos aspectos es primordial para la configuración y definición del procesos o sistema de tratamiento del agua residual.

7.6.3. Oferta tecnológica

Al conocer las tecnologías disponibles para el tratamiento y sus variaciones, se puede justificar la eficacia y requerimientos de insumos y energía eléctrica dentro del sistema. Aunque la oferta de tecnologías para el tratamiento de agua residual puede llegar a parecer amplia, en realidad no lo es, y los avances que se llevan a cabo siempre van a paso lento. De esta manera es indispensable tener claros los requerimientos técnicos y económicos de cada tecnología, para tomar la decisión más adecuada.

7.6.4. Costos de inversión, operación y mantenimiento

El costo de inversión siempre es el factor monetario inicial más importante a la hora de escoger una tecnología para el tratamiento de aguas residuales; sin embargo, este debe estar siempre relacionado con los costos a largo plazo de operación y mantenimiento de la tecnología y/o sistema. Por esta razón no solo se debe favorecer la opción que tenga la inversión inicial más baja, sino aquella que tenga más bajos costos de operación y mantenimiento, para que a lo largo del tiempo este aspecto no sea un impedimento para dar continuidad al tratamiento del agua.

7.6.5. Área disponible

El área requerida para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales es un factor fundamental a la hora de elegir la tecnología para el proceso. La poca disponibilidad de área para el proceso puede ser un limitante para la instalación del tratamiento.

7.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS ACTUAL

7.7.1. OPERACIÓN

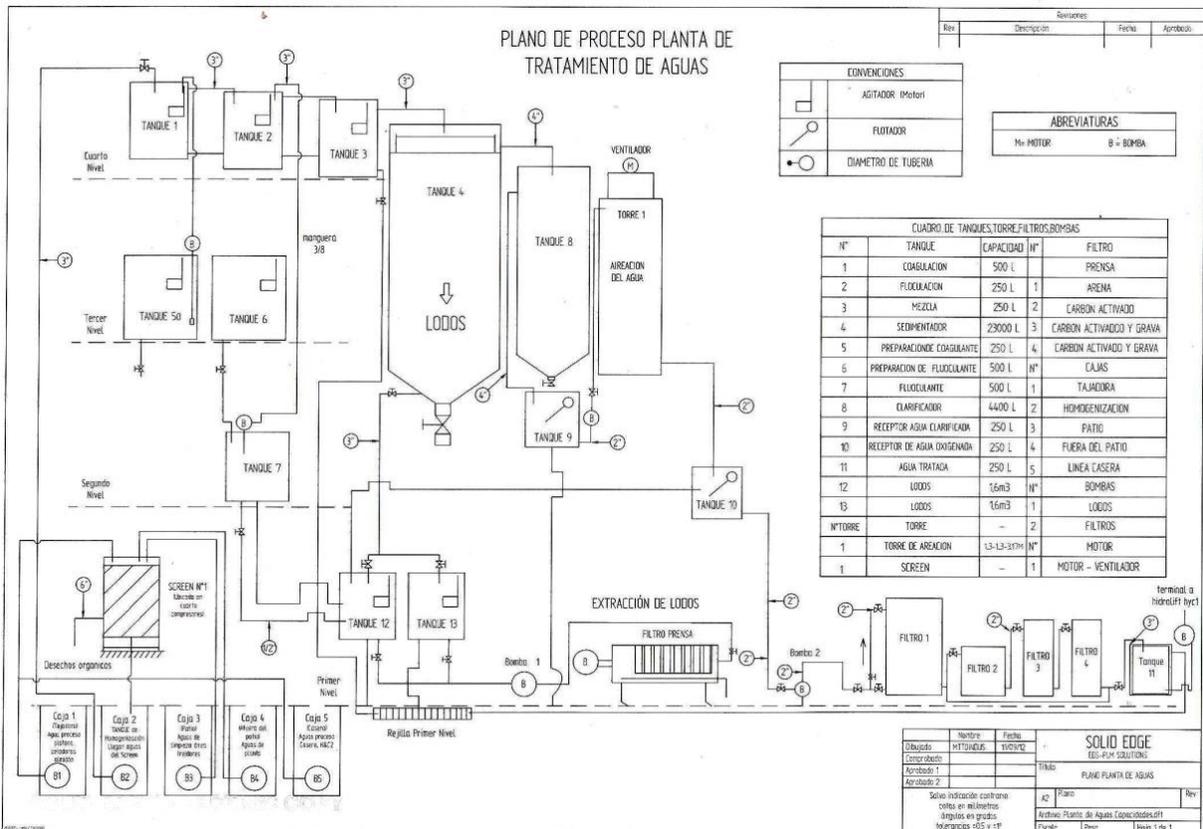


Ilustración 1 Plano de proceso PTAR. Fuente: Agroindustria, 2015.

La planta de tratamiento de la agroindustria consta de nueve secciones:

- **Desbaste Grueso:** Rejas que retienen sólidos grandes enteros o partidos.
- **Desbaste Fino:** Screen estático donde se retiene la mayor parte de cáscaras y cisco.
- **Tanque de homogenización:** Tanque levemente aireado donde se permite que el agua tome características constantes y a la vez pre-sedimente.
- **Reacción con los Químicos:** Consta de dos tanques que hacen tratamiento de coagulación y floculación.
- **Tanque Sedimentador:** Tanque con forma cónica donde el lodo baja al fondo del sedimentador y el clarificado asciende por la parte cilíndrica.
- **Torre de Aireación:** La aireación se realiza con un ventilador en polipropileno de 30”.
- **Filtración:** El sistema posee un filtro de arena-antracita y tres de carbón activado.
- **Ajuste y Deshidratación de Lodos:** Consta de un tanque en donde se compactan los lodos y luego se dirigen a un filtro el cual retiene los lodos formando tortas y drenando el clarificado.
- **Preparación y Dosificación de Químicos:** Consta de dos tanques donde se preparan los químicos: coagulante y polímero (cumple la función floculante y deshidratante).

7.7.2. UNIDADES Y ACCESORIOS

A continuación se describen las unidades y accesorios que componen la planta de tratamiento de aguas residuales de la agroindustria:

- **Screen Estático:** De 18” de ancho, 80” de radio, con malla de acero inoxidable.



Ilustración 2 Screen estático. Fuente: Protón, 2014

- Tanque de Homogenización: Subterráneo con capacidad de 131 m³
- Tanque de Recepción de Agua Cruda y Coagulación: Volumen de 500 litros. Diámetro de 0,9m y una altura de 0,9m; con un agitador de doble turbina. Aquí se agrega el floculante.
- Tanque de Floculación: Volumen de 250 Litros. Diámetro de 0,73m y una altura de 0,78m; con un agitador de doble turbina.
- Tanque de Mezcla: Volumen de 250 Litros. Diámetro de 0,73m y una altura de 0,78m; con un agitador de paletas.
- Sedimentador: Con forma tronco cónica de 2,5m de diámetro y 2,0m de altura en la sección cilíndrica, con fondo cónico a 60°.



Ilustración 3 Sedimentador. Fuente: Protón, 2014

- Tanque amortiguador de Clarificado para Aireación: Volumen de 250 Litros. Diámetro de 0,73m y una altura de 0,78m.

- Torre de Aireación: Con un ventilador de polipropileno de 30". La torre tiene 1,3m de largo; 1,3m de ancho y 3,17m de altura.
- Tanque amortiguador de recepción de Clarificado aireado: Volumen de 250 Litros. Diámetro de 0,73m y una altura de 0,78m.
- Filtro de Arena-Antracita: Con 1,24m de diámetro y 2,0m de altura. Tiene el siguiente lecho filtrante desde el fondo: 30cm de grava, 30cm de arena y 60cm de antracita.



Ilustración 4 filtro de arena antracita. Fuente: Proton, 2014

- Filtros de Carbón Activado: Tres filtros de diámetro 0,4m y altura 1,7m. El lecho de cada filtro es 50cm de carbón activado soportado sobre 30cm de grava.
- Tanque de Agua Tratada: Volumen de 250 Litros. Diámetro de 0,73m y una altura de 0,78m. De este tanque se toma una parte del agua para almacenarla y retornarla a producción.
- Sistema de Preparación y Dosificación de Coagulante: Un tanque para la preparación de coagulante con 250 litros de capacidad, 0,73m de diámetro y 0,78m de altura; con agitador.
- Sistema de Preparación y Dosificación de Floculante: Un tanque para la preparación de floculante con 500 litros de capacidad, 0,9m de diámetro y 0,9m de altura; con agitador.
- Tanques de Recepción y Ajuste de Lodos: Dos tanques de 1,20m de diámetro y 1,20m de altura. Cuentan con sistema de dosificación de polímero. Cada uno cuenta con salidas inferiores de lodos y drenajes laterales de clarificado.

- Filtro Prensa: Cuenta con 34 placas, cada una tiene drenaje inferior a una bandeja que luego conduce el clarificado al alcantarillado. Las placas están unidas por lonas en medio de las cuales se forman tortas de lodos.



Ilustración 5 Filtro prensa. Fuente: Protón, 2014

- Tablero Electrónico: Comanda la operación de cada uno de los motores de todas las unidades.

7.7.3. MANTENIMIENTO

UNIDAD / ACCESORIO	PROCEDIMIENTO	FRECUENCIA
Bombas sumergibles de trasiego	Los rotores de estas bombas deben ser cambiados dado el desgaste por abrasión.	Una vez cada año y medio
Foso de succión de la bomba de trasiego	Se debe limpiar para retirar los pedazos de papa y costal.	Una vez al día
Tanque de Homogenización	Limpiar para evitar saturación de tierra en el fondo del mismo.	Una vez por mes
Bombas de dosificación de diafragma y pistón	Los filtros de estas bombas deben ser limpiados con cepillo de cerda suave.	Una vez cada semana
	Cambiar los diafragmas de estas bombas.	Una vez cada dos años
	Cambiar el volante excéntrico de estas bombas.	Una vez cada tres años

Tornillos sujetadores de los agitadores	Ajustar	Una vez por mes
Sedimentador	Lavado, desocupando todo y luego con una manguera con agua a presión enjuagar el relleno por la parte superior del sedimentador.	Una vez por mes
Tablero Eléctrico	Chequear el apriete de los tornillos que sujetan los cables para evitar cortos circuitos	Una vez por semestre
Filtros de Arena y Carbón Activado	Abrir y sacar los lechos, lavarlos con buena cantidad de agua y volverlos a cargar a los equipos.	Una vez cada dos meses
	Cambiar el lecho de carbón activado	Una vez cada año y medio
Lonas del Filtro Prensa	Lavarlas con agua, jabón y un poco de soda cáustica con cepillo de cerda suave.	Una vez por semana
Estructuras Metálicas	Pintar para mantener el color	Una vez cada año y medio
Tanques de Fibra de Vidrio	Pintar exteriormente para proteger la fibra de vidrio.	Una vez cada tres años.

Tabla 1 Frecuencia de mantenimientos en la PTAR. Fuente: Propia

7.8. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE FILTRACIÓN CERÁMICA

7.8.1. Información básica (PURIFICS, 2016)

CUF es un proceso de Ultra Filtración de Cerámica de quinta generación con un rendimiento comprobado y representando un avance significativo en el proceso de filtración por membrana.

CUF no tiene pérdida de permeado, y asegura filtración absoluta durante la vida útil del

sistema, más de 25 años. Esta tecnología tiene la capacidad de lograr cero descarga líquida (ZLD), el agua que entra es igual a la que sale.

Los sistemas CUF presentan una huella de carbono considerablemente menor, con una complejidad reducida en comparación a otros procesos de filtración por membrana o poliméricos. Los requerimientos de baja presión para llevar a cabo los procesos del sistema CUF, contribuyen de igual manera a una operación y costo de capital representando una disminución aproximadamente del 50 % en la estructura de costos de capital.



Ilustración 6 Purifics CUF M16. Fuente: Purifics, 2016.

CUF es una membrana y un proceso diferente a los sistemas de cerámica o de membrana disponibles en el mercado actualmente. CUF es un sistema patentado de membrana de cerámica y un proceso tecnológico, el cual ha sido desarrollado y optimizado durante más de 20 años de experiencia en diferentes aplicaciones.

7.8.2. Funcionamiento

El agua cruda es filtrada para retener grandes partículas o sólidos, antes de entrar al tanque de permeado a un caudal determinado. El agua es bombeada al módulo de la membrana, en un arreglo a contraflujo; donde nominalmente el 50% del flujo es filtrado y sale como permeado. El balance del flujo regresa al tanque con el concentrado filtrado. La válvula en la parte superior del módulo de membrana regula la presión de transmembra (TMP) para mantener el nivel del tanque en su punto medio para asegurar que el agua entrante es igual a la que sale. Consecuentemente, la TMP tiene la posibilidad de operar en un rango, para asegurar que los requerimientos de la tasa de flujo sean suficientes. Con el tiempo, la concentración de material filtrado aumenta. (GARCIA, 2009)



Ilustración 7 Efluente, concentrado y permeado del equipo. Fuente: Purifics, 2016

Cuando se acumula suficiente material para impactar el nivel de la TMP, se genera una purga o de forma opcional el concentrado es enviado al sistema de recuperación de lodo, donde se remueve el agua del material concentrado, generando un lodo húmedo; alcanzando cero descargas líquidas. El módulo de membrana frecuentemente se enfrenta a un choque dinámico para auto limpiar la membrana, evitando el incrustamiento.

En algunas aplicaciones es posible inyectar oxígeno disuelto o un coagulante, con el fin de oxidar y aglomerar contaminantes disueltos. Cuando es necesario remover materia orgánica para retirar color y la potencial formación de trihalometanos y ácidos haloacéticos, es posible agregar una cantidad mínima de coagulante al agua cruda en la entrada del tanque entrar del sistema hidráulico HSC, donde la coagulación toma lugar, como paso previo a la filtración. No es necesario contar con clarificadores como pretratamiento, únicamente la plataforma CUF.



Ilustración 8 Flujo de proceso. Fuente: Purifics, 2016.

7.8.3. Ventajas y desventajas

Entre las principales ventajas del sistema Purifics CUF M16 se destacan:

- No tiene pérdidas asociadas a permeado (agua filtrada), lo que se traduce en un funcionamiento continuo sin desperdiciar el recurso hídrico.
- Sistema de operación continua, 100% automático. Esto garantiza continuidad en el proceso de tratamiento, minimizando el costo operacional (No se requiere personal especializado para el seguimiento y verificación de la calidad del agua de entrada al sistema).
- Tecnología auto lavable de flujo continuo. Esto se traduce en una inigualable eficiencia operacional ya que la planta podrá operar 24/7 – 365 días del año.
- Sistema concebido bajo la filosofía de plug & play. Esto elimina completamente los costos de instalación y puesta en marcha del sistema considerando que No requiere: Tanques de Clarificación, Lagunas de Estabilización, Obras Civiles ni Recambio de Membranas.
- Esta tecnología no requiere ningún pretratamiento del agua, sin importar la

condición de entrada de la fuente hídrica.

- Completa eliminación de químicos en procesos de oxidación de Metales como Hierro, Manganeso y Magnesio (comúnmente encontrados en aguas subterráneas), sobrepasando los estándares normativos para procesos de tratamiento de agua potable. Para casos puntuales donde se requiera una remoción de metales en condiciones de agua de pH bajo, será pertinente una dosificación de soda cáustica a nivel de gramos/m³, para mejorar la eficiencia de tratamiento
- No tiene pérdidas asociadas a permeado (agua filtrada), lo que se traduce en un funcionamiento continuo sin desperdiciar el recurso hídrico. Ideal para zonas donde la dinámica hídrica es limitada y/o variable.
- El sistema está construido 100% en acero inoxidable, con acabado sanitario de alta gama, que le confiere las más rigurosas certificaciones NSF para agua potable.
- Esta tecnología es única en el mundo, ya que no requiere retrolavados como los sistemas de filtración convencional: Ósmosis inversa, micro filtración, filtro de cartucho, filtro multimedia, etc. Dicho de otra forma, se garantiza una óptima calidad de agua, sin la necesidad de utilizar soluciones desinfectantes que requieren las plantas convencionales de tratamiento. Lo anterior, permite eliminar al 100% riesgos por contaminación cruzada, reduciendo costos operacionales y garantizando una mayor eficiencia energética que cualquier planta convencional del mercado. Consumo energético entre 0,1 y 0,2 KW por metro cúbico de agua tratada.
- Directamente, esta planta reduce el consumo de cloro, ya que no solo clarifica el agua, también filtra de manera avanzada a nivel nanométrico todo tipo de microbiología patógena (Tamaño de Poro 25 nm en dinámico).
- El corazón del sistema (membrana hecha en Carburo de Silicio de 6ta generación) cuenta con una garantía de 10 años
- El sistema es completamente compacto, reduciendo la huella de carbono y maximizando el potencial de aplicaciones en el tratamiento de agua, en cualquier tipo de fuente de captación y zona.

La principal desventaja de la utilización de esta tecnología para el tratamiento de aguas residuales no domésticas, es la falta de confianza que genera en las compañías, por lo que

aún no se encuentra ninguna empresa en el país que la tenga implementada dentro de sus procesos, lo que genera duda y escepticismo en cuanto a su uso.

7.9. NORMATIVIDAD

En un principio todas las aguas provenientes de algún proceso industrial o actividad humana se vertían a los cauces de las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento, y lamentablemente ya que la mayoría de las empresas Colombianas no muestran un interés en este tipo de problemas ambientales, a nivel normativo se implementaron medidas que permiten reducir la contaminación y disminuir los vertimientos de aguas residuales sin tratar. La norma de Vertimientos Puntuales a Cuerpos de Aguas Superficiales y a los Sistemas de Alcantarillado Público, que busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de agua naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país, es la Resolución 0631 de 2015. (MADS, 2015) Esta resolución permite un mayor control de las sustancias contaminantes que son vertidas a las fuentes hídricas por 73 actividades productivas divididas en 8 sectores económicos del país. Esta es de obligatorio cumplimiento para todos aquellos que lleven a cabo una actividad industrial, comercial o de servicio, y en la cual como consecuencia de sus procesos generen aguas residuales que son vertidas al alcantarillado o cuerpo de agua superficial.

A continuación se presenta una síntesis de la normativa ambiental vigente:

- Constitución Política de Colombia: Consagra derechos y obligaciones para proteger los recursos y garantizar un medio ambiente sano. Asigna competencias a diferentes entes estatales para adelantar las tareas de administración, planeación, prevención y defensa del medio ambiente.
- Decreto - Ley 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental. Entre otras competencias, asigna

responsabilidades para ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones, concesiones y uso del agua, tasas, incentivos y pagos, medición de usos, uso eficiente del agua y demás herramientas para la administración, protección, conservación y uso sostenible de los recursos naturales renovables.

- Ley 09 de 1979: Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.
- Ley 99 de 1993: Sistema Nacional Ambiental SINA: Crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. Define el marco legal y asigna funciones en relación con la formulación de la Política Nacional Ambiental, ordenamiento territorial y manejo de cuencas, obras de infraestructura, control de contaminación, definición y aplicación de tasas de uso del agua y retributivas, licencias ambientales, concesiones de agua y permisos de vertimiento, control, seguimiento y sanciones, manejo de conflictos de competencias, cuantificación del recurso hídrico, seguimiento de la calidad del recurso hídrico, conservación de cuencas, instrumentos económicos y de financiación.
- Decreto 1594 de 1984: Aunque el Decreto en la actualidad es reemplazado en su mayor parte por el Decreto 3930 de 2010, aún están vigentes los artículos relacionados con los Usos y Criterios de Calidad del agua, así como las Normas de Vertimientos para usuarios que viertan al suelo o a un cuerpo hídrico.
- Decreto 3100 de 2003 y Decreto 3440 de 2004: Modifican el instrumento económico de tasas retributivas por vertimientos puntuales. Crea los PSMV (hacen las veces de planes de cumplimiento) y Reactiva los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH del 1594/84, exigiendo establecer Objetivos de Calidad en un Horizonte de tiempo.

- Decreto 1575 de 2007: Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
- Decreto 3930 de 2010: Establece que todo usuario que realice descargas de aguas residuales al suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas marinas deberá tramitar y legalizar el Permiso de Vertimientos o Planes de Cumplimiento. Está pendiente por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS la elaboración de los nuevos criterios de calidad del agua para los usos asignados y las normas de vertimiento, para derogar en su totalidad el Decreto 1594 de 1984.
- Decreto 4728 de 2010: Modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010 principalmente en lo que respecta a la ampliación de los plazos estipulados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la elaboración y entrega de los criterios de calidad, normas de vertimientos y demás compromisos adquiridos en la Norma.
- Decreto 2667 de 2012: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.
- Resolución 1207 de 2014: por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
- Decreto 1076 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Resolución 631 de 2015: Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Esta resolución modifica el sistema de medición de los factores contaminantes que pueden presentarse en las aguas residuales; ahora se definen unos límites máximos de las concentraciones de cada uno de los parámetros contaminantes, clasificándolos por las diversas actividades económicas desarrolladas por las empresas, lo cual vuelve más exigente los requerimientos para obtener los permisos de vertimientos.
- Decreto 050 de 2018: Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en

relación con los Consejo Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones. Dentro de sus modificaciones están la composición orgánica de los CARMAC y su funcionamiento interno administrativo, se replantean y actualizan diferentes conceptos ambientales como lo son: “aguas continentales”, “aguas marinas”, “carga contaminante”, entre otros. Además, plantea una nueva forma de organizar los “usos de los cuerpos de agua continentales superficiales y marinos”, haciendo hincapié en la regulación de la actividad correspondiente al vertimiento de sustancias contaminantes.

8. METODOLOGÍA

8.1. Ubicación del área de estudio

La prueba piloto que se realizó dentro del proyecto de investigación se llevó a cabo dentro de las instalaciones de una gran compañía productora de snacks, en el barrio Fontibón de la ciudad de Bogotá, Cundinamarca. Los análisis de laboratorio definitivos se realizaron por parte del laboratorio ANTEK, certificado por el IDEAM, aunque durante la prueba piloto se realizaron muestreos puntuales dentro del laboratorio de la compañía para tener un análisis exacto sobre la influencia de la tecnología sobre el tratamiento del agua residual.

8.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativo, ya que a través de la recolección y el análisis de los datos obtenidos en la prueba piloto, se da respuesta a la pregunta de investigación y se corrobora la hipótesis propuesta. A través de mediciones numéricas y el uso de la estadística se estableció con exactitud el comportamiento y eficacia de la nueva tecnología para el tratamiento de aguas residuales no domésticas.

8.3. Período de ejecución

La etapa de la prueba piloto se llevó a cabo en 45 días, en donde se incluyeron los análisis de laboratorio por parte propia y por parte del laboratorio certificado. El sistema de tratamiento que se evaluó en el tratamiento es de fácil instalación y transporte, ocupa un área de $3 \times 2 \text{ m}^2$ y tiene capacidad de tratar hasta 40 l/s de agua residual. Este sistema se instaló en la compañía seleccionada para la realización de la prueba, y estuvo en pleno funcionamiento durante 45 días seguidos durante los tres turnos de producción de la empresa.

8.4. Instrumento

Para llevar a cabo la selección de la compañía donde se realizó la prueba piloto y la obtención de las caracterizaciones fisicoquímicas de sus aguas residuales, se realizó un acercamiento al personal de gestión ambiental de la compañía, y la información recolectada permitió analizar si las condiciones de los procesos de producción y de su sistema de tratamiento eran aptos para realizar la investigación y la prueba piloto.

8.5. Materiales y Métodos

El equipo experimental estuvo compuesto por:

- Ultrafiltración Cerámica, CUF. Modelo M16, Purifics®. (Anexo 1)
- Bomba dosificadora de diafragma. Modelo DMB 1.0-10 B-PVC/V/C-X-H133U-K, Grundfos.

Los métodos analíticos a utilizar fueron:

- Pitwell, L.R. Standard COD. Chem. Brit. 19.907.
- Arenas, D.L. (30 de Agosto de 2012). Validación de los Métodos de Análisis DQO Reflujo Cerrado, Sulfatos y Nitratos, en Aguas, en el Laboratorio de Análisis Químico de Aguas de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. 16.83.

La determinación de la DQO se realizó por medio del método de reflujo cerrado/volumétrico para agua residual. Los reactivos involucrados se listan a continuación.

- A. Solución estándar de digestión, Dicromato de Potasio, 0.01667 M.
- B. Ácido nítrico
- C. Solución indicadora de Ferroína
- D. Titulador estándar, Sulfato Ferroso de Amonio (FAS), 0.10 M
- E. Ácido Sulfámico
- F. Biftalato de Potasio estándar

La ecuación que se utilizó para el cálculo de la demanda química de oxígeno se ilustra a continuación.

$$\text{COD en mg} \frac{\text{O}_2}{\text{L}} = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{mL muestra}}$$

Donde:

A = mL de FAS usados en el blanco

B = mL de FAS usados en la muestra

M = Molaridad de FAS

8000 = peso miliequivalente de Oxígeno × 1000mL/L

La fase de experimentación mencionada anteriormente contempló cuatro (4) escenarios de operación diferentes, cuyas condiciones específicas se listan a continuación.

- (Blanco). Ausencia de agentes químicos. Exposición del agua residual (AR) al proceso de ultrafiltración estándar.
- Adición de Policloruro de Aluminio, (PAC – $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$).
- Adición de Policloruro de Aluminio y adición de Oxígeno disuelto a bajos caudales (20 lpm).
- Adición de Policloruro de Aluminio y adición de Oxígeno disuelto a altos caudales (50 lpm).
- Adición de Policloruro de Aluminio, adición de Oxígeno disuelto y adición de Nalcolyte® 8105 (Coagulante líquido, que ayuda a mejorar la calidad del efluente)

8.5.1. Recopilación de datos

La primera fase del proyecto de investigación permitió realizar el análisis de las características fisicoquímicas del agua residual no doméstica de la compañía manufacturera de snacks, permitió analizar sus procesos productivos y sus sistemas de tratamiento de agua residual existentes.



Ilustración 9 Toma de muestras del efluente de la planta

Se tomaron varias muestras, y se midieron algunos parámetros *in situ*.



Ilustración 10 Medición de Sólidos sedimentables



Ilustración 11 Medición de pH

Las muestras realizadas al efluente del sistema de tratamiento existente, se transportaban en neveras de icopor garantizando su conservación, y se comenzaban a analizar el mismo día para que no hubiera ninguna alteración en los resultados.

8.6. Prueba piloto

Esta segunda fase, fue primordial dentro del proyecto de investigación, ya que brindó las variables y datos de análisis para evaluar el funcionamiento y eficacia de la tecnología en el tratamiento de aguas residuales no domésticas, en aguas residuales provenientes de un proceso productivo con muchas variables, lo que permitió definir si la tecnología es útil y eficaz para depurar aguas provenientes de la agroindustria, comparando con un sistema convencional.



Ilustración 12 Afluente y efluente del sistema. Fuente: Propia 2017

8.6.1. Instalación del sistema

El equipo se transportó en un vehículo tipo plancha, y se descargó en la empresa escogida para realizar la prueba, por medio de un montacargas. Dentro de las instalaciones de la compañía, se escogió un área estratégica, contigua a la planta de aguas residuales existente; se realizó un cerramiento y se techó para evitar algún tipo de incidente con el equipo.

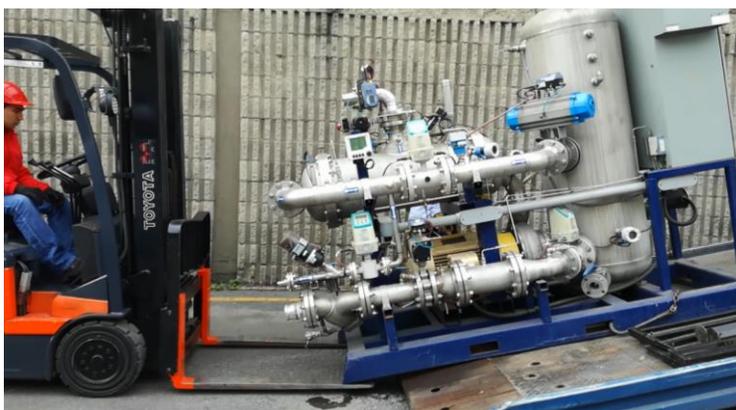


Ilustración 13 Instalación del sistema.

8.6.2. Fase de muestreo

Dentro de esta fase, se llevaron a cabo los muestreos puntuales y compuestos del agua ya tratada por la nueva tecnología. Al inicio de la prueba piloto, se tomaron varias muestras puntuales del agua tratada con el fin de definir si era necesario el uso de insumos químicos dentro del tratamiento para obtener mejores resultados o si definitivamente el uso de estos no era necesario. Además, se realizaron varios muestreos compuestos del agua tratada, para obtener datos concretos de remoción de contaminantes y realizar la comparación con el sistema de tratamiento existente dentro de la compañía y con la normatividad ambiental vigente sobre límites máximos permisibles de vertimiento de aguas residuales no domésticas al alcantarillado municipal.



Ilustración 14 Muestra preliminar

8.6.3. Sistematización de la información y análisis de datos

Con los datos obtenidos, se pretendió determinar desde la base de los parámetros obtenidos

si la alternativa propuesta era adecuada para tratar las aguas residuales, realizando para ello el ordenamiento y análisis de la información comparando con los límites máximos permisibles de la Resolución 631 de 2015. Esta información junto con los datos recolectados de consumo de energía eléctrica e insumos químicos, serán la base para identificar la efectividad del equipo para el tratamiento de las aguas residuales relacionando su remoción de contaminantes y su mínimo impacto en el medio ambiente.

9. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se investigaron costos de mantenimientos, manos de obra, insumos y consumo eléctrico.

CONSUMO DE ENERGÍA	
	PTAR ACTUAL
Kwh/Día	360
Kwh/Mes	9360
Kwh/Año	112320
Costo Kwh	\$308,78
Costo Mensual	\$2.890.180,80
Costo Anual	\$34.682.169,60

Tabla 2 Consumo de energía de la PTAR actual. Fuente: Agroindustria, 2017.

OPERACIÓN INTERNA				
	Valor unitario	Cantidad	Mensual	Anual
Ingeniero	\$2.450.000	1	\$2.450.000	\$29.400.000
Operario	\$896.000	4	\$3.584.000	\$43.008.000
Mantenimientos	\$3.408.500	1	\$3.408.500	\$40.902.000
Químicos	\$13.462.810	1	\$13.462.810	\$161.553.720
Muestreos	\$1.500.000	4	\$6.000.000	\$72.000.000
Muestreo laboratorio certificado	\$2.500.000	1	\$2.500.000	\$30.000.000
TOTAL			\$31.405.310	\$376.863.720

Tabla 3 Costos de operación de la PTAR actual. Fuente: Agroindustria, 2017.

PTAR ACTUAL				
Químico	\$/Kg	Kg/Mes	Mensual	Anual
Coagulante	\$2.174	331	\$719.594	\$8.635.128
Floculante	\$12.900	6,5	\$83.850	\$1.006.200
Soda	\$1.275	40	\$51.000	\$612.000
Hipoclorito	\$1.160	60	\$69.600	\$835.200
Ácido nítrico	\$2.500	0	\$0	\$0
Cal	\$460	0	\$0	\$0
TOTAL			\$924.044	\$11.088.528

Tabla 4 Consumo de químicos actual. Fuente: Agroindustria, 2017.

Se recopiló información sobre el consumo de energía, consumo de químicos y mano de obra del equipo con el cual se realizó la prueba piloto.

CONSUMO DE ENERGÍA	
	PURIFIC M16
Kwh/Día	68,44
Kwh/Mes	2053,17
Kwh/Año	24638
Costo Kwh	\$308,78
Costo Mensual	\$633.976,80
Costo Anual	\$7.607.721,6

Tabla 5 Consumo de energía del PURIFICS M16. Fuente: Propia.

OPERACIÓN PURIFIC M16				
	Valor unitario	Cantidad	Mensual	Anual
Ingeniero	\$2.450.000	1	\$2.450.000	\$29.400.000
Operario	\$896.000	1	\$896.000	\$10.752.000
Mantenimientos	\$4.332.686	1	\$4.332.686	\$51.992.232
Químicos	\$9.915	1	\$9.915	\$118.980
Muestreos	\$1.500.000	4	\$6.000.000	\$72.000.000
Muestreo lab certificado	\$2.500.000	1	\$2.500.000	\$30.000.000
TOTAL			\$16.188.601	\$194.263.212

Tabla 6 Costos de operación del PURIFICS M16. Fuente: Propia.

INSUMOS QUÍMICOS PURIFIC M16				
Químico	\$/Kg	Kg/Mes	Mensual	Anual
Coagulante	\$1.160	20	\$23.200	\$278.400
Nalcolyte	\$12.900	4	\$51.600	\$619.200
Soda	\$1.275	10	\$12.750	\$153.000
Hipoclorito	\$1.160	10	\$11.600	\$139.200
TOTAL			\$99.150	\$1.189.800

Tabla 7 Consumo de químicos del PURIFICS M16. Fuente: Propia.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas al agua tratada por el equipo purifics M16 y el sistema de tratamiento de aguas residuales existente en la compañía, durante el periodo de mayo a agosto de 2017.

9.1. Variables de la muestra

Se recopilaron datos sobre las pruebas realizadas con diferentes escenarios, entre los cuales se analizó pH, DBO, DQO, SST y grasas.

El tamaño de la muestra fue de 140 análisis, 134 muestras puntuales del sistema de tratamiento actual en la compañía y 6 muestreos compuestos del tratamiento realizado por el equipo PURIFICS M16.

En la tabla 8 se observan los 134 análisis puntuales de DQO realizados al agua cruda y tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas existente en la compañía.

MUESTRA	DQO (mg/l)		% REMOCION	PROMEDIO % REMOCION	CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD (Resolución 631/2015)	% CUMPLIMIENTO
	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA				
1	14807	998	93,26%	92,32%	NO	11,94%
2	12343	925	92,51%		NO	
3	13243	942	92,89%		NO	
4	11372	894	92,14%		SI	
5	12978	993	92,35%		NO	
6	11765	884	92,49%		SI	
7	10431	912	91,26%		NO	
8	13566	960	92,92%		NO	
9	11378	978	91,40%		NO	
10	12343	959	92,23%		NO	
11	13079	882	93,26%		SI	
12	12932	959	92,58%		NO	
13	10542	946	91,03%		NO	
14	9066	934	89,70%		NO	
15	11321	946	91,64%		NO	
16	14529	976	93,28%		NO	
17	12034	919	92,36%		NO	
18	11345	978	91,38%		NO	
19	12076	910	92,46%		NO	
20	12675	889	92,99%		SI	
21	11007	982	91,08%		NO	
22	10453	897	91,42%		SI	
23	12087	996	91,76%		NO	

24	10932	914	91,64%
25	11212	931	91,70%
26	13773	998	92,75%
27	16545	965	94,17%
28	15768	885	94,39%
29	14260	971	93,19%
30	11098	884	92,03%
31	10024	951	90,51%
32	12657	901	92,88%
33	12341	986	92,01%
34	14530	939	93,54%
35	11378	949	91,66%
36	12343	890	92,79%
37	13079	921	92,96%
38	12932	899	93,05%
39	12343	940	92,38%
40	13243	990	92,52%
41	11430	887	92,24%
42	10932	905	91,72%
43	11212	915	91,84%
44	13773	974	92,93%
45	16545	880	94,68%
46	15768	918	94,18%
47	14260	968	93,21%
48	11098	888	92,00%
49	10024	895	91,07%
50	12657	884	93,02%
51	11372	991	91,29%
52	12978	885	93,18%
53	11765	900	92,35%
54	10431	980	90,60%
55	13566	920	93,22%
56	11378	958	91,58%
57	12343	919	92,55%
58	13079	935	92,85%
59	12932	893	93,09%
60	10542	954	90,95%
61	9066	923	89,82%
62	11321	908	91,98%
63	14529	949	93,47%
64	12034	896	92,55%

NO
NO
NO
NO
SI
NO
SI
NO
SI
NO
SI
NO
NO
SI
NO
NO
NO
SI
NO
NO
NO
SI
SI
SI
NO
SI
NO
NO
NO
NO
SI

106	12657	947	92,52%	NO
107	12341	979	92,07%	NO
108	14530	917	93,69%	NO
109	11378	882	92,25%	SI
110	12675	888	92,99%	SI
111	11007	919	91,65%	NO
112	10453	959	90,83%	NO
113	12087	894	92,60%	SI
114	10932	973	91,10%	NO
115	13773	950	93,10%	NO
116	16545	898	94,57%	SI
117	15768	977	93,80%	NO
118	14807	999	93,25%	NO
119	12343	917	92,57%	NO
120	13243	985	92,56%	NO
121	11372	926	91,86%	NO
122	12978	999	92,30%	NO
123	11765	998	91,52%	NO
124	10431	901	91,36%	NO
125	13566	979	92,78%	NO
126	11378	905	92,05%	NO
127	12349	974	92,11%	NO
128	12009	935	92,21%	NO
129	14311	924	93,54%	NO
130	10212	913	91,06%	NO
131	14211	958	93,26%	NO
132	11679	925	92,08%	NO
133	10457	944	90,97%	NO
134	12456	969	92,22%	NO

Tabla 8 Análisis puntual PTAR existente, parámetro DQO. Fuente: Propia

En los resultados se observa que el sistema de tratamiento actual de la compañía, posee un porcentaje promedio de remoción en DQO del 92,32%, sin embargo, el cumplimiento de la normatividad actual para vertimientos de aguas residuales no domésticas al alcantarillado municipal de compañías elaboradoras de alimentos, establece que el límite máximo permisible para DQO es 900 mg/l, por lo cual el porcentaje de cumplimiento de la normatividad es bajo con un 11,94%.

En la tabla 9 se observan los 134 análisis puntuales de pH realizados al agua cruda y tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas existente en la compañía.

MUESTRA	PH		CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD (Resolución 631/2015)	% CUMPLIMIENTO
	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA		
1	4	5	SI	47,01%
2	4,3	5,38	SI	
3	5,03	4,38	NO	
4	4,28	4,46	NO	
5	4,13	4,25	NO	
6	4,67	5,02	SI	
7	5,1	4,08	NO	
8	4,32	4,36	NO	
9	4,68	4,7	NO	
10	4,42	5	SI	
11	4,8	4,1	NO	
12	4,34	4,45	NO	
13	4	4,2	NO	
14	4,51	4,31	NO	
15	5	4,9	NO	
16	4,85	4,38	NO	
17	4,5	5,22	SI	
18	4,91	5	SI	
19	4,7	4,68	NO	
20	4,5	4,7	NO	
21	5,4	5,1	SI	
22	5,1	5,07	SI	
23	4,65	5,36	SI	
24	4,76	5,29	SI	
25	4,87	5,49	SI	
26	5,8	5,21	SI	
27	5,1	4,3	NO	
28	5,01	4,9	NO	
29	5,6	5,31	SI	
30	4,6	4,36	NO	
31	4,8	5	SI	
32	4,12	5,38	SI	
33	4,21	4,38	NO	
34	4,98	4,46	NO	
35	4,54	4,25	NO	
36	5,1	5,02	SI	
37	4,9	4,08	NO	
38	4,3	4,36	NO	
39	5,1	4,7	NO	

40	4,7	5	SI
41	4,7	5,29	SI
42	4,87	5,49	SI
43	4,65	5,21	SI
44	4,21	4,5	NO
45	4,2	4,4	NO
46	4,1	5,31	SI
47	4,8	4,36	NO
48	4,5	5	SI
49	5,02	5,38	SI
50	5	4,38	NO
51	4,6	4,46	NO
52	4,2	4,25	NO
53	4,09	4,08	NO
54	5,1	4,36	NO
55	4	4,7	NO
56	4,3	5	SI
57	5,03	5,29	SI
58	4,28	5,49	SI
59	4,13	5,21	SI
60	4,67	4,2	NO
61	5,1	10,4	SI
62	4,32	5,31	SI
63	4,68	5	SI
64	4,42	5,38	SI
65	4,8	4,38	NO
66	4,34	4,46	NO
67	4	4,25	NO
68	4,51	4,08	NO
69	5	4,36	NO
70	4,85	4,7	NO
71	4,5	5	SI
72	4,91	5,21	SI
73	4,7	4,3	NO
74	4,5	4,4	NO
75	5,4	5,31	SI
76	5,1	5	SI
77	4,65	5,38	SI
78	4,76	4,38	NO
79	4,87	4,46	NO
80	5,8	4,36	NO

81	5,1	4,7	NO
82	5,01	5	SI
83	5,6	5,21	SI
84	4,6	4,5	NO
85	4,8	4,4	NO
86	4,12	5,31	SI
87	4,21	5,31	SI
88	4,98	5	SI
89	4,54	5,38	SI
90	5,1	4,38	NO
91	4,9	4,46	NO
92	4,21	4,36	NO
93	4,2	4,7	NO
94	4,1	5	SI
95	4,8	4,36	NO
96	4,5	4,7	NO
97	5,02	5	SI
98	5	5,29	SI
99	4,6	5,49	SI
100	4,2	5,21	SI
101	4,09	11,53	SI
102	5,1	10,4	SI
103	5,03	5,31	SI
104	4,28	5	SI
105	4,13	5,38	SI
106	4,67	4,38	NO
107	5,1	4,46	NO
108	4,32	4,25	NO
109	4,68	4,08	NO
110	4,42	4,36	NO
111	4,8	4,7	NO
112	4,34	5	SI
113	4	5,21	SI
114	4,51	4	NO
115	5	4,4	NO
116	4,85	5,31	SI
117	4,5	5	SI
118	4,91	5,38	SI
119	4,7	4,38	NO
120	4,5	4,46	NO
121	5,4	4,36	NO

122	5,1	4,7	NO
123	4,65	5	SI
124	4,76	5,21	SI
125	4,87	4,3	NO
126	5,8	4,1	NO
127	5,1	5,31	SI
128	5,01	5,31	SI
129	5,6	5	SI
130	4,6	5,38	SI
131	4,8	4,38	NO
132	4,12	4,46	NO
133	4,21	4,36	NO
134	4,98	4,7	NO

Tabla 9 Análisis puntual PTAR existente, parámetro pH. Fuente: Propia

En la Resolución 631 de 2015, en el artículo 16, se estipula que para empresas elaboradores de alimentos que viertan sus aguas al alcantarillado municipal, el límite máximo permisible para pH se encuentra entre 5 y 9; se puede observar que el tratamiento actual de la compañía tiene un porcentaje de cumplimiento del 47,01% en cuanto a normatividad se refiere.

En la tabla 10 se observan los 134 análisis puntuales de DBO realizados al agua cruda y tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas existente en la compañía.

MUESTRA	DBO		% REMOCION	PROMEDIO % REMOCION	CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD (Resolución 631/2015)	% CUMPLIMIENTO
	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA				
1	5965	711	88,08%	88,15%	NO	25,37%
2	5727	615	89,26%			
3	5942	713	88,00%			
4	5001	688	86,24%			
5	5921	587	90,09%			
6	5836	564	90,34%			
7	5560	620	88,85%			
8	5754	692	87,97%			
9	5932	585	90,14%			
10	5154	739	85,66%			
11	5945	657	88,95%			
12	5320	629	88,18%			
13	5089	553	89,13%			

96	5225	639	87,77%	NO
97	5365	681	87,31%	NO
98	5001	678	86,44%	NO
99	5835	649	88,88%	NO
100	5317	643	87,91%	NO
101	5480	708	87,08%	NO
102	5625	649	88,46%	NO
103	5870	595	89,86%	SI
104	5493	627	88,59%	NO
105	5607	731	86,96%	NO
106	5033	722	85,65%	NO
107	5101	709	86,10%	NO
108	5857	680	88,39%	NO
109	5422	586	89,19%	SI
110	5790	586	89,88%	SI
111	5488	736	86,59%	NO
112	5627	597	89,39%	SI
113	5980	622	89,60%	NO
114	5302	733	86,18%	NO
115	5396	573	89,38%	SI
116	5103	606	88,12%	NO
117	5860	607	89,64%	NO
118	5403	570	89,45%	SI
119	5078	579	88,60%	SI
120	5777	614	89,37%	NO
121	5577	654	88,27%	NO
122	5621	740	86,84%	NO
123	5236	650	87,59%	NO
124	5760	685	88,11%	NO
125	5471	569	89,60%	SI
126	5570	574	89,69%	SI
127	5513	572	89,62%	SI
128	5765	593	89,71%	SI
129	5147	704	86,32%	NO
130	5213	628	87,95%	NO
131	5616	680	87,89%	NO
132	5180	681	86,85%	NO
133	5135	586	88,59%	SI
134	5906	564	90,45%	SI

Tabla 10 Análisis puntual PTAR existente, parámetro DBO. Fuente: Propia

En los resultados de los análisis de DBO, se evidencia que el tratamiento actual de la compañía tiene un porcentaje de remoción del 88,15%, pero no es suficiente para cumplir al 100% con los límites máximos permisibles establecidos la normatividad actual (Resolución 631 de 2015) de 600 mg/l, demostrando así un porcentaje de cumplimiento en normatividad del 25,37%.

En la tabla 11 se observan los 134 análisis puntuales de SST Sólidos suspendidos totales realizados al agua cruda y tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas existente en la compañía.

MUESTRA	SOLIDOS SUSPENDIDOS		% REMOCION	PROMEDIO % REMOCION	CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD (Resolución 631/2015)	% CUMPLIMIENTO
	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA				
1	878	288	67,20%	65,35%	SI	47,01%
2	902	214	76,27%			
3	894	225	74,83%			
4	900	349	61,22%			
5	929	243	73,84%			
6	900	268	70,22%			
7	926	210	77,32%			
8	866	240	72,29%			
9	879	255	70,99%			
10	854	221	74,12%			
11	916	244	73,36%			
12	905	285	68,51%			
13	871	395	54,65%			
14	863	343	60,25%			
15	905	322	64,42%			
16	887	275	69,00%			
17	901	375	58,38%			
18	892	222	75,11%			
19	891	299	66,44%			
20	884	216	75,57%			
21	879	308	64,96%			
22	856	347	59,46%			
23	926	382	58,75%			
24	889	348	60,85%			
25	878	332	62,19%			
26	875	361	58,74%			

27	850	325	61,76%
28	874	250	71,40%
29	879	356	59,50%
30	850	394	53,65%
31	858	315	63,29%
32	919	398	56,69%
33	876	268	69,41%
34	897	347	61,32%
35	863	273	68,37%
36	929	230	75,24%
37	927	222	76,05%
38	919	258	71,93%
39	921	264	71,34%
40	893	369	58,68%
41	929	249	73,20%
42	868	366	57,83%
43	921	370	59,83%
44	851	270	68,27%
45	851	389	54,29%
46	863	372	56,89%
47	906	363	59,93%
48	906	238	73,73%
49	864	326	62,27%
50	884	222	74,89%
51	904	284	68,58%
52	916	258	71,83%
53	904	356	60,62%
54	905	276	69,50%
55	868	269	69,01%
56	851	363	57,34%
57	850	253	70,24%
58	882	289	67,23%
59	882	239	72,90%
60	927	390	57,93%
61	902	285	68,40%
62	900	271	69,89%
63	871	322	63,03%
64	865	267	69,13%
65	895	312	65,14%
66	925	344	62,81%
67	908	252	72,25%

NO
SI
NO
NO
NO
NO
SI
NO
SI
NO
SI
NO
NO
NO
SI
NO
NO
NO
SI
NO
SI
SI
SI
NO
SI
SI
SI
NO
SI
NO
NO
SI

109	868	387	55,41%	NO
110	867	362	58,25%	NO
111	858	222	74,13%	SI
112	887	227	74,41%	SI
113	913	303	66,81%	NO
114	927	386	58,36%	NO
115	928	339	63,47%	NO
116	905	270	70,17%	SI
117	884	349	60,52%	NO
118	921	210	77,20%	SI
119	867	396	54,33%	NO
120	864	279	67,71%	SI
121	855	352	58,83%	NO
122	891	282	68,35%	SI
123	924	352	61,90%	NO
124	870	293	66,32%	SI
125	850	292	65,65%	SI
126	893	375	58,01%	NO
127	930	390	58,06%	NO
128	917	248	72,96%	SI
129	851	324	61,93%	NO
130	884	389	56,00%	NO
131	866	385	55,54%	NO
132	898	256	71,49%	SI
133	891	287	67,79%	SI
134	904	359	60,29%	NO

Tabla 11 Análisis puntual PTAR existente, parámetro SST. Fuente: Propia

En los resultados de los análisis de SST del agua tratada por el sistema de tratamiento actual de la compañía, se evidencia un porcentaje de remoción del parámetro del 65,35% y un porcentaje de cumplimiento en límites máximos permisibles que se establece como 300 mg/L de la normatividad actual (Resolución 631 de 2015) del 47,01% respectivamente.

En la tabla 12 se observan los 134 análisis puntuales de Grasas y aceites realizados al agua cruda y tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas existente en la compañía.

MUESTRA	GRASAS Y ACEITES		% REMOCION	PROMEDIO % REMOCION	CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD (Resolución 631/2015)	% CUMPLIMIENTO
	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA				
1	136	21	84,56%	80,04%	SI	44,78%
2	198	32	83,84%		NO	
3	131	35	73,28%		NO	
4	114	31	72,81%		NO	
5	215	26	87,91%		SI	
6	183	42	77,05%		NO	
7	152	20	86,84%		SI	
8	176	21	88,07%		SI	
9	177	30	83,05%		NO	
10	114	32	71,93%		NO	
11	214	24	88,79%		SI	
12	193	25	87,05%		SI	
13	160	35	78,13%		NO	
14	134	28	79,10%		SI	
15	165	34	79,39%		NO	
16	164	26	84,15%		SI	
17	157	29	81,53%		SI	
18	161	34	78,88%		NO	
19	161	37	77,02%		NO	
20	160	32	80,00%		NO	
21	195	34	82,56%		NO	
22	164	29	82,32%		SI	
23	133	42	68,42%		NO	
24	137	23	83,21%		SI	
25	192	21	89,06%		SI	
26	114	34	70,18%		NO	
27	131	23	82,44%		SI	
28	119	34	71,43%		NO	
29	116	36	68,97%		NO	
30	117	44	62,39%		NO	
31	204	33	83,82%		NO	
32	148	21	85,81%		SI	
33	180	30	83,33%		NO	
34	194	27	86,08%		SI	
35	141	27	80,85%		SI	
36	155	20	87,10%		SI	
37	145	43	70,34%		NO	
38	198	20	89,90%		SI	

39	139	26	81,29%
40	143	30	79,02%
41	178	27	84,83%
42	156	24	84,62%
43	171	34	80,12%
44	140	25	82,14%
45	130	29	77,69%
46	142	31	78,17%
47	191	23	87,96%
48	181	26	85,64%
49	116	42	63,79%
50	168	44	73,81%
51	179	39	78,21%
52	187	38	79,68%
53	206	34	83,50%
54	132	29	78,03%
55	117	39	66,67%
56	139	45	67,63%
57	122	41	66,39%
58	189	39	79,37%
59	182	28	84,62%
60	126	29	76,98%
61	128	32	75,00%
62	124	41	66,94%
63	155	37	76,13%
64	155	25	83,87%
65	158	21	86,71%
66	198	34	82,83%
67	132	23	82,58%
68	179	41	77,09%
69	175	24	86,29%
70	114	30	73,68%
71	140	39	72,14%
72	141	27	80,85%
73	206	35	83,01%
74	208	32	84,62%
75	211	40	81,04%
76	183	30	83,61%
77	138	20	85,51%
78	125	33	73,60%
79	182	34	81,32%

SI
NO
SI
SI
NO
SI
SI
NO
SI
SI
NO
SI
NO
NO
NO
NO
SI
SI
NO
NO
NO
NO
SI
SI
NO
SI
NO
SI
NO
NO

80	153	24	84,31%
81	197	33	83,25%
82	213	21	90,14%
83	181	39	78,45%
84	185	38	79,46%
85	154	21	86,36%
86	207	44	78,74%
87	152	33	78,29%
88	172	35	79,65%
89	152	22	85,53%
90	130	37	71,54%
91	199	27	86,43%
92	145	43	70,34%
93	166	27	83,73%
94	212	26	87,74%
95	201	38	81,09%
96	114	32	71,93%
97	202	24	88,12%
98	210	32	84,76%
99	203	34	83,25%
100	124	37	70,16%
101	191	24	87,43%
102	155	24	84,52%
103	193	21	89,12%
104	127	33	74,02%
105	174	43	75,29%
106	206	20	90,29%
107	124	32	74,19%
108	163	38	76,69%
109	150	24	84,00%
110	205	20	90,24%
111	215	35	83,72%
112	115	38	66,96%
113	189	41	78,31%
114	184	29	84,24%
115	155	21	86,45%
116	171	22	87,13%
117	129	28	78,29%
118	121	43	64,46%
119	118	41	65,25%
120	170	38	77,65%

SI
NO
SI
NO
NO
SI
NO
NO
NO
SI
NO
SI
SI
NO
NO
NO
SI
NO
NO
NO
SI
SI
SI
NO
NO
NO
SI
SI
SI
SI
NO
NO
NO

121	185	23	87,57%	SI
122	144	20	86,11%	SI
123	129	34	73,64%	NO
124	178	41	76,97%	NO
125	119	24	79,83%	SI
126	183	28	84,70%	SI
127	200	35	82,50%	NO
128	151	42	72,19%	NO
129	199	20	89,95%	SI
130	115	21	81,74%	SI
131	155	45	70,97%	NO
132	212	23	89,15%	SI
133	208	28	86,54%	SI
134	168	44	73,81%	NO

Tabla 12 Análisis puntual PTAR existente, parámetro Grasas y aceites. Fuente: Propia

En cuanto al parámetro de grasas y aceite se evidencia un porcentaje de remoción del 80,04% en el sistema de tratamiento actual de la compañía, y en cuanto a los límites permisibles por la normatividad actual (Resolución 631 de 2015) que se establecen en 30 mg/l, se observa un porcentaje de cumplimiento del 44,78%.

En la tabla 13 se evidencia que el sistema tiene una eficiencia aproximadamente del 81,5% en cuanto a remoción de parámetros fisicoquímicos, pero en cuanto al cumplimiento de la normatividad actual vigente (Resolución 631 de 2015) solo presente un porcentaje de cumplimiento del 35,2%, el cual debería 100% para evitar sanciones y multas de la autoridad ambiental competente.

SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL		
	% REMOCION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS	% CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD
DQO	92,32%	11,94%
PH	NA	47,01%
DBO	88,15%	25,37%
SST	65,30%	47,01%
GRASAS	80,04%	44,78%
PROMEDIO	81,5%	35,2%

Tabla 13 Porcentaje de remoción y cumplimientos de normatividad del sistema actual de tratamiento. Fuente: Propia

En la tabla 14, se evidencian los resultados de las 6 caracterizaciones compuestas realizadas al agua cruda y tratada por el sistema PURIFICS M16.

AGUA ENTRADA							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	PROMEDIO
PH	4,2	4	4,11	4,36	4	3,5	4,03
DBO (mg/l)	5298	5670	5905	5221	5398	5753	5540,83
DQO (mg/l)	11372	11378	11007	13773	9066	10024	11103,33
SST (mg/l)	890	881	879	859	852	903	877,33
GRASAS (mg/l)	125	142	169	137	155	194	153,67
AGUA SALIDA							
PH	5,72	5,55	5,29	7,52	5,86	4,73	5,78
DBO (mg/l)	450	570	430	593	570	554	527,83
% REMOCION	91,51%	89,95%	92,72%	88,64%	89,44%	90,37%	90,44%
DQO (mg/l)	656	234	543	775	884	893	664,17
% REMOCION	94,23%	97,94%	95,07%	94,37%	90,25%	91,09%	93,83%
SST (mg/l)	42	24	6	5	17	51	24,17
% REMOCION	95,28%	97,28%	99,32%	99,42%	98,00%	94,35%	97,27%
GRASAS (mg/l)	6,4	8,8	12	27	10	7,2	11,90
% REMOCION	94,88%	93,80%	92,90%	80,29%	93,55%	96,29%	91,95%

Tabla 14 Análisis compuesto del sistema PURIFIC M16. Fuente: Propia

A continuación, en las gráficas, se puede observar el cumplimiento de estos resultados en cuanto a la normatividad actual vigente, para empresas elaboradoras de alimentos que realicen sus vertimientos al alcantarillado municipal (Resolución 631 de 2015, Art. 16)

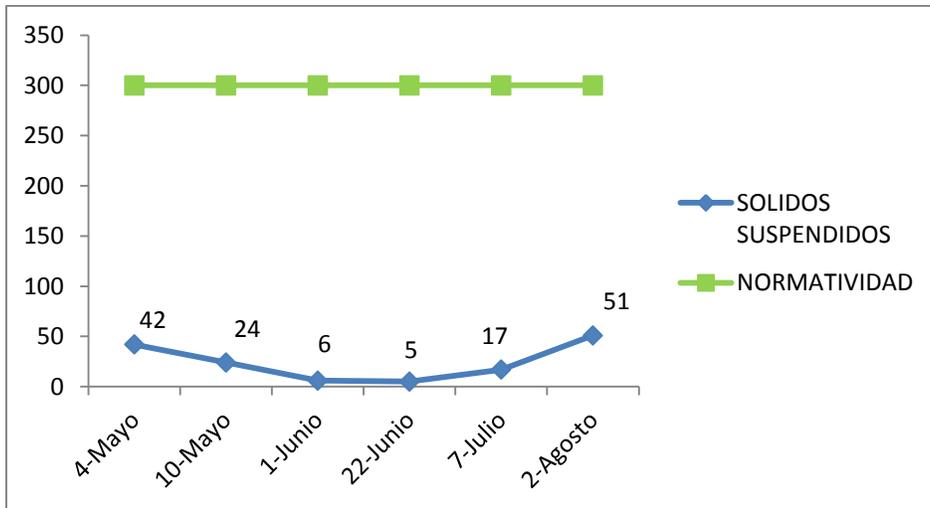


Ilustración 15 Sólidos suspendidos totales agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia

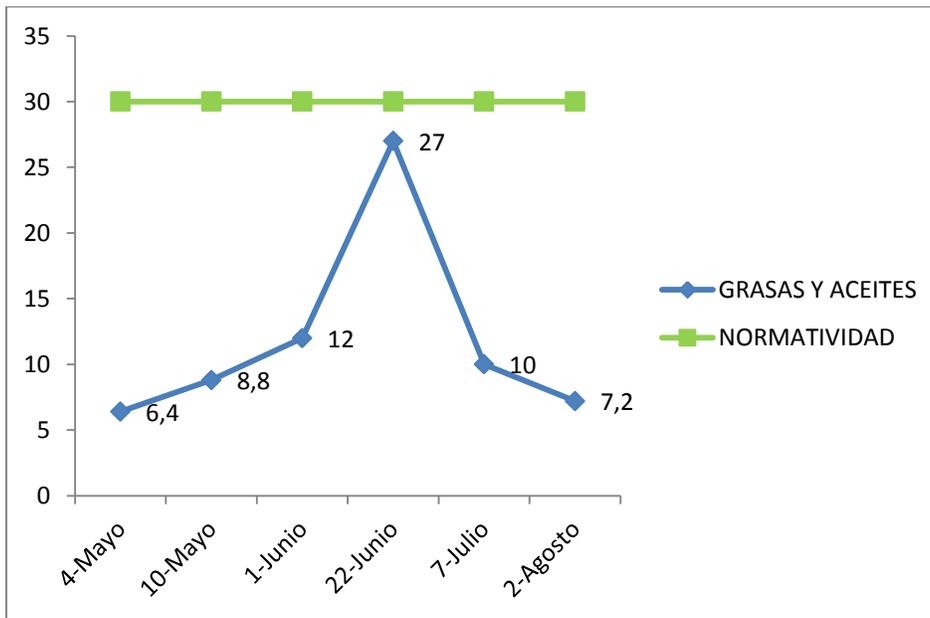


Ilustración 16 Grasas y aceites agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia

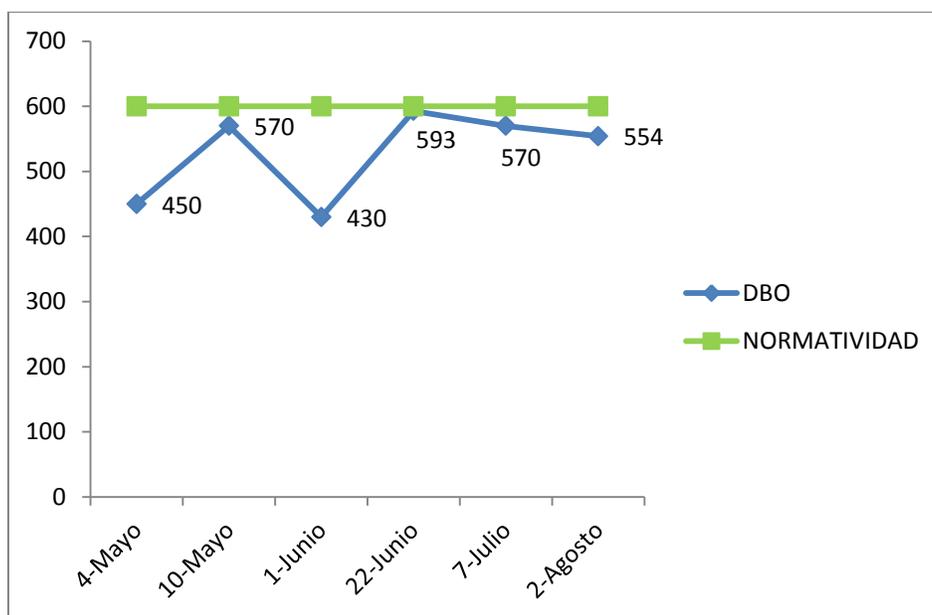


Ilustración 17 DBO agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia

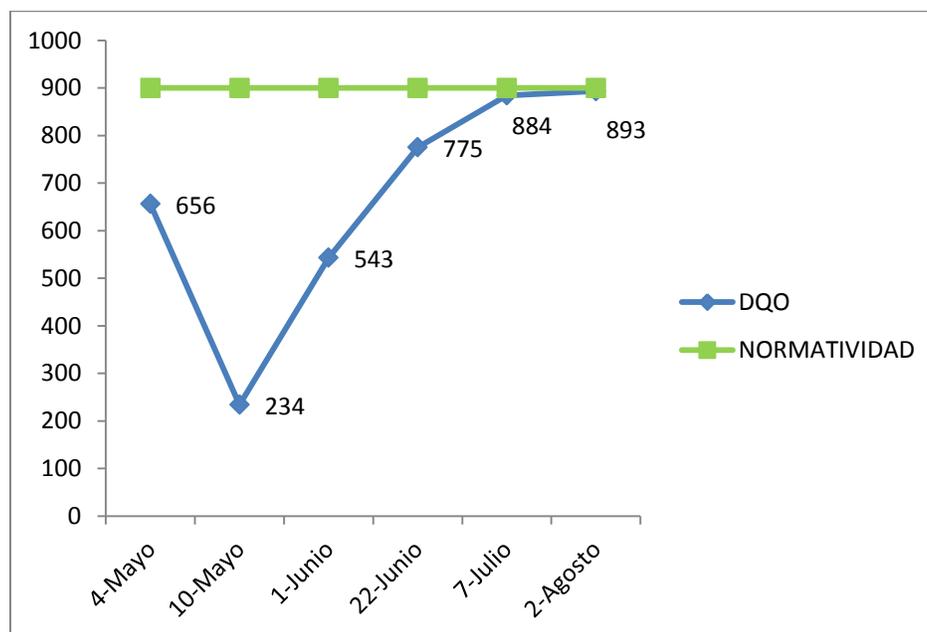


Ilustración 18 DQO agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia

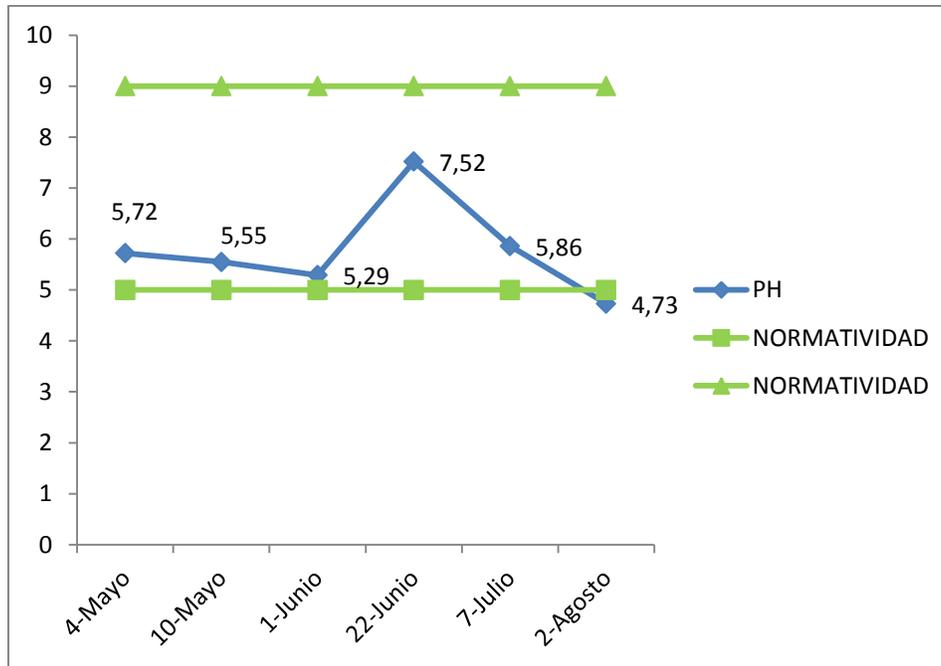


Ilustración 19 PH agua tratada PURIFICS M16. Fuente: Propia

En la tabla 15 se evidencia que el sistema PURIFICS M16 tiene una eficiencia aproximadamente del 93,4% en cuanto a remoción de parámetros fisicoquímicos, en cuanto al cumplimiento de la normatividad actual vigente (Resolución 631 de 2015) presenta un porcentaje de cumplimiento del 96,7%, debido a que solamente la muestra del 2 de agosto del 2017, no cumplió en términos de pH. Los demás parámetros estuvieron dentro de los rangos de la normatividad actual, demostrando que la tecnología es apta para el tratamiento de aguas residuales industriales de este tipo de compañías

PURIFICS M16		
	% REMOCION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS	% CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD
DQO	93,83%	100%
PH	NA	83,3%
DBO	90,44%	100%
SST	97,20%	100%
GRASAS	91,95%	100%
PROMEDIO	93,4%	96,7%

Tabla 15 Porcentaje de remoción y cumplimiento de normatividad del sistema actual de tratamiento PURIFICS M16. Fuente: Propia

De acuerdo a la recopilación de información financiera del sistema de tratamiento actual y el sistema propuesto PURIFICS M16, se realizó la comparación de gastos de energía, consumo de químicos y mano de obra del sistema de tratamiento actual y del sistema propuesto.

	GASTOS	
	PTAR ACTUAL	PURIFICS M16
ENERGIA	\$34.682.170	\$7.607.722
OPERACIÓN	\$376.863.720	\$194.263.212
INSUMOS	\$11.088.528	\$1.189.800
TOTAL ANUAL	\$422.634.418	\$203.060.734

Tabla 16 Gastos PTAR actual y PURIFICS M16. Fuente: Propia

En la tabla 16 se evidencia que en gastos de consumo de energía el PURIFICS M16, tiene un costo 78% menor que el sistema actual; en gastos operativos, donde se señalan gastos de profesionales, operarios, mantenimientos, entre otros; el PURIFICS M16 demuestra un ahorro del 48% en comparación a lo que actualmente gasta la compañía en estos mismos ítems. En cuanto a insumos químicos el PURIFICS M16 evidencia un ahorro en gastos del 89%, ya que es una tecnología casi libre del uso de los mismos para su funcionamiento. En general los gastos anuales utilizando el PURIFICS M16 se reducen en un 52%.

Para tener un punto de comparación en cuanto precios actuales de un sistema convencional de tratamiento de aguas residuales no domésticas, se realizaron cotizaciones en cuanto a las necesidades de la compañía, en las cuales se obtuvo que un sistema de tratamiento microbiológico apto para el agua cruda de la agroindustria, que es utilizado en compañías similares a la estudiada, puede llegar a tener un costo de \$1.407.948.954 sin IVA, por otro lado el precio del mercado del equipo PURIFICS M16 es de \$1.429.144.200 sin IVA. Aunque el PURIFICS M16 es un 1,4% más costoso que un tratamiento convencional, esto se ve recompensado en los ahorros de los gastos operacionales y la cantidad de área requerida para su instalación.

Con los resultados obtenidos en esta investigación se puede aceptar la hipótesis propuesta - La ultrafiltración cerámica para el tratamiento de aguas residuales no domésticas

provenientes de una agroindustria, presenta mejores resultados que los obtenidos con un sistema de tratamiento convencional. No solo en remoción de parámetros fisicoquímicos del agua, sino también el tema de gastos de instalación, mantenimiento y labor de la planta de tratamiento. Es decir, el equipo Purifics CUF M16, demostró tener mejores resultados en la remoción de contaminantes del agua residual proveniente de un proceso agroindustrial con alta carga orgánica en el afluente.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación permitió determinar que el PURIFIC M16 como sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para un agroindustria en la ciudad de Bogotá, es efectivo en comparación al tratamiento convencional que tiene la compañía en la actualidad.

El PURIFIC M16 evidenció tener un porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos un 12,7% superior al sistema convencional utilizado por la compañía, adicionalmente se demostró que la PTAR actual de la agroindustria no cumple con los términos en la remoción de parámetros fisicoquímicos establecida en la Resolución 631 de 2015 Artículo 16 (sólo el 35,2%), donde se establecen los límites máximos permisibles para los vertimientos generados por compañías elaboradoras de alimentos al alcantarillado municipal y a su vez el PURIFICS M16 mostró un cumplimiento del 96,7% dentro de este ítem, que debe ser, por ley, del 100%.

En cuanto a gastos generales de operación, mantenimiento, mano de obra, energía e insumos, el PURIFICS M16 demuestra un ahorro anual aproximado de \$219.573.684, con lo cual se puede demostrar que el retorno de la inversión para adquirir este equipo se daría en aproximadamente 7 años, sin contar que es un cambio que ya debe realizar la compañía y que con otro tratamiento convencional no se van a obtener estos ahorros.

Se recomendó a la compañía, la adquisición del equipo PURIFICS M16 por sus múltiples ventajas, sin embargo, por temas de confiabilidad y ya que ninguna otra compañía en Colombia tiene este sistema de tratamiento, la agroindustria se abstuvo del interés de

comprarlo y en este momento se encuentran realizando el cambio de su sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, a un tratamiento microbiológico tradicional por medio de lecho móvil.

Sin embargo, se recomienda realizar más estudios de la tecnología, en diferentes tipos de agua cruda, para lograr demostrar su efectividad en el tratamiento y obtener la confianza que buscan las empresas a la hora de adquirir estos sistemas.

11. BIBLIOGRAFÍA

- AGROINDUSTRIA (2015) Plano de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales de CR. Bogotá
- AGUILAR M.I (2002) Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación- Floculación.. Universidad de Murcia. España
- ALONSO, E., SANTOS, A., SOLIS, G.J. & RIESCO, P. (2001). On the feasibility of urban wastewater tertiary treatment by membranes: a comparative assessment. *Desalination*, 141, 39–51.
- ALZOGROUP (2016) Ultrafiltración por membrana cerámica. Obtenido de: <http://www.alzogroup.com/purifics/>
- ANTONIO GUADIX, JOSE E. ZAPATA, M. CARMEN ALMECIJA, AND EMILIA M. GUADIX. Predicting the flux decline in milk cross-flow ceramic ultrafiltration by artificial neural networks. *Desalination*,
- ARANGO, ALVARO (2005) La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Facultad de Ingenierías, Programa Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria Lasallista.
- ARENAS, D.L. (2012). Validación de los Métodos de Análisis DQO Reflujo Cerrado, Sulfatos y Nitratos, en Aguas, en el Laboratorio de Análisis Químico de Aguas de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. 16.83.
- ARIZA, M. J., CAÑAS, A., CASTELLÓN, E. R., CABEZA, A. y BENAVENTE, J. (2002). “Modificación de una membrana de alúmina (Al_2O_3): Caracterización mediante parámetros electroquímicos y espectroscopia de fotoelectrones de rayos”. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41(1), 122-125.
- AYACHE, C., PIDOU, M., CROUE, J., LABANOWSKI, J., POUSSADE, Y., TAZI-PAIN, A., ET AL. (2013). Impact of effluent organic matter on low-pressure membrane fouling in tertiary treatment. *Water Research*, 47, 2633-2642. 7.

- BACCHIN, P., AIMAR, P. & FIELD, R.W. (2006). Critical and sustainable fluxes: theory, experiments and applications. *Journal of Membrane Science*, 281, 42-69.
- CENTRO CANARIO DEL AGUA (2003). *Introducción a los bioreactores de membranas*.
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2009). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades. Revisión 4 adaptada para Colombia Rev. 4 A.C. Bogotá D.C.: Autor*.
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2012b). *Boletín de Prensa Encuesta Anual Manufacturera*. Recuperado http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/bolet_eam_2011def.pdf [2014, 11 de abril]
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2012d). *Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020* Recuperado en <https://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyeccionesdepoblacion> [2014, 05 de marzo].
- DIAZ, IVAN (2017) *tratamiento y vertido de aguas residuales por buques en zonas especiales: gestión de lodos generados por el proceso*. Escuela técnica superior de náutica, Universidad de Cantabria
- DSS (2013) *Diseño y soluciones sostenibles. Ingeniería para un desarrollo sostenible*. Quito.
- EAAB – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2003). *Estudio del desarrollo sostenible del agua subterránea en la Sabana de Bogotá*. Seminario, convenio EAAB ESP - JICA. Bogotá.
- FILLOUX, E., GALLARD, H. & CROUE, J-P. (2012) Identification of effluent organic matter fractions responsible for low-pressure membrane fouling. *Water Research*, 46, 5531-5540.
- GARCIA, M. (2009) *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales Residuales Industriales. Bloque III. Tratamientos específicos de vertidos industriales – Parte II*.
- GONZALES, MAYRA (2011) *Evaluación de la situación actual de las fuentes de vertimientos en la ciudad de Villavicencio-Meta en función del desarrollo de una*

propuesta de sostenibilidad ambiental de factores relacionados con la salud pública en poblaciones aledañas. Grupo de Estudios Ambientales (GEA) Semillero de investigación Competitividad Económica Ambiental (CEA).

- HERNÁNDEZ, A., PRÁDANOS, P., CALVO, J. I. y PALACIO, L. (1999). “Membranas cerámicas y su utilidad en procesos de separación”. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 38(3), 185-192.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (1998). El Medio Ambiente en Colombia. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2010). Estudio Nacional del Agua. Bogotá: IDEAM.
- LEHMAN, S.G. & LIU, L. (2009). Application of ceramic membranes with pre-ozonation for treatment of secondary wastewater effluent. Water Research, 43, 2020-2028.
- L. F. THOME; L. DE LAS FUENTES; A. URKIAGA; J. FONT, Posibilidades de los procesos de membranas en ingeniería medioambiental. Ingeniería Química Madrid. Vol. 30. 1998. pp. 137-146.
- MAJEWSKA-NOWAK, K., KABSCH-KORBUTOWICZ, M. & WINNICKI, T. (2008). Concentration of organic contaminants by ultrafiltration. Desalination, 221, 358-369
- MAROTO, HECTOR (2007), Comparativa de ampliación E.D.A.R. mediante reactor biológico convencional o MBR.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2009). Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento Básico, RAS. Resolución 2320. Colombia.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2015) Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas

superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

- M. MARCUCCI, G. NOSENZO, G. CAPANNELLI, D. CIABATTI, D. CORRIERI, G. CIARDELLI, L. CORSI L. “Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membranes technologies” *Desalination*. Vol. 138. 2001. pp. 75-82.
- MUTHUKUMARAN, S., NGUYEN, D. & BASKARAN, K. (2011). Performance evaluation of different ultrafiltration membranes for the reclamation and reuse of secondary effluent. *Desalination*, 279, 383– 389. 29.
- NAZIM CICEK, Removal mechanisms of 17 beta-estradiol and 17 alpha-ethinylestradiol in membrane bioreactors, 2003
- NGUYEN, S. & RODDICK, F. (2013). Pre-treatments for removing colour from secondary effluent: effectiveness and influence on membrane fouling in subsequent microfiltration. *Sep. Purif. Technol.* 103, 313-320.
- NOYOLA. A, MORGAN. J, GüERECA. L (2009) Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Instituto de Ingeniería UNAM.
- OEFA, Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Obtenido en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- ONU (2015). Decenio Internacional de Acción "Agua para la Vida" 2005-2015. Obtenido en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- ORTIZ, DIEGO (2011) Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador. Universidad Tecnica Particular de Loja. Escuela de Ingeniería Civil. Ecuador.
- PETR MIKULASEK, PETR DOLECEK, DAGMAR SMIDOVA, AND PETR POSPISIL. Crossflow microfiltration of mineral dispersions using ceramic membranes. *Desalination*, 163(1-3):333 – 343, 2004.
- PITWELL, L.R. STANDARD COD. CHEM. BRIT. 19.907.
- PROTON (2014) División de agua y medio ambiente. Plantas para el tratamiento de aguas.

- PURIFICS (2013) Complete Water Purification Using Ceramic Membrane Technologies. Process description ceramic ultra-filtration.
- QUERO Maroto (2007): “Comparativa de ampliación EDAR mediante reactor biológico convencional o MRB”. Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/4432>.
- RAMÍREZ, M. L. Y GIRALDO, A. (2012). Caracterización de las Ramas Manufactureras en Colombia. Bogotá D.C.: DANE
- RIVAS MIJARES (1978). Tratamiento de aguas residuales. 2ª ed. Ediciones Vega. Caracas.
- RODRÍGUEZ. D, MUÑOZ. R, CORNEJO. J Y ESPINOZA C (2004) Tratamiento, recolección y disposición de aguas residuales. Universidad de Chile Departamento de Ingeniería Civil.
- ROMERO, JORGE F. (2010) Control Avanzado en Procesos Industriales de Microfiltración y Ultrafiltración tangencial. Universidad Politecnica de Valencia.
- ROBLES, F. O., ROJO, J. C. T., and BAS, M. S. (2011). “Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes.: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales”. Ediciones Díaz de Santos.
- STEPHENSON TOM (2000), Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment,
- SOLSONA. F, MENDEZ. J (2008) Desinfección del agua. Agencia ambiental de los Estados Unidos de América.
- SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. (2006-2009) Estudio sectorial de acueducto y alcantarillado. Bogotá
- TAYLOR, J.S and WIESNER, M. (2002) “Calidad y tratamiento del agua”. Manual de suministros de agua comunitaria. American water works asociation. Capítulo 11. Membranas. Ed. McGraw-Hill, 5ª Edición.
- TOTAGUA (2014) Bioreactores de membrana Ultrafiltración Tubular Ultrafiltración tangencial cerámica. Obtenido de: <http://www.totagua.com/pdf/equipos-depuracion/ultrafiltracion.pdf>

12. ANEXOS



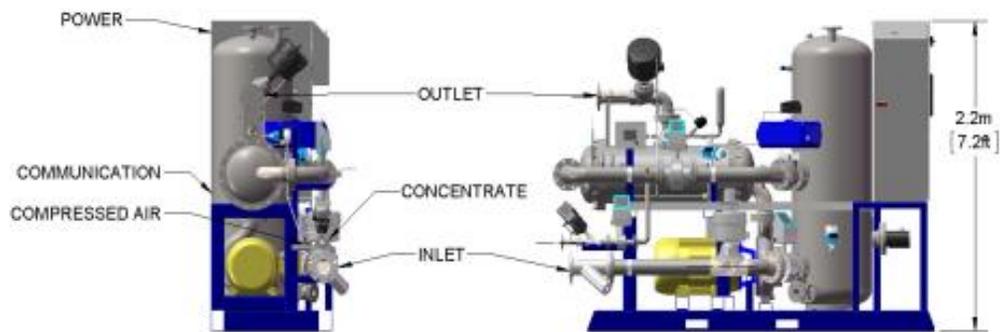
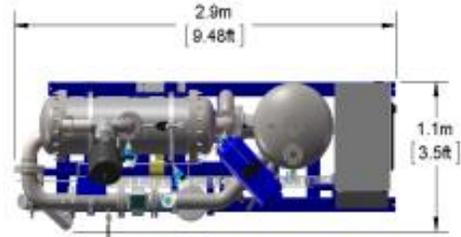
Performance Data	
Capacity @ CWF*	0 – 0.25 MGD 0 – 1.0 MLD
Duty	>99%
Automatic Turndown	0-100% Flow & Power
Permeate Loss	0%
Operating Modes	Demand Flow
Filtration Modes	Oil, Bacteria, TSS, Hardness, DOC, Color, Metals, H ₂ S
Concentrate**	Zero Liquid Discharge Carbon Capture

*De-rate for actual application

Equipment Specifications	
Membrane Life	25 Years
Wetted Material	Stainless Steel
Flux Maintenance	Automatic
TMP Normal	0-15 PSI, 0-1 Bar
Integrity Testing	Continuous-On-Line
Gasket Material	Viton Or EPDM(NSF61)
NEC	NFPA70, NFPA79 NFPA496**, UL508A

May vary with each application ** Optional

Cuf M16 Platform



Application Engineering Data	
Power	277/480 Volt, 3Ø, 50/60Hz* 50A Service
Network	Profibus/Ethernet
Instrument Air	2-3 cfm Oil Free 120 PSI, 8 Bar
Weight Dry/Wet	2,200/3,300 LBS 1,000/1,500 KG

Connections	
Inlet	4" #150 Flange
Outlet	3" #150 Flange
Concentrate	1" #150 Flange
Air Supply	1/4" NPT

Purifics 340 Sovereign Road, London, ON, Canada, N6M 1A8
 Ph: 519-473 5788, info@Purifics.com, www.Purifics.com

Protected by patents & patents pending, both domestic and foreign. Purifics, Photo-Cat, AOP+ & Cuf are registered trademarks.

DOC3026/13
 Printed in Canada



HOJA TECNICA

NALCO 8100

COAGULANTE LIQUIDO.

BENEFICIOS DEL PRODUCTO:

- *Mejora la calidad del efluente clarificado.*
- *Reduce o elimina la necesidad de Sulfato de Aluminio o sales de fierro.*
- *Produce un floc denso de fácil sedimentación.*
- *Actúa en sistemas con precloración.*
- *Reduce o elimina la necesidad de ajuste de pH.*

USOS PRINCIPALES:

NALCO 8100 es un polielectrolito líquido de moderado peso molecular, catiónico y recomendado como Coagulante primario. Sus aplicaciones incluyen:

- Clarificación Convencional o Ablandamiento con Cal.
- Filtración Directa.
- Ayuda Filtro.

DESCRIPCION GENERAL:

NALCO 8100 es un Coagulante líquido. Para propiedades químicas y físicas típicas, por favor refiérase a la Hoja de Datos de Seguridad del Producto.

NALCO 8100 está aprobado por NSF Internacional de los Estados Unidos para Tratamiento de Agua Potable en dosificaciones de uso hasta 20 ppm.

DOSIFICACION:

La dosis de **NALCO 8100** varía ampliamente dependiendo de la aplicación y del sistema. Su representante NALCO le ayudará a determinar la dosis óptima y el método de aplicación para sus sistema en particular.

ALIMENTACION:

NALCO 8100 puede alimentarse neto, diluido en línea en el agua de suministro o en la corriente de agua de desecho, asegurándose de obtener el máximo mezclado y la integración del producto. Los puntos sugeridos de alimentación son la succión de una bomba centrífuga, un tanque de mezclado o un mezclador estático en línea.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO:

NALCO 8100 deberá ser manejado como un producto ácido. Evite el contacto con ojo, piel y vestimenta. Utilice guantes de hule, lentes de seguridad y careta, evite la inhalación de los vapores.

Almacénese en lugares frescos, el límite sugerido de almacenamiento en planta es de 1 año en tambores sin abrir. Las soluciones al 10% son estables durante una semana.

EMBARQUE:

NALCO 8100 está disponible en varios tipos de envases. Consulte a su representante Nalco para las opciones disponibles.

OBSERVACIONES:

Si necesita asistencia o información, por favor llamar a su representante NALCO o a nuestras oficinas centrales.

Para **Emergencias Médicas y de Transporte** que involucren productos NALCO llame al -- 01 (728) 28 5 05 22.

NALCO DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.

Av. Santa Fe 505 - 4° Piso Despacho 402
Col. Cruz Manca, Santa Fe
Delegación Cuajimalpa
C.P.05349 México, D.F

Case History: Cement Dust Filtration from Water Using

Background

In 2003, an aggregate products manufacturer contacted Purifics to purify and control the water used during the manufacturing process. At this site, stone cutting operations utilized up to 100m³/day of water for tool cooling and dust suppression, and spent water contained high concentrations of aggregate fines, dust, and other workplace debris which was drained into the lay down yard. This created a wet, untidy work environment and runoff (discharge) issues. The water discharge had the attention of the Environmental Regulatory Authority who was mandating corrective action. The client then began the process of engineering an expensive settling pond until Purifics offered a cost effective alternative solution.

Challenge

The client required a simple, variable flow water reuse system that would reduce water consumption as well as reclaim water and sub-micron fines. For reuse, the water had to be free of any particulate and color that could wear or jam the nozzles on the cutting equipment, or color or foul the architectural stone. Purifics proposed a novel CUF system that would fit the existing plant operations while allowing the client to cut costs and reduce waste.

TREATMENT REQUIREMENTS	Influent	Effluent
Nominal Flow Rate	100m ³ /shift	On demand
Peak Flow Rate	1m ³ /min	On demand
Solids	Debris and micron size	< 1 micron size
Colour	Variable	No Colour



Cutting machinery utilized water for coolant and dust suppressant



Beveling Line with Collection Trench and Water Distribution Line

Solution

Purifics installed a fully automated and remotely supported CUF system. In this application, a fixed volume of water (10m³) is used in a closed-loop process where it is continuously used, cleaned, and recycled directly into the 60psi water distribution manifold by the CUF system. The system was sized for the steady state load of 400l/m (100gpm), but customized with a built-in surge capacity of 1m³/min (250gpm).



Benefits

The client experienced many benefits from the CUF installation. CUF is not vulnerable to abrasion or separation failure and it provides pressurized redistribution of water for optimal reuse. Not only was CUF customized to suit the client's needs, it was also designed to be compatible with the existing machinery components at the facility. Ultimately, the chemical-free, waste-free CUF increased plant efficiency and safety, while providing a clean, environmentally friendly facility. CUF has a 20 year product lifespan, so our client can enjoy the benefits it brings for years to come.

Results

Once installed, the client benefited from the low lifecycle cost of the CUF system. CUF also lowered the client's total consumption, disposal, and labour costs by \$72/day. The efficiency of the CUF system eliminated:

- Retention ponds
- Regulatory approval
- Third party environmental sampling
- Quarterly compliance reports to regulatory authorities

In 2006, as the business grew and production increased, the client built a new plant based on the CUF system for water reuse.



Finished product

Cuf is a unique water purification system designed to separate silt or particulate from water to facilitate complete product recovery and water reuse with no backwash. The closed-loop process is ideal for manufacturing, construction, mining, petrochemical, and agricultural processes, where large quantities of water are used regularly. By providing a quick and easy method for product recovery and water reuse, CUF helps companies reduce costs and achieve competitive advantage. Applications include:

- TSS removal in drinking water
- Silt removal or slurry recovery
- Fines recovery from cutting and grinding processes
- Wash water filtering and reclamation
- VSS & TSS removal in waste water
- Oil removal & Tailings water recovery in the oil sands



Samples



340 Sovereign Road, London, ON, Canada, N6M 1A8
Ph: 519.473.5788, info@Purifics.com, www.Purifics.com

Purifics, Photo-Cat, Bif & AOP are registered trademarks. Purifics products are protected by one or more of the following US Patents: #5,462,674 / #5,554,300 / #5,589,078 / #6,136,203 / #5,215,120B1 / #6,396,971B1 / #7,005,473B2 / #7,326,278B2 / #7,425,272B2 / #7,586,688B2 / #7,600,310B2 / #7,637,952B2. Domestic & foreign patents & pending.

DOC00001
Printed in Canada

Briefing: PCB Removal in Municipal Waste Water

Application

Chemical Free PCB Destruction in Municipal Waste Water

A municipality in New York State operates a Publicly Owned Treatment Works (POTW) that has PCB contaminated sewage from an industrial source.

Technical Challenge

PCB's entering the POTW are not treated by the existing process. The PCB's pass through the plant dissolved in the water or adsorb to the biomass that escape from the aerobic digester. A solution is required which will destroy the PCB's from the POTW effluent to below the detection level (65 ppt). The challenge is that when the dissolved phase is destroyed a portion of the adsorbed PCB will go back into solution to achieve equilibrium.

Pilot Program

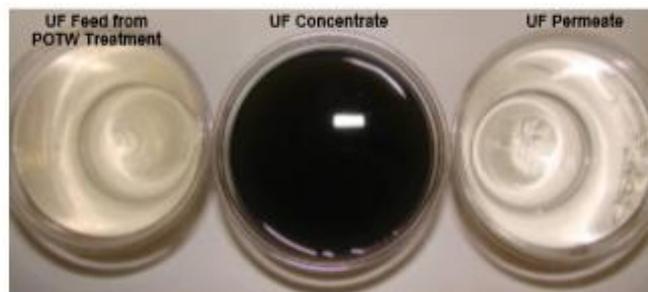
Three competing technologies were evaluated in a one month pilot program. Purifics *ICS* (Integrated Complete Sustainable) System was the only destructive technology. The other two technology trains (polymeric UF and GAC) simply concentrated or transferred the PCB waste to another media.

POTW facility and the pre-packaged Purifics system



Solution

Purifics *ICS* Solution employs *CUF* (Ceramic Ultra Filtration) to remove the tiny bio-solids (VSS) that pass through the clarifier. Below is a picture of the POTW effluent, the *CUF* concentrate and the *CUF* permeate. The PCB's drop from nominally <2000 ppt down to <1000 ppt in the *CUF*. The concentrated reject is about 2%, and is sent back to the POTW. There is no backwash or backpulse in this process. The dissolved PCB's in the permeate are then **destroyed** by Photo-Cat (chemical free AOP*) below the detection level (65 ppt). The entire process is chemical free.



Results

The Purifics solution was half the power and half the footprint of the alternative technologies. Additionally, Purifics ^{ICS} Solution did not have the service issues of the polymeric UF (which did not meet the discharge spec), or the disposal issues with spent GAC supplied by the competing technologies. Unlike the polymeric system, the ^{Green} unit operated during upset conditions when clarifiers were brought on-line.

The quality of the treated water is exceptional for water reuse applications.

Pilot System



This ^{Green} technology requires **NO** process chemicals to concentrate or destroy the PCB. Photo-Cat **Does Not** require hazardous chemical oxidants like ozone or hydrogen peroxide and their associated handling, safety and residual issues. Purifics systems, with site specific and mobile permits, have been applied to PCB contamination in groundwater and industrial applications for 20 years. This proven process has broader applications in landfill leachate, dredging operations, oil field wastewater, and municipal wastewater for re-use.



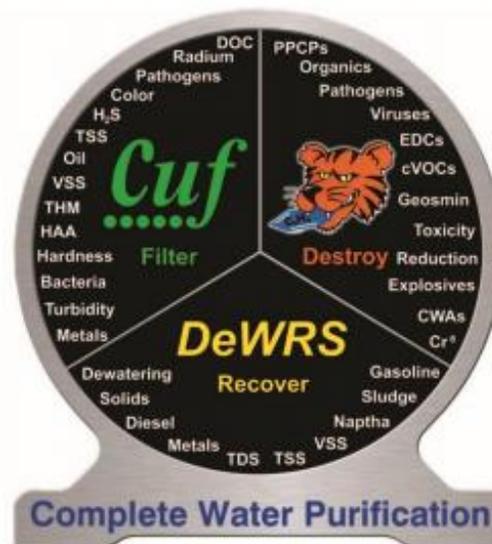
340 Sovereign Road, London, ON, Canada, N6M 1A8
Ph: 519.473.5788, info@Purifics.com, www.Purifics.com

Purifics, Photo-Cat & ACP[®] are registered trademarks. Purifics products are protected by one or more of the following US Patents: #5,482,874 / #5,554,300 / #5,589,078 / #6,138,203 / #6,215,128B1 / #6,396,971B1 / #7,008,473B2 / #7,328,276B2 / #7,425,272B2 / #7,588,888B2 / #7,800,310B2 / #7,837,952B2. Domestic & foreign patents and pending.

DOC2007RS
Printed in Canada

Purifics has developed a comprehensive Chemical Free Water Purification Process. These unique technology innovations combine the best of Fifth Generation Ceramic Ultra-Filtration Membrane Technology (**Cuf**), Chemical Free AOP+ (**Photo-Cat**), and DeWatering Recovery System (**DeWRS**) (Zero Liquid Discharge) with Complete Process Automation. **Cuf** is a durable and robust SiC hydrophilic membrane process that filters contaminants, reduces complexity and chemicals, and eliminates membrane replacement and costs. **Photo-Cat** is the only photocatalytic AOP+ that destroys all chemicals, without adding chemicals. **DeWRS** achieves zero liquid discharge and recovers product in a thick concentrate for mineral reuse or direct to landfill.

Purifics systems purify water by removing: Chemicals, Metals, Turbidity, Bacteria, Viruses, Oil, Particulate, TOC, BOD, COD, DOC, Color, Taste, Odor, Hardness, TDS, EDCs, PPCPs, TSS, TTHM & HAA Precursors, H₂S, green algae & Silica. See reverse for details.



Purification Technologies:

Cuf Ceramic Ultra Filtration -- **Cuf** is a unique ceramic membrane technology that has been refined over 20 years of industrial and municipal applications. Significant refinements in both process and 5th generation ceramic membrane design have advanced the technology substantially to the point where it renders other UF technologies obsolete. **Cuf** features substantially smaller footprint, reduced OPEX and CAPEX, and reduced complexity over other traditional UF systems.



Photo-Cat Photocatalytic Advanced Oxidation Process (AOP+) -- **Photo-Cat** is a chemical free, photocatalytic membrane system that destroys organic contaminants in water with no waste. **Photo-Cat** is used in both industrial and municipal markets. **Photo-Cat** is unique in that it has the greatest oxidation potential of all AOPs, and it has a unique reductive capability, making **Photo-Cat** AOP+.

DeWRS DeWatering Recovery System -- **DeWRS** is a zero liquid discharge (ZLD) system which concentrates the sludge and recovers oil, solids and other contaminants during the closed loop process in the **Cuf** system. **DeWRS** eliminates the need to truck waste water to hazardous waste sites.

Cuf / RO Ceramic Ultra Filtration / Configurable Reverse Osmosis -- Purifics has successfully piloted a complete water purification system utilizing **Cuf** and **RO**. These combined unit processes purify groundwater, removing TSS, turbidity, sand, pathogens, nitrates, and heavy metals. This combination of technologies can be utilized to treat groundwater of even the poorest

quality to drinking water standards.

Contaminants Removed:

Metals:	Cr ⁶ , Fe, Hg, Pb, Mn, As, Tc ⁹⁹ , Sn, Ba, Be, Cd, Co, Cu, Ni, Se, Th, Au, Ag, Pt, V, Zn, Al, U, P			
Bacteria:	Cryptosporidium, E-coli, Giardia, Bacteriophage, Spores, Cyanobacteria, etc. >5 Log removal (Remove, or kill, or consume)			
Viruses:	Adenoviruses, MS2, etc. >7 Log removal (Remove, or kill, or consume)			
Oil/NAPL:	Heavy, Light, Oil/Sand, LNAPL, DNAPL, mechanical & chemical emulsions, diesel, gasoline Recovered as Neat product			
Particulate:	Absolute ceramic membrane filtration of particulate, Range <400 - 25 nm size by filtration, agglomeration, oxidation, reduction, etc.			
NORMs:	Radium 226, Radium 228, Gross Alpha, Gross Beta			
TDS:	Nitrates, Calcium, Sulfites, Chloride, etc.			
Chemicals:	Alcohols	Amines	Chlorinated Aromatics	Herbicides/Pesticides
	Aldehydes	Aromatics	Chemical Warfare Agents	Ketones
	Alkanes	BTEX	Dioxins/Furans	Nitro-Organics
	Alkenes	Carboxylic Acids	Energetics	PAHs
	Alkynes	Chlorinated Alkanes	Ethers	Peroxides
	Aliphatics	Chlorinated Aliphatics	Explosives	Phenols
	Amides			TTHM & HAA Precursors

Specific Contaminants of Concern

Purifics processes do not generate H₂O₂ residual, Bromate, NDMA and will destroy these contaminants if present.

Fluids Purified

In addition to water, Purifics systems purify fluids such as NAPLs & fuels, and aggressive chemicals such as solvents, acids and bases.

Solution Specification

Purifics complete water purification systems operate at various ranges and are able to achieve advanced purification levels suited to the client's desires or requirements. Purifics technology has been accredited with a variety of awards and certifications.

 **340 Sovereign Road, London, ON, Canada, N6M 1A8**
Ph: 519-473 5788, info@Purifics.com, www.Purifics.com
Protected by US & Foreign patents & patents pending. Purifics, Photo-Cat, *CMF*, FDR, DeWRS and AOP+ are registered trademarks.