



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO
GUBERNATIVO 236-2006**

José Carlos Lemus Ríos

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO
GUBERNATIVO 236-2006**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ CARLOS LEMUS RÍOS

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO
GUBERNATIVO 236-2006**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 22 de marzo del 2021.

José Carlos Lemus Ríos

Williams Guillermo Alvarez Mejía
Director
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, José Carlos Lemus Ríos, quien se identifica con el registro académico 2007-15166 y con el CUI 2628 67370 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Jorge Mario Estrada Asturias
ASESOR

Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 685
Guatemala, 07 de julio del 2020

Jorge Mario ESTRADA ASTURIAS
M. Sc. Ingeniero Químico Col. 685
PROFESOR TITULAR
Facultad de Ingeniería
Registro USAC 20080059



Guatemala, 22 de marzo de 2021.
Ref. EIQ.TG-DI.023.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **004-2020**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **José Carlos Lemus Ríos.**

Identificado con número de camé: **2628673700101.**

Identificado con registro académico: **200715166.**

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química.**

En la modalidad: **Diseño de Investigación, Seminario de Investigación.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Jorge Mario Estrada Asturias, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Carlos Salvador Wong Davi
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
COLEGIADO. No. 561





Guatemala, 9 de septiembre de 2021.

Ref. EIQ.173.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006** del(la) estudiante José Carlos Lemus Ríos, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Williams G. Alvarez Mejia, M.Sc., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



DTG. 426-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS, PARA CUMPLIMIENTO DE ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006**, presentado por el estudiante universitario: **José Carlos Lemus Ríos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Guatemala, agosto de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por hacer cumplir Su Palabra y Sus Propósitos en mi vida. Todo el honor es para Él.
Mis padres	Mayra Eugenia Ríos Ríos y José Arturo Lemus Galán, por su amor y apoyo incondicional en todo momento.
Mis abuelas	Porque seguramente están celebrando este logro conmigo
Mis hermanos	José Arturo y Juan Carlos Lemus Ríos, por ser ejemplo y apoyo en ciertos momentos de mi vida.
Mis sobrinos	Por ser mi inspiración.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudio y formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por todos los conocimientos brindados.
Mi asesor	Por el apoyo y tiempo brindado para hacer posible este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. El agua	3
2.2. El ciclo hidrológico.....	3
2.3. Autodepuración del agua.....	5
2.4. Aguas residuales	7
2.4.1. Principales inconvenientes de las aguas residuales	8
2.4.2. Composición de las aguas residuales	12
2.4.3. Aguas residuales industriales	17
2.4.4. Tratamiento de aguas.....	18
2.4.5. Tratamiento de aguas residuales.....	18
3. DISEÑO METODOLÓGICO	21
3.1. Variables.....	21
3.2. Delimitación del campo de estudio	23

3.3.	Recursos humanos disponibles.....	23
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	24
3.4.1.	Equipo	24
3.4.2.	Cristalería	24
3.4.3.	Reactivos.....	24
3.5.	Técnica cuantitativa.....	25
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	26
3.7.	Tabulación, Ordenamiento y procesamiento de la información.....	27
3.8.	Análisis estadístico	28
3.8.1.	Número de repeticiones.....	28
3.8.2.	Desviación estándar para la dosis de coagulante, y niveladores de pH.....	29
4.	RESUMEN	33
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	39
	CONCLUSIONES	41
	RECOMENDACIONES.....	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo del agua.....	5
2.	Autodepuración del agua.....	7
3.	Procedimiento de toma de muestra y análisis de resultados.....	26

TABLAS

I.	Definición de variables a utilizar	21
II.	Formato para caudal diario de descarga de agua	27
III.	Formato para caracterización fisicoquímica de muestras individuales	27
IV.	Formato para resultados de prueba de jarras	28
V.	Desviación estándar de las dosis óptimas de coagulante, ácido sulfúrico y soda cáustica.	30
VI.	Caudal de agua residual y tiempo de retención en PTAR	33
VII.	Parámetros fisicoquímicos de agua residual	34
VIII.	Resultados de pruebas de jarras.....	35

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
X_i	Cada uno de los datos.
σ	Desviación estándar.
g	Gramos.
\bar{X}	Medio aritmética.
m ³	Metros cúbicos
ml	Mililitro
mg	Miligramo
ppm	Partes por millón
PAC	Policloruro de aluminio
U Pt-Co	Unidades de platino cobalto

GLOSARIO

Aguas residuales	Son las aguas que han recibido un uso y cuyas características han sido modificadas.
Autodepuración	Serie de mecanismos de sedimentación de las partículas presentes en ellas y procesos biológicos que producen la degradación de la materia orgánica existente.
Caracterización	Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.
Caudal	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto por unidad de tiempo.
Clarificación	Técnica altamente utilizada para la remoción de turbiedad y color del agua e implica la utilización de coagulantes o floculantes.
Coagulación	Técnica química de tratamiento de agua que se aplica antes de un proceso físico de separación.
Coagulante	Es una sal metálica o polímero que al ser adicionado al agua es capaz de producir una reacción química

con los componentes del agua forman un precipitado voluminoso.

Contaminante	Es una sustancia o energía introducida en el medio ambiente que tiene efectos no deseados o que afecta negativamente a la utilidad de un recurso.
Espectrofotómetro	Es un instrumento que se utiliza para medir parámetros del agua por medio de la cantidad de luz absorbida después de pasar después de una solución muestra.
Floculación	Proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias químicas se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua facilitando su sedimentación.
flujómetro	Dispositivo utilizado para medir la velocidad de flujo lineal, másico o volumétrico de un gas o líquido.
Parámetro	Variable que permite reconocer, dentro de un conjunto de elementos, a cada unidad por medio de su valor numérico.
pH	Escala utilizada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa.
Policloruro de aluminio	Sal de aluminio utilizada como coagulante para el tratamiento de aguas residuales.

Polución	Es la introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso.
Pozo de absorción	Es una cámara cubierta por paredes porosas que sirve para que las aguas residuales, previamente tratadas, se infiltren lentamente.
Prueba de jarras	Es una prueba de corta duración que permite mediante la observación identificar el comportamiento de las sustancias químicas utilizadas para el tratamiento del agua.
Sedimentación	Es el proceso por el cual se depositan o precipitan los materiales transportados por distintos agentes.
Sólidos suspendidos	Son pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en el agua o debido al movimiento del agua.
Tiempo de retención	Cantidad de tiempo que un líquido permanece en un recipiente.
Trampa de grasa	Es un receptáculo ubicado entre las líneas de drenaje de la fuente o punto generador del residuo líquido y las alcantarillas, esta permite la separación y recolección de grasas y aceites del agua usada.

RESUMEN

El Diseño de Investigación consiste en un análisis de los parámetros de descarga de las aguas de proceso de la fábrica de productos químicos de la empresa Grupo Génesis, que ayude a tomar decisiones para las modificaciones (de ser necesarias), tanto del proceso de producción como de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Actualmente, las aguas residuales de este proceso se están descargando sin ningún tratamiento directamente a un pozo de absorción que se encuentra dentro del complejo industrial, donde están ubicadas las bodegas de esta empresa en estudio. Para poder determinar la mejor solución a este problema se realizaron varias mediciones, principalmente de cantidad y la calidad del agua que se está descargando, para poder definir el tiempo de retención y tipos de tratamientos que serán necesarios para llevar el agua a calidad adecuada para ser descargada.

Luego de conocer la cantidad y calidad del agua residual cruda, se procedió a realizar pruebas de jarras con químicos niveladores de pH, coagulantes y floculantes, para corregir los parámetros fisicoquímicos, como: pH, color y sólidos suspendidos.

Para finalizar la investigación, se envió la muestra final tratada a un laboratorio certificado para realizarle un análisis completo en base a los parámetros regidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para confirmar que estos se encuentren entre los rangos para poder ser descargada en cumplimiento con las normativas.

OBJETIVOS

General

Analizar los parámetros de la planta de tratamiento de aguas residuales actual, con el fin de descargar las aguas en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de Descargas y Reusó de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

Específicos

1. Determinar el caudal promedio diario de las descargas de aguas residuales, utilizando medidores de flujo de agua instalados en la entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Realizar una caracterización de las aguas residuales industriales generadas en el proceso de fabricación de los productos químicos en la empresa Grupo Génesis, S. A.
3. Sugerir un sistema de tratamiento más adecuado para el tratamiento de las aguas residuales en base a la caracterización realizada a las mismas.
4. Sugerir posibles usos de las aguas residuales del proceso de fabricación de productos químicos luego de ser tratadas, con la finalidad de reducir el consumo de agua cruda en el proceso.

INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia química más importante en el planeta. Sin ella no podría existir la vida de ninguna forma. El 97 % de la superficie terrestre está cubierta de agua. A pesar de esto, no toda el agua es utilizable para consumo humano, además de estar siendo muy mal utilizada, descargándola con condiciones no aptas para que pueda ser autodepurada.

La capacidad de autodepuración del agua es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al flujo.

El estudio titulado: Sistemas para la evaluación de proyectos mediante indicadores socioambientales en el Lago de Amatitlán, Guatemala, Méndez Mora, 2012, expone que en la cuenca del lago de Amatitlán existen alrededor de 900 industrias, de las cuales solo el 32 % realiza un tratamiento antes de descargar sus aguas residuales.

El tratamiento de aguas es un conjunto de operaciones unitarias físicas, químicas y biológicas, para la modificación de los parámetros del agua, con el fin de darle las características adecuadas para el respectivo uso que se le desee brindar. En el caso de las aguas de descarga, la intención es llevar estos parámetros a rangos específicos donde el agua tenga la capacidad de depurarse por sí misma, además de evitar que sea un vehículo de contaminación de los cuerpos con los que tenga contacto.

1. ANTECEDENTES

Grupo Génesis, S. A. es una fábrica de productos químicos ubicada en un complejo industrial del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala. Este complejo industrial cuenta con una red de alcantarillado, que conduce las descargas de todas las bodegas hacia pozos de absorción del mismo complejo.

Debido al gran número de productos que Grupo Génesis, S. A. fabrica, y a la variabilidad en sus características fisicoquímicas, en especial, parámetros como pH y color, no se ha logrado obtener una descarga con características homogéneas y constantes que permitan, por lo tanto, darle un mismo tratamiento al agua residual.

Actualmente, se le brinda un tratamiento muy básico al agua residual industrial en la empresa Grupo Génesis, S. A. contando únicamente con una trampa de grasas que, dicho sea de paso, no es funcional por no tener el diseño adecuado, y un tanque para acumulación de sólidos sedimentables. Además, en 12 años de estar ubicados en estas instalaciones no hay antecedentes de mantenimientos a la planta de tratamiento, más que la extracción periódica de lodos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El agua

El agua es una sustancia química cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que se unen mediante enlaces covalentes formando un ángulo de 105° , único entre absolutamente todas las sustancias químicas que existen en el planeta, lo que causa ciertas características especiales e incomparables al agua.

Se le conoce como el líquido vital, debido a que es indispensable para que pueda existir la vida. Otro de los nombres por el que es conocido es disolvente universal, ya que tiene la capacidad de solubilizar casi todas las sustancias que existen en el planeta. Debido a estas y otras características, el agua es utilizada en el 99 % de los procesos. Esto mismo genera múltiples residuos de dicha sustancia líquida luego de ser utilizada, de esta manera se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos y sólidos procedentes de los procesos institucionales, domésticos, industriales y comerciales en los que pueda ser utilizada el agua.

2.2. El ciclo hidrológico

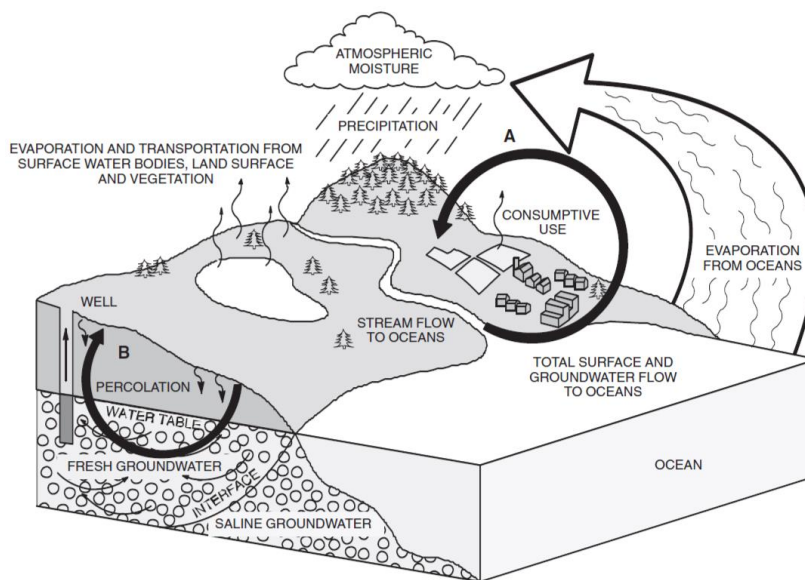
Tres cuartas partes de la superficie de la Tierra está cubierto por agua. Del total de esta, el 97,5 % se encuentra en los océanos y mares de agua salada, únicamente el restante 2,5 % es agua dulce. Del total del agua dulce en el mundo 69 % se encuentra en los glaciares en estado sólido, 30 % se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos. Solamente el 1 % del agua dulce

en el mundo escurre por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos y se depositan en lagos, lagunas y otros cuerpos superficiales de agua y en acuíferos. En conclusión, del 100 % del agua en todo el planeta solamente el 0,007 % de las aguas se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos. De esta pequeñísima porción dependen los procesos sociales vitales, según la Organización Meteorológica Mundial, que lo definió en 1997.

Toda esta agua se repone y recircula naturalmente por el planeta a través del ciclo hidrológico. Como líquido, una de las propiedades del agua es su habilidad de evaporarse. El agua se evapora desde las superficies de los lagos, lagunas, ríos y océanos, también se produce vapor de agua a través de los metabolismos vegetales. El vapor del agua se eleva por la atmosfera, y con forme la temperatura del aire desciende, cierta cantidad del vapor del agua condensa, produciendo nubes. Si la temperatura desciende rápidamente, las gotas de agua se reúnen y caen en forma de lluvia, granizo o nieve, retornando a la superficie de la Tierra. Esto completa uno de los circuitos del ciclo hidrológico.

Una vez en suelo, el agua puede tomar dos principales destinos. Si la tierra no es muy porosa como la arcilla o el granito, el agua recorre a lo largo de la superficie de la tierra y se acumula en lagunas o arroyos, normalmente formando ríos. Este suministro de agua fresca es conocido como agua superficial, y es una de las fuentes más demandadas de agua para la industria y la población. El último destino a lo largo de este camino es el mar. Si el suelo es poroso como el caso de grandes cantidades de arena, el agua es drenada dentro de la tierra. Este fenómeno es llamado percolación. El agua que toma este camino es acumulada en el subsuelo o en rocas porosas. Esta agua es conocida como agua subterránea y es una importante fuente de agua dulce para la industria y la vida doméstica. Las formaciones de rocas que contienen agua son llamados acuíferos. Esto completa el camino en la superficie terrestre del ciclo hidrológico.

Figura 1. **Ciclo del agua**



Fuente: BetzDearborn. *Cooling Operator Training*. p 1-1.

Por lo anterior se puede concluir que, de acuerdo con el documento El Ciclo del Agua del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de Argentina, la cantidad de agua total en el planeta no cambia. El planeta, como un todo, no gana ni pierde materia, tampoco agua. Pero cada vez se reduce más el porcentaje de la cantidad de agua apta para consumo humano, debido las variaciones causadas por los procesos en los que es utilizada y a no devolverla al planeta con las condiciones aptas para que esta tenga la capacidad de autodepurarse.

2.3. **Autodepuración del agua**

Los parámetros de calidad exigibles al agua son tan diversos como tipos de agua que podamos encontrar como aguas subterráneas, continentales,

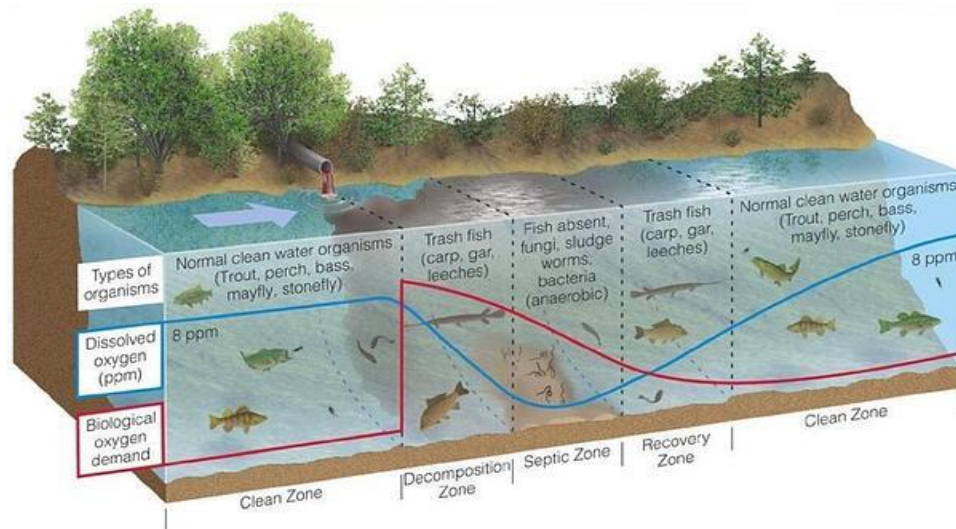
superficiales, en cualquier caso, la naturaleza se encarga de realizar una primera eliminación de las sustancias contaminantes.

En el caso de los ríos, el flujo de agua posee, como es evidente, unos índices de calidad que disminuyen conforme aumentan la proximidad a los núcleos de población. Sin embargo, el agua que encontramos en los tramos altos de los ríos es de muy buena calidad, debido principalmente a los escasos vertidos y a su elevada capacidad de autodepuración.

La autodepuración del agua es un conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas al flujo. Estas son, principalmente, bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua. Además, hay que añadir las plantas acuáticas, que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como mediante otros procesos fotoquímicos.

La capacidad de autoregeneración de una fuente de agua dependerá de los siguientes tres aspectos: el caudal, que permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación; la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio, favoreciendo la actividad microbiana y, la naturaleza y tamaño del vertido que se haya producido a lo largo de su curso.

Figura 2. Autodepuración del agua



Fuente: MOLERO, Jorge; SÁEZ, José; SOLER Antonio. *La autodepuración de corrientes de agua*. p. 43.

A pesar de contar con el inestimable recurso de la autoregeneración, en los grandes caudales de aguas residuales es indispensable contar con la instalación de una completa infraestructura depuradora para poder evitar con ella la contaminación irremediable de los cauces.

2.4. Aguas residuales

Las aguas residuales se pueden definir como cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia de cualquier otra sustancia, haciéndola impropia y peligrosa para toda actividad relacionada con los seres vivos. Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes, principalmente las siguientes:

- Aguas residuales de tipo ordinario: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares. Así como la mezcla de estas que se conduzcan a través de un alcantarillado.
- Aguas residuales especiales: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de estas.

La polución es consecuencia ineludible del desarrollo y la civilización. Esto es explicable, ya que conforme aumenta el desarrollo de las poblaciones, se incrementa a su vez la diversidad de agentes contaminantes que el hombre no se preocupa por destruir o reciclar, o no lo hace en la magnitud suficiente. De esta forma, se acaba saturando el poder autodepurador del medio natural.

La cantidad de aguas residuales que produce una comunidad va en proporción al consumo de agua potable y al grado de desarrollo económico y social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor más diverso uso del agua en las actividades humanas. El informe Aguas Residuales. Composición de Espigares García y Pérez López menciona que, en la práctica, entre el 60 y el 80 % del agua potable consumida se transforma en residual, documento de 1985.

2.4.1. Principales inconvenientes de las aguas residuales

- Malos olores y sabores: son consecuencia de la diversidad de sustancias que portan, sobre todo, de los productos de la descomposición de éstas, especialmente en aquellos procesos, sobre todo anaerobios, en los que se descompone la materia orgánica, con desprendimiento de gases.

- **Acción tóxica:** es el efecto y la repercusión que tienen algunos residuos sobre la flora y fauna natural de las masas hídricas receptoras y sobre los consumidores que utilicen esas aguas, o que se vean afectados por la acumulación de estas sustancias tóxicas en la cadena alimentaria. A este respecto, es importante tener en cuenta que en numerosas ocasiones las aguas residuales se utilizan, sin un tratamiento previo, para el riego de cosechas de verduras y hortalizas, con el enorme riesgo que esto supone, ya que el hombre puede consumirlas crudas, pasando a él directamente la contaminación por tóxicos o microorganismos.

En otras ocasiones, no son directamente los residuos los que provocan la desaparición de los organismos del agua, sino que para la descomposición de las sustancias contaminantes son necesarias grandes cantidades de oxígeno, llegando a agotarse y creando condiciones anóxicas que impiden la vida acuática.

Los efectos tóxicos pueden ser:

- **Letales:** causan muerte por envenenamiento directo.
- **Subletales:** por debajo de los niveles que causan la muerte, pero que pueden afectar el crecimiento, reproducción o actividad de los organismos.
- **Agudos:** causan un efecto (normalmente la muerte) en un corto período de tiempo.
- **Acumulativos:** se incrementa el efecto con dosis sucesivas.

Los compuestos con acción tóxica tienen características y orígenes diversos:

- Compuestos orgánicos de efluentes domésticos e industriales: representan el problema más antiguo de contaminación del agua. Entre estos compuestos se pueden citar los hidrocarburos y los compuestos organometálicos. En los últimos años, también se ha tomado un interés creciente por los agentes tensoactivos, cuyas espumas engloban multitud de microorganismos, inhiben la oxidación química y biológica y dificultan los procesos de tratamiento.
 - Compuestos inorgánicos y minerales: proceden de industrias mineras y de productos químicos inorgánicos. Entre ellos se puede citar: amonio, cianuros, fluoruros, sulfuros, sulfitos y nitritos. También están los metales pesados.
 - Compuestos procedentes de efluentes agrícolas: los residuos agrícolas contienen altos niveles de nitratos, fosfatos, amonio y sulfuros. Pero los compuestos más tóxicos de estos efluentes son los fertilizantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas.
 - Compuestos que se forman durante el tratamiento del agua, asociados al proceso de cloración: los trihalometanos, de los cuales uno de los más peligrosos es el cloroformo, por su posible carácter carcinogénico. La formación de trihalometanos se ve acentuada cuando el agua tiene gran contenido en materia orgánica, como consecuencia de los crecimientos explosivos de algas en los meses estivales.
- Vehículo de infección: el agua que está contaminada por aguas residuales o por excretas del hombre o animales, puede intervenir directa o

indirectamente en la propagación de enfermedades, difundiendo agentes infecciosos procedentes de excretas de enfermos y portadores, que a través de ella puedan llegar al agua de bebida o a las hortalizas, que son regadas con estas aguas, sin tratamiento previo. El vertido al mar de estas aguas contribuye al envenenamiento de peces y mariscos.

- Acción sobre el entorno: además de los problemas ecológicos y sanitarios antes citados, el vertido de aguas residuales en ríos, lagos y mares produce otro tipo de contaminación llamada psicosocial, ya que afecta al entorno natural del hombre, modificando la estética de su paisaje y haciéndolo cada vez más inhóspito. Por ejemplo, en aquellos lugares donde se vierten sustancias coloreadas al agua procedentes de algunas industrias se puede cambiar el color de ésta y afectar a la penetración de la luz.
- Polución térmica: el vertido de aguas procedentes de los procesos de refrigeración industrial aumenta la temperatura de las aguas y puede afectar a los organismos acuáticos, que suelen desarrollarse dentro de un margen de temperatura bien definido.
- Eutrofización: es un proceso que se puede dar de forma natural, pero que puede estar también provocado por la acción del hombre, mediante vertidos ricos en fósforo y nitrógeno. Estos compuestos estimulan el crecimiento desmedido de microflora que puede causar problemas al alterar los caracteres organolépticos y dificultar los tratamientos.
- Contaminación de las aguas subterráneas: este es un problema muy difícil de detectar y casi imposible de eliminar, puesto que, si se detecta la contaminación, ha alcanzado grandes dimensiones y ya es demasiado tarde para actuar.

Se produce por infiltración de los residuos líquidos o sólidos resultantes de la actividad humana, que portan sustancias y microorganismos en aquellos

terrenos que son permeables. También se puede producir por sobreexplotación de acuíferos, cuando se encuentran próximos al mar, dando como resultado la salinización de éstos.

2.4.2. Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento, y las distingue claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible.

La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo. Varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales.

Tres grupos de caracteres se pueden tener en cuenta para los diferentes componentes del agua: Físicos, químicos y biológicos.

2.4.2.1. Características Físicas

- **Temperatura:** suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente de los procesos industriales, aseo y tareas domésticas. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, entre otros. También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura.
- **Turbidez:** se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales con limo, materia orgánica, material coloidal y

microorganismos. Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que provoca una reducción en la productividad primaria.

- Color: resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar que define el concepto de color verdadero, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbidez. El término color aparente engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla, según Severiche.
- Sólidos suspendidos: son retenidos por filtros y visibles.
- Sólidos sedimentables: son capaces de flotar o decantar con el agua en reposo. Son eliminados fácilmente mediante procesos físicos o mecánicos.
- Sólidos coloidales: no sedimentan ni flotan cuando el agua está en reposo, o por lo menos en un tiempo considerable. Tampoco son eliminables por métodos físicos o mecánicos, siendo necesario un proceso de coagulación y floculación.
- Sólidos disueltos: no son efectivas ninguna de las técnicas anteriores para eliminarlos, solo son eliminables en parte mediante cambios de temperatura, pH, mediante efectos quelantes, entre otros. No son perceptibles a la vista.
- Sólidos fijos: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización a 550 °C durante 60 minutos.
- Sólidos totales: residuos que quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130 °C.
- Sólidos volátiles: es la diferencia entre los sólidos totales y sólidos fijos.
- Olor: normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual

reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse a los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

2.4.2.2. Características químicas

- **Materia Orgánica:** la materia orgánica constituye normalmente la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, siendo los principales compuestos que se pueden encontrar: entre 40-60 % de proteínas, 25-50 % de carbohidratos, y 10 % de grasas y aceites.

Se pueden encontrar una serie de parámetros que son de gran interés en el tratamiento de las aguas residuales, puesto que, nos permiten conocer el contenido de materia orgánica de éstas. Los más importantes son:

- **Demanda bioquímica de oxígeno, DBO:** es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua.
- **Demanda química de oxígeno, DQO:** mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación de oxígeno necesario para oxidarla, pero, en este caso, proporcionado por un oxidante químico como el permanganato de potasio o el dicromato de potasio. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica.
- **Carbono orgánico total, COT:** se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura.

El carbono orgánico se oxida a CO₂, en presencia de un catalizador, y se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos.

- Materia inorgánica
 - pH: la actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este aspecto.
 - Nitrógeno total: es esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas; la limitación de nitrógeno puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento. pero, también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, cuando se encuentra en altas concentraciones.
 - Fosforo total: es también esencial para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. al igual que éste, es responsable de la producción de procesos de eutrofización.
 - Metales pesados: algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico: cobre, cromo, boro, plomo, plata, arsénico, antimonio, bario, flúor y selenio. Algunos metales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio se encuentran como elementos trazas en muchas aguas y son necesarios para la vida biológica. Pero cuando alcanzan altas concentraciones pueden

resultar tóxicos, inhabilitando el agua para algunos usos y acumulándose en los organismos y microorganismos acuáticos.

- Gases
 - Oxígeno disuelto: es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas puede conducir a su agotamiento. La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua. Por ello, sus niveles son indicativos del nivel de calidad del agua.
 - Sulfuro de hidrógeno: se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por la reducción de sulfatos a sulfitos minerales. Es un gas incoloro inflamable con un olor característico muy desagradable.
 - Metano: es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad.

2.4.2.3. Características biológicas

El agua puede contener grandes cantidades de organismos, que dependen de condiciones como temperatura y pH para poder desarrollarse. A continuación, se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar.

- Bacterias: pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento. Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100 000 a 400 000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias.
- Virus: proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.
- Algas: su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos como el hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización.
- Protozoos: los que se encuentran más frecuentes en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez.
- Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. En el tratamiento con fangos activados, los hongos, junto a bacterias filamentosas, pueden dar lugar a un problema conocido como *bulking*, debido a que su presencia dificulta la sedimentación de los fangos.

2.4.3. Aguas residuales industriales

Los efluentes industriales deben su diversidad a los procesos de los que proceden y, en función de ellos, pueden tener una composición más o menos constante, o estar sujeta a variaciones cualitativas o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento de las industrias, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción.

2.4.4. Tratamiento de aguas

Este término es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, fisicoquímico o biológico, cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas a unos que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partido como de su destino final.

2.4.5. Tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos de aguas residuales industriales son muy variados, según el tipo de contaminación. Los tratamientos suelen incluir la siguiente secuencia:

- Pretratamiento: busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejas, tamices, desarenadores y trampas de grasas. Dentro de estos, los más utilizados son:
 - Desbaste: es un proceso mediante el cual se eliminan los sólidos de mayor tamaño para evitar entorpecer o dañar los equipos

utilizados para el tratamiento. Comúnmente se utilizan cámaras de reja o cestas con malla metálica que evitan el paso de elementos entre 10 y 20 mm o más.

- Desarenador: como su nombre lo indica, sirve para separar el material terroso o arenoso de carácter no orgánico.
 - Trampa de grasa: se utiliza para remover las grasas que se acumulan en la parte superior del agua.
- Tratamiento primario o tratamiento fisicoquímico: busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química, comúnmente utilizada en el tratamiento de algunas aguas de origen industrial. Algunos métodos utilizados son:
 - Flotación: cuando la materia suspendida tiene una densidad inferior o similar a la del agua no ocurre sedimentación, por lo tanto, es necesario aplicar este proceso, que consiste en generar una gran cantidad de burbujas de aire que dirigirán hacia arriba estas partículas, dando como resultado su concentración en la superficie. De esta forma queda un sobrenadante fácil de remover. Este método es ideal para la remoción de aceites, grasas y emulsiones.
 - Coagulación y floculación: hay casos que la materia en suspensión está formada por partículas muy pequeñas que no son capaces de sedimentar o lo hacen demasiado lento. En estas situaciones se agregan sustancias químicas que generan la coagulación de estas partículas y favorecen su floculación y sedimentación.
- Tratamiento secundario o tratamiento biológico: se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa

de eliminar por tratamientos fisicoquímicos. Suele aplicarse tras los anteriores. Consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica en sus diversas variantes de fangos activados, lechos de partículas, lagunas de oxidación y otros sistemas, o en su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final.

- Tratamiento terciario: de carácter fisicoquímico o biológico. Desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

En la tabla a continuación se describen las variables del estudio en investigación.

Tabla I. Definición de variables a utilizar

VARIABLE	DIMENSIONAL	DESCRIPCIÓN
Caudal total	galones por minuto	cantidad de agua total que ingresa al proceso de producción
Caudal de producción	galones por minuto	cantidad de agua utilizada para la producción de productos
Caudal aguas residuales	galones por minuto	Cantidad de agua descargada al pozo de absorción
Volumen	galones	Capacidad de los tanques de descarga de aguas residuales
Tiempo de retención	horas	Tiempo que queda retenida el agua de descarga en los tanques
Temperatura	°C	Parámetro de agua residual
Grasas y aceites	ppm	Parámetro de agua residual
Materia flotante	ppm	Parámetro de agua residual
Sólidos suspendidos	ppm	Parámetro de agua residual
Nitrógeno total	ppm	Parámetro de agua residual

Continuación tabla I.

VARIABLE	DIMENSIONAL	DESCRIPCIÓN
Fósforo total	ppm	Parámetro de agua residual
pH		Parámetro de agua residual
Coliformes fecales	NMP	Parámetro de agua residual
Arsénico	ppm	Parámetro de agua residual
Cadmio	ppm	Parámetro de agua residual
Cianuro total	ppm	Parámetro de agua residual
Cobre	ppm	Parámetro de agua residual
Cromo hexavalente	ppm	Parámetro de agua residual
Mercurio	ppm	Parámetro de agua residual
Níquel	ppm	Parámetro de agua residual
Plomo	ppm	Parámetro de agua residual
Zinc	ppm	Parámetro de agua residual
Color	Un Pt-Co	Parámetro de agua residual
Dosis ácido sulfúrico	ppm	Cantidad de ácido sulfúrico adicionada para obtener pH de muestra menor a 9
Dosis soda cáustica	ppm	Cantidad de soda cáustica adicionada para obtener un pH mayor a 6
Dosis policloruro de aluminio	ppm	Cantidad de policloruro de aluminio adicionada para reducir los sólidos suspendidos y color de la muestra de agua

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Grupo Génesis cuenta con tres bodegas en un parque industrial. Dos de las tres bodegas son únicamente de almacenamiento y oficinas administrativas que tienen los drenajes interconectados directamente a las líneas de descarga al pozo de absorción. La tercera bodega, donde se encuentra instalada la planta de producción, es donde está ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales a la que se desea sugerir la modificación en este estudio.

Se evaluó los parámetros de descarga del agua residual del proceso de fabricación de productos químicos para determinar si es posible continuar descargando el agua sin ninguna modificación al proceso o, de no ser así, proponer soluciones al proceso para alcanzar los parámetros los parámetros regulados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: José Carlos Lemus Ríos
- Gerente de Producción Grupo Génesis: Lic. Nelly Castañeda
- Jefe de Mantenimiento Grupo Génesis: Sergio Lopez
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias.

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos necesarios para la realización del estudio son:

3.4.1. Equipo

- Balanza analítica electrónica 220/0,0001 g, Marca OHAUS.
- Espectrofotómetro portátil Marca HACH, Modelo DR900.
- Equipo para test de jarras de 6 recipientes.
- pHmetro Marca PCE, Modelo PCE-228.

3.4.2. Cristalería

- Probeta de 100 mL
- Pipeta serológica de 2 mL
- Pipeta serológica de 5 mL
- Balón aforado de 100 mL

3.4.3. Reactivos

- Policloruro de aluminio, coagulante
- Polímero aniónico de alto peso molecular, floculante
- Soda cáustica
- Ácido sulfúrico 98 %.

3.5. Técnica cuantitativa

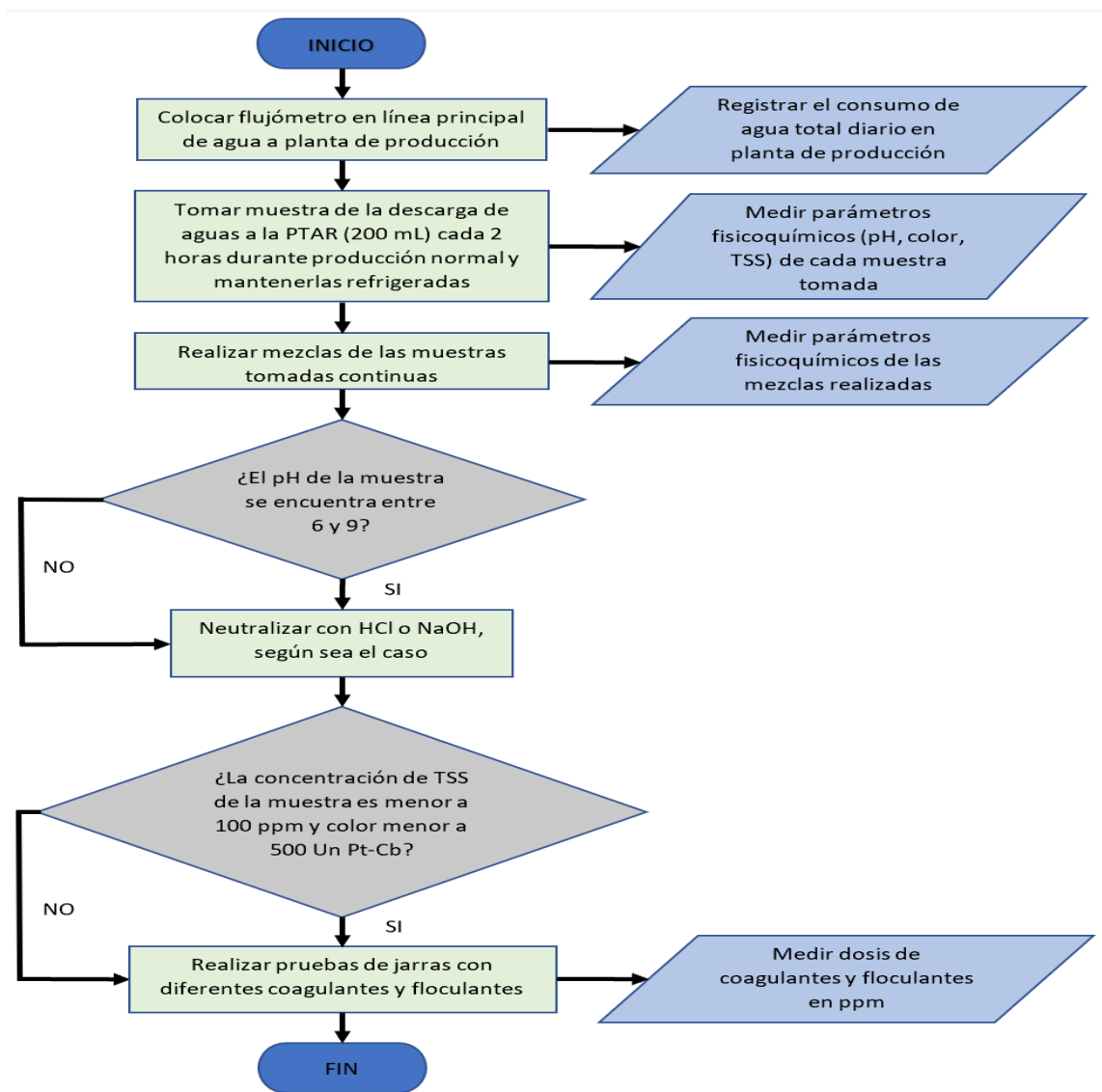
Se llevaron a cabo técnicas cuantitativas para calcular el caudal promedio de descarga de aguas residuales. Además, se realizará la caracterización del agua residual cruda y el agua residual con el tratamiento propuesto, analizando los siguientes parámetros: Temperatura, Grasas y aceites, Materia flotante, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total, potencial de hidrógeno, coliformes fecales, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, color y DQO.

Con respecto al tratamiento propuesto, se aplicaron técnicas cuantitativas para determinar las concentraciones de productos químicos necesarias para llevar el agua a la calidad óptima para ser descargada.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación, se describe el procedimiento a realizar para poder recopilar los datos necesarios y analizar los resultados.

Figura 3. Procedimiento de toma de muestra y análisis de resultados



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.7. Tabulación, Ordenamiento y procesamiento de la información

Se elaboraron las tablas siguientes para el ordenamiento de los datos obtenidos en la investigación.

Tabla II. **Formato para caudal diario de descarga de agua**

FECHA	Medición flujómetro (m ³)	Caudal Diario Total (m ³)	Caudal Diario Producción (m ³)	Caudal Diario PTAR (m ³)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla III. **Formato para caracterización fisicoquímica de muestras individuales**

No.	FECHA	HORA	pH	Color (Un Pt-Co)	TSS (ppm)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla IV. **Formato para resultados de prueba de jarras**

MUESTRA	DOSIS (ppm)				pH	Color (Un Pt-Co)	TSS (ppm)
	Policloruro de aluminio	Floculante	Ácido sulfúrico	Soda Cáustica			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.8. Análisis estadístico

Para poder determinar la correlación entre los resultados de las dosis de los respectivos productos se realizó un análisis de la desviación estándar, tomando en cuenta el número de repeticiones necesarias para un nivel de confianza del 95 %.

3.8.1. Número de repeticiones

Cálculo de número de repeticiones de pruebas de jarras para cada muestra.

$$N = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 * p * q}{E^2} \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde

N = número de corridas

$Z_{\alpha/2}$ = área bajo la curva con un nivel de confianza del 95 %.

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

E = error máximo.

El número de repeticiones calculado corresponde a un nivel de confianza del 95 %. Equivale a la proporción de éxito y una proporción de fracaso del 5 % con un error máximo del 25 %.

$$N = \frac{(1,96)^2 * 0,95 * 0,05}{0,25^2} = 2,919$$

Se realizarán 3 corridas por muestra.

3.8.2. Desviación estándar para la dosis de coagulante, y niveladores de pH.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

Donde

σ = desviación estándar

X_i = dosis óptima de coagulante en ppm.

\bar{X} = media aritmética

N = número de datos.

Ejemplo: Desviación estándar para la dosis de ácido sulfúrico aplicada a la muestra 1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(25 - 30,33)^2 + (32 - 30,33)^2 + (34 - 30,33)^2}{2}} = 4,72$$

Tabla V. **Desviación estándar de las dosis óptimas de coagulante, ácido sulfúrico y soda cáustica.**

MUESTRA	dosis óptima (ppm)	Media	Desviación estándar	Ácido sulfúrico	Media	Desviación estándar	Soda Cáustica	Media	Desviación estándar
1				25	30,33	4,73			
				32					
				34					
2				57	60,00	3,61			
				59					
				64					
3	134	127,00	6.24	187	179,00	8,54			
	125			180					
	122			170					
4				45	42,33	2,52			
				42					
				40					
5				120	119,00	3,61			
				122					
				115					
6	50	46,67	2.89	120	116,67	2,89			
	45			115					
	45			115					
7				95	93,33	2,89			
				90					
				95					
8							55	57,67	2,52
							58		
							60		
9							60	60,00	0,00
							60		
							60		
10	250	253,33	5,77				50	47,67	2,52
	260					48			
	250					45			
11	800	818,33	17.56				40	41,33	1,15
	835					42			
	820					42			

Continuación tabla V.

MUESTRA	dosis óptima (ppm)	Media	Desviación estándar	Ácido sulfúrico	Media	Desviación estándar	Soda Cáustica	Media	Desviación estándar
12	75	76,67	2,89	120	122,33	2,52			
	80			125					
	75			122					
15				35	33,33	2,89			
				35					
				30					
16	60	61,67	2,89	45	47,67	2,52			
	65			50					
	60			48					
17				125	121,67	2,89			
				120					
				120					
18				60	57,67	2,52			
				58					
				55					
19				95	96,00	1,73			
				95					
				98					
20				15	11,67	2,89			
				10					
				10					
24							60	63,33	2,89
							65		
							65		
25							60	58,33	2,89
							60		
							55		
26							65	60,00	5,00
							60		
							55		
27							55	56,67	2,89
							55		
							60		

Continuación tabla V.

MUESTRA	dosis óptima (ppm)	Media	Desviación estándar	Ácido sulfúrico	Media	Desviación estándar	Soda Cáustica	Media	Desviación estándar
28				180	183,33	2,89			
				185					
				185					
29				95	90,00	5,00			
				90					
				85					
30				65	63,33	2,89			
				65					
				60					
31				50	51,67	2,89			
				55					
				50					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4. RESUMEN

Tabla VI. Caudal de agua residual y tiempo de retención en PTAR

FECHA	Medición flujómetro (m3)	Caudal Total (m3)	Caudal Producción (m3/día)	Caudal PTAR (m3/día)	Volumen Tanque (m3)	Tiempo de retención (días)
28-sep	23	3,00	2,52	0,48	4,5	9,37
29-sep	30	7,00	5,53	1,47		3,06
30-sep	32	2,00	0,54	1,46		3,08
1-oct	40	8,00	7,45	0,55		8,12
2-oct	50	10,00	8,38	1,62		2,79
5-oct	59	9,00	7,92	1,08		4,18
6-oct	69	10,00	8,21	1,79		2,52
7-oct	72,6	3,60	3,15	0,45		9,94
8-oct	81,3	8,70	6,78	1,92		2,34
9-oct	87,9	6,60	5,08	1,52		2,96
12-oct	95,30	7,40	5,82	1,58		2,85
13-oct	98,80	3,50	3,04	0,46		9,78
14-oct	102,80	4,00	3,20	0,80		5,63
15-oct	110,40	7,60	6,27	1,33		3,38
16-oct	112,90	2,50	1,89	0,61		7,38
19-oct	120,90	8,00	6,21	1,79		2,51
21-oct	123,90	3,00	2,62	0,38		11,84
22-oct	133,90	10,00	8,62	1,38		3,26
23-oct	138,20	4,30	3,82	0,48		9,38

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VII. **Parámetros fisicoquímicos de agua residual**

No.	FECHA	HORA	pH	Color (Un Pt-Co)	TSS (ppm)
1	12-oct	10:00	9,71	560	63
2		12:00	10,41	170	40
3	13-oct	07:00	12,33	835	99
4		10:00	10,02	460	48
5		12:00	12,3	714	70
6		16:00	12,25	778	64
7	14-oct	07:00	11,7	284	28
8		10:00	4,21	317	22
9		12:00	4,23	351	24
10		16:00	4,69	2981	63
11	15-oct	07:00	4,81	107421	16337
12		10:00	12,57	882	46
13		12:00	7,3	522.5	28
14		16:00	7,69	533	18
15	16-oct	07:00	9,92	726	18
16		10:00	10,22	814	34
17		12:00	12,37	418	43
18		16:00	10,41	325	28
19	19-oct	07:00	11,81	242	38
20		10:00	9,34	478	15
21		12:00	7,3	405	27
22		16:00	7,54	312	28
23	21-oct	07:00	7,88	355	25
24		10:00	4,39	589	36
25		12:00	4,32	617	30
26		16:00	4,17	715	84
27	22-oct	07:00	4,28	704	62
28		10:00	12,84	308	23
29		12:00	11,32	255	28
30		16:00	10,54	414	23
31	23-oct	07:00	10,18	489	14
32		10:00	8,21	327	38

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VIII. Resultados de pruebas de jarras

MUESTRA	DOSIS ÓPTIMA (ppm)			pH	Color (Un Pt-Co)	TSS (ppm)
	dosis óptima (ppm)	Ácido sulfúrico	Soda Cáustica			
1		25		8,85	549	61
		32		8,76	553	63
		34		8,77	558	59
2		57		8,91	173	42
		59		8,91	169	40
		64		8,85	170	39
3	134	187		6,32	650	35
	125	180		6,5	656	28
	122	170		6,8	702	23
4		45		8,53	468	45
		42		8,75	470	43
		40		8,42	466	50
5		120		8,64	718	70
		122		8,69	716	68
		115		8,65	719	71
6	50	120		8,74	709	55
	45	115		8,83	715	59
	45	115		8,81	718	55
7		95		8,43	284	32
		90		8,54	280	33
		95		8,49	283	29
8			55	6,32	322	22
			58	6,57	315	22
			60	6,8	318	20
9			60	6,54	345	22
			60	6,22	343	27
			60	6,43	348	30
10	250		50	6,7	725	23
	260		48	6,56	708	18
	250		45	6,68	734	28

Continuación tabla VIII.

MUESTRA	DOSIS ÓPTIMA (ppm)			pH	Color (Un Pt-Co)	TSS (ppm)
	dosis óptima (ppm)	Ácido sulfúrico	Soda Cáustica			
11	800		40	6,34	743	54
	835		42	6,32	698	68
	820		42	6,52	710	63
12	75	120		8,95	705	12
	80	125		8,82	695	18
	75	122		8,87	713	20
15		35		8,82	726	19
		35		8,75	732	16
		30		8,92	735	18
16	60	45		8,95	738	15
	65	50		8,78	708	10
	60	48		8,82	735	11
17		125		8,56	418	41
		120		8,7	422	42
		120		8,81	432	43
18		60		8,72	320	32
		58		8,84	325	35
		55		8,69	333	32
19		95		8,83	245	42
		95		8,9	244	38
		98		8,9	238	35
20		15		8,78	478	15
		10		8,85	477	19
		10		8,88	470	19
24			60	6,08	595	38
			65	6,15	590	32
			65	6,18	588	31
25			60	6,78	615	24
			60	6,66	618	27
			55	6,34	622	30

Continuación tabla VIII.

MUESTRA	DOSIS ÓPTIMA (ppm)			pH	Color (Un Pt-Co)	TSS (ppm)
	dosis óptima (ppm)	Ácido sulfúrico	Soda Cáustica			
26			65	6,54	725	90
			60	6,58	713	89
			55	6,76	725	92
27			55	6,85	709	65
			55	6,89	711	69
			60	6,75	702	72
28		180		8,92	308	19
		185		8,87	302	21
		185		8,75	314	15
29		95		8,82	260	34
		90		8,85	256	31
		85		8,82	255	30
30		65		8,9	424	24
		65		8,75	420	24
		60		8,77	418	28
31		50		8,88	478	16
		55		8,65	477	18
		50		8,68	485	19

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó un análisis completo de la descarga de aguas de producción en la empresa Grupo Génesis, iniciando por las mediciones de caudales. El flujo de descarga de agua residual fue determinado por la diferencia entre el consumo de agua total en la planta de producción y el consumo de agua utilizado directamente para la fabricación de productos químicos. El agua de descarga se mantiene entre el 15 y 20 % en relación con el consumo de agua total.

El agua de residual se descarga a un tanque de captación que fue medido para obtener el volumen y determinar el tiempo de retención para cada uno de los caudales medidos al ingreso de este tanque. Los tiempos de retención, según cálculos teóricos, se encuentran entre 2 hasta 9 días. En la práctica este tiempo no es el real debido a que el tanque tiene la entrada y salida en la parte superior al mismo nivel, es decir, el agua que ingresa casi inmediatamente sale del tanque, y esto reduce el tiempo de retención de la parte superior casi a cero y lo aumenta en el agua que se encuentra en el fondo, manteniendo la mayor cantidad de agua estancada por bastante tiempo.

Se tomaron 4 muestras de agua de descarga diarias durante un mes hábil de producción, lo que dio resultado un total de 34 muestras, a las cuales se les determinó algunos parámetros fisicoquímicos como pH, color, y sólidos suspendidos totales. Del total de número de muestras obtenidas, únicamente el 23 % tiene las características aptas para ser descargadas sin ningún tratamiento, tomando como base reglamentaria la etapa 3 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. El 67 % restante dio como resultado un pH mayor a 9 o menor a 6, que es el rango regulado para este parámetro. Además, el 15 % de las muestras resaltó

un resultado de la medición de color mayor a 750 unidades de platino – cobalto, lo que hace necesario reducir este parámetro por debajo de este rango. Solamente una muestra del total obtenidas dio como resultado una cantidad de solidos suspendidos mayor a 150 partes por millón, que también es reducido con el mismo tratamiento que se aplica para disminución de color, por lo que este parámetro está controlado en la totalidad de las muestras.

El tratamiento utilizado en esta investigación para lograr obtener la reducción de color hasta el límite regulado fue el de coagulación y floculación. El objetivo de este tipo de tratamiento es separar los contaminantes que le añaden el color al agua logrando su sedimentación, y retirando el agua clara por la parte superior. Con esto se entiende que este tipo de tratamiento produciría una mayor cantidad de lodos que sería necesario estar retirando cada cierto tiempo.

Con base en los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de agua obtenidas de la descarga de aguas de proceso, se determinó que la calidad del agua no es para nada uniforme y depende de las características de los productos que se estén fabricando en la planta de producción. Esto implica que cualquier decisión del tipo de tratamiento que se necesite aplicar para llevar las características del agua aptas para descarga también deben de ser muy flexibles y adaptables a la variabilidad de las condiciones del agua de ingreso, tanto en calidad como en cantidad.

CONCLUSIONES

1. El caudal promedio del agua que es descargada del proceso varía entre 0,5 y 1,5 metros cúbicos al día, y depende directamente del número de lotes de productos que sean fabricados.
2. La calidad del agua de descarga depende directamente del tipo de producto que se sea fabricado.
3. El 67 % del caudal de agua descargada al pozo de absorción no cumple con los parámetros reglamentados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. El parámetro del agua de descarga que sale de los límites regulados es principalmente el pH.
5. El tratamiento recomendado para regulación de pH es aplicación de ácido sulfúrico y soda cáustica, y las dosis óptimas van a variar dependiendo de la calidad de agua que se descargue.
6. El tratamiento recomendado para la reducción de color es aplicación de coagulante y floculante con dosis óptimas variables al igual que la calidad del agua de descarga.
7. No es posible sugerir la reutilización del agua de descarga luego del tratamiento comprobado en esta investigación.

RECOMENDACIONES

1. Realizar, en la medida de lo posible, una mejora en la planificación de la producción, con una mezcla de los productos con diferentes características que permita la neutralización total o parcial del agua de descarga para disminuir el consumo de los reactivos neutralizantes.
2. Modificar el diseño del tanque de captación colocando una tubería que obligue el ingreso del agua por la parte inferior del tanque y colocar deflectores para homogenizar de una mejor manera el agua y aumentar el tiempo de retención.
3. Implementar un sistema de dosificación de ácido sulfúrico y soda caustica enlazado a una medición de pH continua para mantener un rango de pH en el agua de descarga que cumpla con las regulaciones.
4. Implementar un procedimiento de toma de muestras diarias y análisis de los parámetros básicos como pH, color y sólidos suspendidos, para garantizar el cumplimiento de reglamentaciones de descarga y, de no ser así, aplicar los tratamientos necesarios para lograrlo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BETZDEARBORN. *Cooling Operator Training*. 1997. 88 p.
2. ESPIGARES GARCÍA, Miguel; PÉREZ LÓPEZ, José Antonio. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985. 215 p.
3. MENDEZ MORA, Ángela María. *Elaboración y Ejemplificación de un Sistema para la Evaluación de Proyectos Mediante Indicadores Socioambientales en la Cuenca del Lago de Amatitlán, Guatemala*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2013. 174 p.
4. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Guatemala: 2005. 9 p.
5. MOLERO, Jorge; SÁEZ, José; SOLER, Antonio. *La autodepuración de corrientes de agua*. Madrid: Revista de bachillerato. No. 18. 1981. 49 p.
6. SEVERICHE, Carlos Alberto; CASTILLO, Marlon Enrique. *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Colombia: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. 2013. 102 p.

7. TORRES, Ivan Ernesto. *Propuesta de Mejoramiento de las operaciones de la planta de tratamiento de agua residual en el Municipio de la Calera (Cundinamarca)*. Universidad Católica de Colombia. 2016. 62 p.