

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DEL
PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE AGUAS
GASEOSAS PARA SU USO COMO AGUA DE
REGADÍO**

PRESENTADO POR:

MARTIN HUGO CASTILLO GUERRA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

ASESOR:

Dr. JOSE ANTONIO LEGUA CARDENAS

HUACHO - 2021

**TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DEL PROCESAMIENTO
INDUSTRIAL DE AGUAS GASEOSAS PARA SU USO COMO AGUA
DE REGADÍO**

MARTIN HUGO CASTILLO GUERRA

TESIS DE DOCTORADO

ASESOR: Dr. JOSE ANTONIO LEGUA CARDENAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

HUACHO

2021



DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis a mis padres Hugo y Aurora, por haberme forjado, como la persona que soy en la actualidad.

A mi esposa Liz y mi hijo Diego, que son mi inspiración y motivación.

Haga clic aquí para escribir

AGRADECIMIENTO

Agradezco el invaluable apoyo de mi asesor y a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron en lograr la culminación del presente trabajo de investigación.



ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Delimitaciones del estudio	3
1.6. Viabilidad del estudio	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.1.1. Investigaciones internacionales	4
2.1.2. Investigaciones nacionales	5
2.2. Bases Teóricas	8
2.3. Bases filosóficas	17
2.4. Definición de términos básicos	18
2.5. Hipótesis de investigación	20
2.5.1. Hipótesis General	20
2.5.2. Hipótesis específica	20
2.6. Operacionalización de las variables	20
CAPÍTULO III	22
METODOLOGÍA	22
3.1. Diseño metodológico	22
3.2. Población y muestra	22

3.2.1.	Población	22
3.2.2.	Muestra	23
3.3.	Técnicas de recolección de datos	23
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información	24
CAPITULO IV		25
RESULTADOS		25
4.1.	Análisis de resultados	25
4.1.1.	Estaciones de Monitoreo	25
4.1.2.	Métodos de Análisis Empleados	26
4.1.3.	Normativa Legal	27
4.1.4.	Resultados obtenidos experimentalmente antes y después del tratamiento	29
4.1.5.	Diseño de procesos y equipamiento utilizado en la investigación	31
4.2.	Contrastación de hipótesis	38
CAPÍTULO V		42
DISCUSIÓN		42
5.1.	Discusión de resultados	42
CAPÍTULO VI		44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		44
6.1.	Conclusiones	44
6.2.	Recomendaciones	46
REFERENCIAS		47
ANEXO 1		49
ANEXO 2		50
ANEXO 3		51
ANEXO 4		52

RESUMEN

Las fábricas de aguas gaseosas utilizan el agua subterránea por pozos propios, para atender sus diferentes actividades fabriles, generándose en cada una de las etapas de procesamiento aguas residuales con diferentes características fisicoquímicas, predominando los contenidos orgánicos azucarados. En la actualidad se vive a nivel mundial escasez de agua potable su disponibilidad se hace más difícil con el transcurso de los años diversas causas entre ellas: el incremento poblacional, la contaminación de las aguas dulces, la paulatina desaparición de glaciares entre otras causas. Por lo que se hace justificable cualquier iniciativa tecnológica para reciclar o reusar un agua residual, siéndole más viable esta opción cuando el agua procede de una fábrica de aguas carbonatada de consumo humano.

El objetivo del presente proyecto de investigación fue presentar un tratamiento para el efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su utilización como agua de regadío. Los parámetros fisicoquímicos del agua residual muy relacionados con su calidad o grado de contaminación predominante orgánica se reflejan en los parámetros fisicoquímicos siguientes: DBO_5 (mg/L), Sólidos Totales Suspendedos (mg/L) y Aceites y Grasas (mg/L)

Para aplicar el programa estadístico Minitab se utilizó la información contenida en el Cuadro 11, a fin de dar confiabilidad a las hipótesis planteadas a partir de los resultados más relevantes del tratamiento aplicado, estadísticamente se apreció una significancia al 5% para el parámetro fisicoquímico DBO_5 de acuerdo a la información mostrada en los Anexo 1 y 4, según se muestra la correlación de significancia en los siguientes resultados: $P = 0.005 < 0.05$ y $F = 11.71 > 4.74$

Para el parámetro de concentración de Aceites y Grasas utilizando la información de los Anexos 2 y 4, se encontraron los siguientes valores para “P” y “F”, para la correlación de las variables de entrada y salida, $P = 0.05 = 0.05$ y $F = 7.68 < 7.70$

Se observa una tendencia a la significancia muy ajustada, según nos indica la existencia de una correlación de esta data experimental respecto a la remoción de los aceites de grasas utilizando los métodos fisicoquímicos implementados en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Efluentes, procesamiento industrial, aguas carbonatadas.



ABSTRACT

The carbonated water factories use groundwater through their own wells to attend to their different manufacturing activities, generating wastewater with different physicochemical characteristics in each of the processing stages, predominantly sugary organic content. Currently, there is a global shortage of drinking water, its availability becomes more difficult over the years, various causes including: population increase, contamination of fresh water, the gradual disappearance of glaciers, among other causes. Therefore, any technological initiative to recycle or reuse waste water is justifiable, this option being more viable when the water comes from a carbonated water factory for human consumption.

The objective of this research project was to present a treatment for the effluent from the industrial processing of carbonated waters for its use as irrigation water.

The physicochemical parameters of wastewater closely related to its quality or degree of predominant organic contamination are reflected in the following physicochemical parameters: BOD5 (mg / L), Total Suspended Solids (mg / L) and Oils and fats (mg / L)

To apply the statistical program Minitab, the information contained in Table 11 was used, in order to give reliability to the hypotheses raised from the most relevant results of the applied treatment, statistically a significance was observed at 5% for the physicochemical parameter BOD5 of According to the information shown in Annexes 1 and 4, as the significance correlation is shown in the following results: $P = 0.005 < 0.05$ and $F = 11.71 > 4.74$

For the parameter of concentration of Oils and Fats, using the information from Annexes 2 and 4, the following values were found for "p" and "F", for the correlation of the input and output variables, $P = 0.05 = 0.05$ and $F = 7.68 < 7.70$

There is a very tight trend towards significance, as indicated by the existence of a correlation of this experimental data regarding the removal of oils from fats using the physicochemical methods implemented in the wastewater treatment plant.

Keywords: Effluents, industrial processing, carbonated waters.

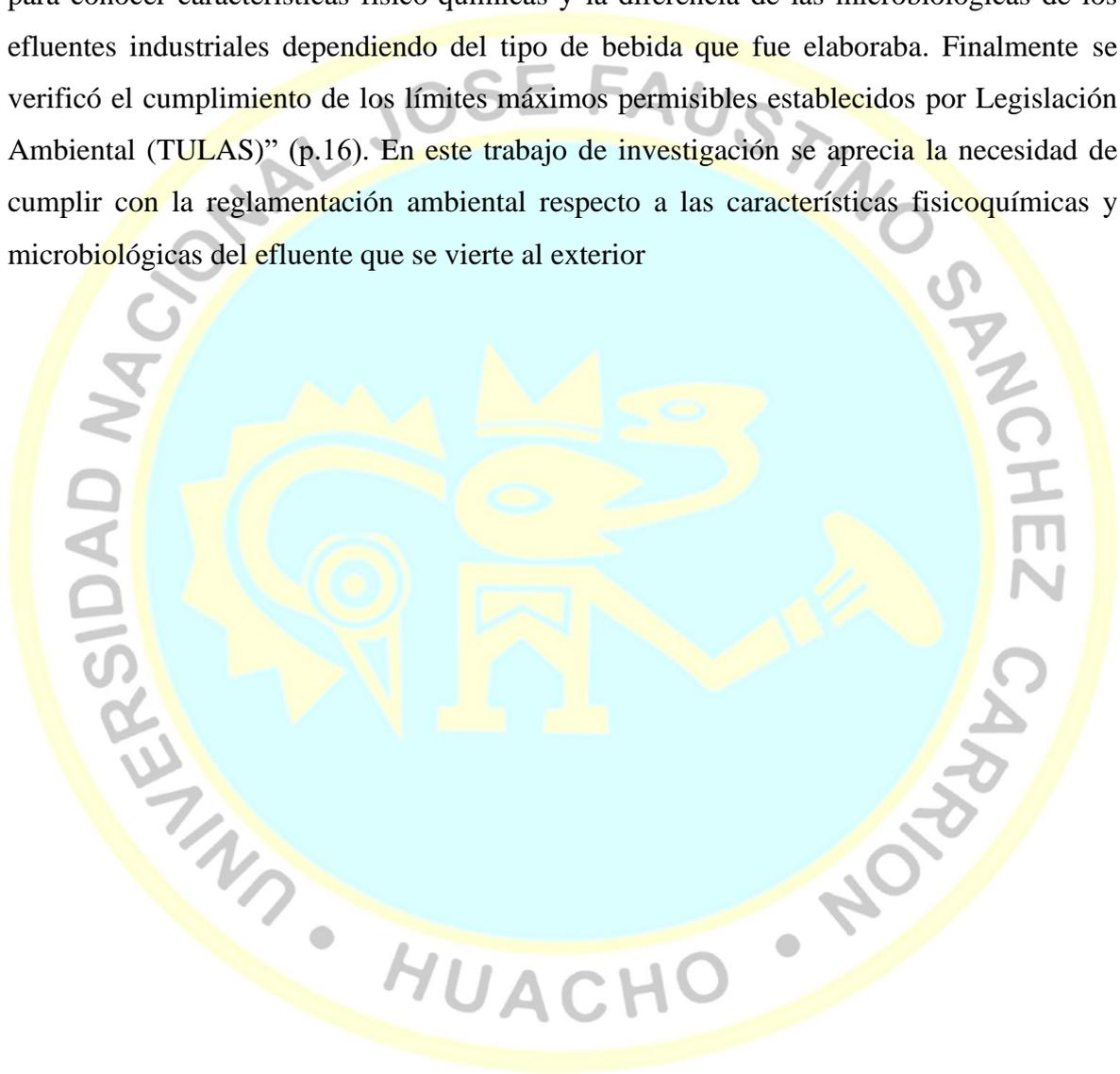


INTRODUCCIÓN

La provincia de Huaura entre otras dispone del importante recurso no renovable de agua subterránea, que se utiliza como agua de proceso y de servicio para importantes industrias que desarrollan sus diferentes actividades en la provincia, entre ellas las fábricas de aguas gaseosas, que utilizan el agua subterránea extraída en pozos propios instalados en las fabricas, las utilizan para sus diferentes actividades fabriles, generándose en cada una de las etapas de procesamiento para sus diversos productos aguas residuales con diferentes características fisicoquímicas, predominando los contenidos orgánicos azucarados y colorantes contaminantes. Hoy en día se vive a nivel mundial escasez de agua potable su disponibilidad se hace más difícil con el transcurso de los años diversas causas entre ellas: el incremento poblacional, la contaminación de las aguas dulces, la paulatina desaparición de los glaciares, la disminución de las fuentes naturales de aguas subterráneas. Ante esta realidad de falta de agua y su incremento en su costo se requiere el planteamiento de investigaciones que impliquen tratamientos para recuperar, reciclar, reusar las aguas residuales o efluentes acuosos industriales. En el caso de los efluentes acuosos procedentes de fábricas de bebidas carbonatadas y de otras que utilizan alimentos en estado líquido o sólido, tienen mayor opción de aplicar tratamientos para transformar sus efluentes en aguas de menor impacto hacia el ambiente e incluso obtener productos con propiedades fertilizantes, teniendo en cuenta la disponibilidad de los nutrientes de la materia orgánica inicial del(os) alimento(os) en particular que pudiera utilizar la empresa.

En relación a los daños ambientales que pudieran ocasionar los efluentes no tratados depende de las características fisicoquímicas de estas aguas residuales, al respecto Rodriguez y Espinola (2011) nos indican en su estudio que “.tuvo como objetivo evaluar los efluentes industriales descargados por la Industria Embotelladora de Bebidas Gaseosas The Tesalia Springs Company hacia el Río San Pedro, en la Parroquia Machachi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, y como finalidad conocer las características de los efluente y si la industria cumple con la Legislación Ambiental, a través de la determinación de análisis físico-químicos y microbiológicos. En la industria, la composición de los efluentes industriales varió con el tipo de proceso que se llevó a cabo, siendo ésta una industria destinada a la elaboración de bebidas gaseosas se utilizó el agua como materia prima, como medio de producción, para saneamientos o para el lavado de equipos, tanques y envases de vidrio. A medida, que el agua utilizada recorre el proceso de producción se va cargando de

contaminantes. Se inicio identificando el desfogue de las descargas de efluentes provenientes de las diferentes áreas de la industria, para revelar la cantidad que fue descargada hacia el Río San Pedro, durante diez días de producción se determinó caudales, y para conocer las características de los efluentes se analizó: pH, temperatura, DBO, DQO, nitrógeno, detergentes, sólidos sedimentables, color, coliformes totales y fecales y mediante la aplicación del programa estadístico STATGRAPHICS PLUS, se comparó entre muestras para conocer características físico-químicas y la diferencia de las microbiológicas de los efluentes industriales dependiendo del tipo de bebida que fue elaboraba. Finalmente se verificó el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por Legislación Ambiental (TULAS)” (p.16). En este trabajo de investigación se aprecia la necesidad de cumplir con la reglamentación ambiental respecto a las características fisicoquímicas y microbiológicas del efluente que se vierte al exterior



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Existe una urgente necesidad de la población en el mundo, liderada y explicada esta preocupación por grupos especialistas, entre ellos por la corriente ambientalista por reutilizar el agua, ya se realiza este proceso de reciclar el agua a nivel industrial y doméstico en el Perú y otros países del mundo, es ya un procedimiento aceptado por las autoridades del agua y esta normado su utilización en el Perú por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se aplica en aquellas zonas donde la falta de agua es ya un problema y se tiene la necesidad de ver opciones de recuperación del agua utilizada, para cubrir necesidades ya sea como agua de proceso en el caso de las industrias, como agua de regadíos para los campos de cultivos y/ o parques y jardines , como agua de limpieza para uso doméstico.

En el caso de las fábricas gaseosas generan una importante cantidad de metros cúbicos de agua, como efluentes o aguas residuales en sus diferentes etapas de procesamiento de la aguas gaseosas y otros productos de aguas bebibles para consumo humano, en este caso se hace necesario reutilizar estas aguas luego de pasar un tratamiento adecuado y con la debida justificación técnica, económica y ambiental a fin de obtener un producto con determinadas características fisicoquímicas y microbiológicas que califique su uso para determinadas necesidad según la normatividad de aguas vigente, sería un gran error y una muestra del desconocimiento de la realidad de la falta de agua el hecho de verter estas aguas residuales a la alcantarilla con destino final al mar, con el perjuicio adicional de contaminar más a este importante cuerpo de agua.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo el tratamiento de los efluentes del procesamiento industrial de aguas gaseosas influye en su uso como agua de regadío?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cómo el análisis antes y después del efluente influye en el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío?
2. ¿Cómo el diseño de etapas de tratamiento del efluente influye en el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío?
3. ¿Cómo separación mecánica de partículas por sistema de reja curva influye en el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío?
4. ¿Cómo la dosificación de agentes floculantes, de flotación y biotratamiento influye en el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Tratar los efluentes del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar antes y después del tratamiento al efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío.
2. Diseñar las etapas de tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío.
3. Separar mecánicamente las partículas por sistema de reja curva para el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de regadío.

4. Dosificar los agentes floculantes, de flotación y biotratamiento para el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas para su uso como agua de riego

1.4 Justificación de la investigación

El presente proyecto de investigación de tratamiento de las aguas residuales del procesamiento industrial de las aguas gaseosas se justifica porque al aplicar el escalamiento de los resultados que se lograron a nivel laboratorio se proyectaron para aplicarlos a nivel de planta de tratamiento industrial, determinándose los cálculos en los parámetros de control y de diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales del procesamiento de las aguas gaseosas, de esta forma se utilizaría estas aguas residuales tratadas en lugar de que se pierdan al arrojarlas al mar, ocasionándose siempre un impacto ambiental a este cuerpo de agua receptor.

1.5 Delimitaciones del estudio

Las restricciones más que todo son de índole económica, pues no se ha podido encontrar alguna entidad que pueda financiar actividades de prueba y el financiamiento de los insumos químicos para la prueba de jaras.

Por otro lado, existe una limitada información respecto a los tipos y performances de floculantes de aplicación a los diferentes tipos de aguas residuales que se disponen en el mercado nacional.

1.6 Viabilidad del estudio

La ejecución del presente trabajo de investigación para mitigar la contaminación al mar que ocasionan los efluentes del procesamiento de las aguas gaseosas y cubrir la necesidad de agua para ciertos usos, como es el caso de la falta de agua riego en los campos de cultivos, el proyecto de investigación tiene viabilidad técnica y económica para su ejecución.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Investigaciones Internacionales

Suarez y Vera (2019) indican: “en su estudio que se basa en la efectividad de remoción al aplicar métodos convencionales y procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales en embotelladoras de bebidas carbonatadas, esos efluentes tienen un alto nivel de carga orgánica principalmente en el DQO y el color siendo un problema en la descarga al sistema de alcantarillado público, la innovación de implementar nuevos sistemas para el tratamiento de estos efluentes nos lleva a experimentar con 5 procedimientos para conocer cuál es el más óptimo en este tipo de efluentes, los sistemas implementados fueron; 1ero tratamiento por medio de coagulación – floculación por medio del índice de willcob y el tiempo de formación del foliculo; 2do tratamiento por medio de coagulación – floculación junto con ozono; 3ero tratamiento por medio de la reacción de Fenton con cloruro férrico y peróxido de hidrogeno al 50%; 4to tratamiento por medio de la reacción de Fenton con coagulación – floculación y el 5to tratamiento por medio de la reacción de Fenton con ozono. Los parámetros físico químicos analizados en el agua fueron: DQO, color, pH, TDS y turbidez; este estudio demostró que el segundo tratamiento de coagulación – floculación con ozono es el más óptimo debido a su %de remoción siendo del 69.54% para el DQO y el 95.5% para el color teniendo como resultados DQO= 325mg/L; Color= 25 Pt Co; TDS=220mg/L y la turbidez de: 1.8 NTU cada uno de estos parámetros están bajo los límites de descarga al sistema de alcantarillado público” (p.19).

Alcarraz, Gamarra, Castro y Godoy (2010) expresan que: “Los efluentes industriales sin tratamiento previo ni control de las autoridades contaminan el medio ambiente. Resolver el problema planteado no pasa solamente por el control, supervisión y sanción a las empresas generadoras de efluentes, requieren además de una investigación propia para desarrollar tratamientos específicos, accesibles y económicos que puedan ser adoptados por cada tipo de industria. El tratamiento primario consiste en la remoción, por medios físicos o químicos, de una parte

sustancial del material sedimentable o flotante, reduciendo una fracción importante de la carga orgánica, que representa porcentajes significativos de los sólidos contaminantes. Entre los tipos de tratamiento primario se utilizan: la coagulación y la floculación. El objetivo principal del trabajo fue evaluar la eficacia de dos coagulantes en la reducción del potencial contaminante de los efluentes de la planta procesadora de frutas. Para realizar el tratamiento primario se ensayaron dos coagulantes químicos, el sulfato de aluminio como inorgánico y el polycat CS-5460 como orgánico. La eficacia se determinó con los ensayos de turbidez, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos totales. Se concluye que el mejor coagulante para la remoción de la materia orgánica de los efluentes de la procesadoras de frutas es el polycat CS-5460 habiendo logrado una remoción de turbidez de 98,1% y la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno de 96,58%, valores que se encuentran dentro de los límites permisibles para la descarga de efluentes industriales, según la legislación peruana” (p.66).

Reveló, Proaño y Banchon (2015) explican que: “La industria textil en Ecuador es todavía motivo de preocupación debido a la inadecuada disposición de sus residuos en los suministros locales de agua. La presente investigación fue llevada a cabo en Pelileo (Tungurahua - Ecuador) donde el agua residual de textilerías es descargada a los cuerpos de agua. Una solución ambientalmente amigable para tratar aguas residuales de textilerías con alta carga orgánica es aquí evaluada: un proceso de remediación de biocoagulación fue realizado utilizando extractos de la planta *Caesalpinia spinosa* conocida como guarango o tara. Se determinó que utilizando extractos de *C. spinosa* para tratar agua residual tiene el mismo efecto estadístico que aplicando un coagulante químico (policloruro de aluminio 15%). Zeolita activada adsorbió el color residual del agua tratada para obtener una remoción de turbidez más del 90%. Un modelo matemático mostró que la remoción de turbidez entre 50-90% puede obtenerse aplicando 25-45 g/L de extractos de guarango y zeolita por cada 700 ml de agua residual de textilerías. La coagulación natural utilizando extractos de *C. spinosa* produjo 85% menos lodo que el policloruro de aluminio, y removió altos contenidos de materia orgánica en el agua residual (1050 mg/L) en un 52%” (p.1).

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Alcarraz y Inche (2010) señalan que:”Existe un crecimiento preocupante en los niveles de contaminación ambiental de los ecosistemas aledaños a la planta procesadora de frutas por la descarga de sus efluentes industriales sin tratamiento previo ni control adecuado de las autoridades correspondientes, debido a que muchas

de ellas no han considerado la gestión de sus efluentes en el diseño de la planta. El objetivo de la presente investigación es caracterizar y gestionar los efluentes de la procesadora. Se concluye que los efluentes de la procesadora poseen un alto potencial contaminante por la abundante carga orgánica que poseen y que el tratamiento primario logra la reducción de dicho potencial a límites aceptados por la legislación peruana (remoción de turbidez 98.1% y reducción de la demanda bioquímica de oxígeno 96.58%), permitiendo la disminución del consumo de agua, liberación de penalidades y su constitución como una empresa amigable al medio ambiente para beneplácito de las autoridades ambientales y la comunidad en su conjunto” (p.1).

García y Principe (2018) señalan que: “En el presente trabajo de investigación se expone la problemática mundial en términos de contaminación e impacto ambiental, los actuales problemas ambientales y la sobreexplotación petrolífera ponen de manifiesto la necesidad de buscar combustibles más ecológicos, cuya producción sea menos agresiva con el medioambiente, el bioetanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como excipiente de algunos medicamentos, cosméticos y perfumes. Cuando las industrias de alimentos y bebidas desechan parte de su producción, envían ese descarte a las plantas de tratamientos de efluentes para reducir al mínimo su poder contaminante, para eso en esta investigación se ha creado un nuevo sistema que permite a las fábricas de bebidas gaseosas transformar esos desechos en bioetanol de manera sustentable y limpia, es decir producimos bioetanol un tiempo máximo de 12 días, mediante un proceso de fermentación del azúcar del descarte con la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* seguido de una destilación y rectificación con una concentración de 87.5% v/v de bioetanol; como consecuencia de este proceso, la carga orgánica de los descartes de bebidas gaseosas se reduce hasta un 87.5% y se obtiene otro producto con un alto valor agregado como el bioetanol (p.13).

Casanova y Huamani (2014) explican que: “El presente trabajo de investigación titulado «Diseño de una planta de tratamiento para los efluentes líquidos domésticos del distrito de Chancay», abarca la problemática de establecer un diseño adecuado para una planta de tratamiento capaz de tratar los efluentes residuales domésticos generados en el distrito de Chancay previos a su disposición final. En tal sentido la presente investigación tiene como objetivo proponer el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas generados en el distrito de Chancay 1 para su vertimiento al cuerpo receptor (Bahía de Chancay); la metodología empleada consistió

en la ubicación de los puntos de control en cada uno de los lugares de vertimiento, donde se realizó el monitoreo de los efluentes, determinando los caudales de 0,066 m³ /s y 0,088 m³ /s para los 2 puntos de vertimiento de aguas residuales domésticas sobre la bahía de Chancay (denominados PTO 1 y PTO 2) y a partir de las características fisicoquímicas: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nivel de Aceites y Grasas (NAG), y Concentración de Coliformes Fecales (CCF); nos permitió seleccionar los parámetros para el diseño de nuestra propuesta de PTAR, siendo estos tales: 561 mg/L (DBOs), 22 mg/L (NAG), 60 mg/L (SST) y 16 x 10⁴ NMP/100mL (CCF); y a partir de estos valores precedentes con el tratamiento en la PTAR propuesta se obtendrán: 10,89 mg/L (DBOs), 0,69 mg/L (NAG), 0,33 mg/L (SST) y 1,3 x 10⁴ NMP/100mL (CCF). A partir de los parámetros descritos, se consideró el diseño de la PTAR con un caudal total máximo horario de 308,568 Lis, tasa de crecimiento poblacional de 1,1 %, para el cual se determinó el tratamiento del tipo aerobio, ya que este tipo de tratamiento produce muy poco lodo, y el lodo producido es digerido en la misma laguna, por lo que requiere solamente de un área para disponerlos directamente, asimismo genera menos olores que el tratamiento anaerobio, por ser un lugar de recreación y turismo se consideró más viable el tipo de tratamiento aerobio. Por lo cual concluimos que con la propuesta se conseguirá disminuir la calidad llegando inclusive a cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y aproximarse a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). (p.8)

Núñez (2017) refiere que: “A través de esta investigación se pretende disminuir los parámetros de DBO₅ y DQO con la aplicación de las nano burbujas de aire, tomando en consideración los parámetros de campo que determinan la calidad del agua de pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, para determinar el estado en el que se encuentra el agua residual. La metodología utilizada fue pre experimental y de tipo aplicada. Se aplicaron las nano burbujas de aire en las 3 muestras de 20 litros de agua residual de la Embotelladora de Bebidas Gaseosas, de las cuales se extrajeron 2 muestras: una a los 45 minutos y otra a los 90 minutos después de haber comenzado el tratamiento. Los resultados mostraron que el tratamiento con las nano burbujas logró reducir de manera significativa la concentración de conductividad en un 8.4% (de 2500 ms/cm a 2290 ms/cm), la concentración de turbidez en un 71,97% (de 152 NTU a 42.6 NTU), la concentración de DBO₅ en un 99.89% (de 1892.7 mg/L a 1.9 mg/L) y la concentración de DQO en un 99.13% (de 3681 mg/L a 32 mg/L).(p.13).

2.2.Bases Teóricas:

Aguas Residuales

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en los cuerpos de agua. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe eliminarse es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que los tratamientos de las aguas residuales son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales.

Los procedimientos actuales de protección ambiental en la industria están orientados hacia la minimización de los residuos generados en los procesos internos, reduciendo las inversiones como tratamiento de efluentes.

Los diseños requeridos se ajustan entonces a las características particulares de cada descarga, tanto en caudal como en composición (contenido de material inorgánica u orgánico, disuelto o suspendido).

Tratamiento de Aguas Residuales

El Tratamiento Primario consiste en hacer pasar aguas residuales por cribas de barras, para separar los objetos grandes y el material particulado sólido de mayor tamaño en suspensión. Después se pasan lentamente las aguas a un tanque de asentamiento, donde los lodos se separan por sedimentación, y las grasas y aceites flotan en la parte superior en forma de espuma. Este tratamiento elimina alrededor del 60% de sólidos suspendidos y el 35% de las sustancias biodegradables disueltas de las aguas residuales. Si el agua no recibe tratamiento secundario con frecuencia se trata con cloro antes de liberarlo de regreso al ambiente.

Sedimentación de contaminantes del agua.

El tratamiento de agua puede subdividirse en cuatro etapas: clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y acondicionamiento organoléptico. En este caso se explica la etapa de clarificación, la cual consiste en la eliminación de partículas finas. Se subdivide en coagulación, floculación y sedimentación y/o filtración.

El agua consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas. Desde el punto de vista físico se puede hablar que los sólidos totales que son impurezas del agua se pueden clasificar como partículas no filtrables o en suspensión, filtrables

o disueltas y una tercera posibilidad es el caso intermedio que corresponde a los coloides. En general los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y se suelen estudiar bajo un enfoque fisicoquímico desde el punto de vista de sus propiedades. Un material coloidal puede tardar 755 días en sedimentar por tanto es importante cambiar esta condición.

Para comprender mejor el estudio del proceso de clarificación del agua se introduce el concepto de turbiedad. Se entiende por turbiedad a la propiedad óptica de una muestra de diseminar y absorber la luz en lugar de transmitirla en línea recta. Existen dos tipos de equipos para medir turbiedad. En la primera clase de equipos están el turbidímetro de aguja de platino y la bujía de Jackson, los cuales son aptos para medir turbiedades altas. En la segunda clase de equipos está el turbidímetro Hach, que se utiliza para medir turbiedades bajas (nefelometría). Además de turbiedad es posible también definir color. Se habla de color aparente si no se ha removido la turbiedad y de color verdadero del agua en caso contrario. En general el color se determina con tubos Nessler. El color del agua se debe principalmente a materia orgánica o minerales en suspensión o en estado coloidal. En general las sustancias liofílicas son responsables de la coloración del agua.

En cuanto a los coloides, se pueden clasificar en el rango de tamaño entre 1 mm a 1000 mm mediante un microscopio electrónico. Los coloides se pueden clasificar según varios aspectos. Pueden considerarse liofílicos si se estabilizan con capas de hidratación o bien liofóbicos si presentan repulsión por el solvente y por tanto son más inestables.

Otra clasificación que puede hacerse según sea su duración en Caduco (cambian rápidamente) o Diuturno (larga duración). Del punto de vista de la química hay dos clases: orgánicos o inorgánicos. Según sea el tipo de aglomerado que conforman se clasifican en moleculares y en micelares. Por último, bajo un punto de vista de su forma, se puede decir que los cilíndricos son más propensos a aglutinarse que los esféricos o poliédricos.

El Tratamiento Secundario se fundamenta en la biodegradación aerobia del material orgánico. El tratamiento más común secundario es con lodos activados. Las aguas negras son impelidas por una bomba, después de un tratamiento primario, hacia un tanque de aireación, donde se mezclan durante unas horas con aire y con lodos cargados de bacterias. Las bacterias de lodo metabolizan los nutrientes orgánicos; los protozoarios son consumidores secundarios que se alimentan de la bacteria. En seguida

las aguas tratadas pasan a un tanque de sedimentación donde los sólidos cargados de bacterias se depositan y son devueltos al aireador. Una parte del lodo debe quitarse para mantener condiciones constantes. El efluente en la actividad biológica sigue cargado con bacterias de modo que no está en condiciones de ser vertido a una corriente de agua abierta. Puesto que los microorganismos han realizado su cometido que se puede destruir. Por consiguiente, el paso final consiste en un proceso de desinfección, generalmente es por clorinación. El gas cloro inyectado en el efluente de 15 a 30 minutos antes de su carga final, puede destruir más del 99% de las bacterias nocivas.

El tratamiento Terciario es costoso y su propósito es eliminar, por ejemplo, metales pesados como Cd^{2+} y Pb^{2+} , los nutrientes como iones fosfatos y nitrato, exceso de sales y contaminantes orgánicos. Su objetivo primordial es que el agua de desecho sea lo más pura antes de devolverla al ambiente. Existen varias clases de tratamiento terciario: de precipitación, sedimentación y filtración para eliminar los nutrientes, la absorción del carbono para eliminar compuestos orgánicos y las técnicas de osmosis inversa, intercambio iónico con resinas.

2.1. Proceso fisicoquímico de coagulación y floculación

Kirchmer (1977) indica que se llama coagulación/floculación;

“Al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior a la del agua llamadas floc. Proceso en el que se distinguen dos aspectos fundamentales La desestabilización de las partículas suspendidas, es decir la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas. (Coagulación) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos. (Floculación) . Mecanismos de la coagulación. La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado”

Perez, (1977) explica que la coagulación;

“Comienza en el mismo instante en que se adicionan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente, consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

1. Compresión de la doble capa
2. Adsorción y neutralización de cargas
3. Atrapamiento de partículas en un precipitado
4. Adsorción y puente

Compresión de la doble capa

Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta a las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante.

Si la distancia que separa a las partículas es superior a "L", entonces las partículas, no se atraen. E es la energía que los mantiene separados.

Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción E_a , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a las Fuerzas de repulsión, las fuerzas de Van der Waals no son afectadas por las características de la solución".

Absorción y neutralización de cargas

Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación –floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la restabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que los excesos de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original.

Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado. Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante.

Adsorción y puente

En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas.

Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros.

Factores que influyen en la coagulación. Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

1. pH.
2. Turbiedad.
3. Sales disueltas.
4. Temperatura del agua.
5. Tipo de coagulante utilizado.
6. Condiciones de mezcla.
7. Sistemas de aplicación de los coagulantes.
8. Tipos de mezcla y el color.

Las interrelaciones entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

Influencia del pH

El pH es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una solución, y es igual a:

$$pH = -\log \{H^+\}$$

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta.

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5.

Influencia de la turbiedad

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas.

La turbiedad del agua superficial es gran parte debido a partículas de lodos de sílice de diámetros que varían entre 0.2 a 5 μm . La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

1. Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
2. Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
3. Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre-sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.
4. Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

Influencia de las sales disueltas

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

1. Modificación del rango de pH óptimo.
2. Modificación del tiempo requerido para la floculación.
3. Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.

4. Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

Influencia de la temperatura del agua

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

Influencia de la dosis del coagulante

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

1. Poca cantidad del coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los micro flóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
2. Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de micro flóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.
3. La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.
4. La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:
5. La buena o mala calidad del agua clarificada.
6. El buen o mal funcionamiento de los decantadores.

Influencia de mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 s. máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad

del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los micro flóculos.

La mezcla rápida se les denomina así a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas que correspondan al mecanismo de coagulación predominante; se efectúa para la inyección de productos químicos dentro de la zona de fuerte turbulencia, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

Etapas o fases de la coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

1. Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
2. Formación de compuestos químicos poliméricos.
3. Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
4. Adsorción mutua de coloides.
5. Acción de barrido.

CEPIS (1991) define que la;

“Floculación a los procesos que convierten los sólidos suspendidos presentes en el agua en forma coloidal, en aglomerados más importantes. Los “flocs” resultantes alcanzan un estado y tamaño que los vuelve sedimentables, flotantes o filtrables, permitiendo una separación casi completa de los sólidos suspendidos presentes en el agua.

Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

Los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

Tipos de floculación

Andia (2000) explica que; Existen 2 tipos de floculación:

Floculación Peri cinética

Esta es producida por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

Floculación Ortocinética

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinetica luego se produce la floculación ortocinética.

Parámetros de floculación

Los parámetros que caracterizan a la floculación son los siguientes:

1. Floculación ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
2. Gradiente de velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
3. Número de colisiones (choque entre microflóculos).
4. Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
5. Densidad y tamaño de floc.
6. Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación)

Prueba de Jarras

La coagulación/floculación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La prueba de jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares.

Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un floc de las mejores características.

Tipos de coagulantes-floculantes

Los químicos usados en coagulación y floculación son inorgánicos y orgánicos. De los primeros se usan sales metálicas trivalentes como sulfato de aluminio III, cloruro de aluminio III, sulfato de hierro III y cloruro de hierro III. De los químicos orgánicos se usan polímeros no iónicos, catiónicos o aniónicos en los que la densidad de carga

puede variar de baja a alta, dependiendo de la composición del copolímero. coagulantes artificiales, coagulante metálico.

Los coagulantes metálicos: sales de fierro y aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO_5 y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Forman especies hidratadas complejas cargadas positivamente: $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6, 3+$ y $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6, 3+$.

Causa y Pinto (1974) explican que, sin embargo;

“Tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si este no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe o Al y generar problemas”

Coagulación con sales de aluminio

Pérez (1977) dan a conocer qué;

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato de sodio. El sulfato de aluminio es el coagulante que, por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo, se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable

Graham, (1977) explica que el cloruro férrico;

“Se consigue en tres formas: cristales hidratados, cristales anhídridos o solución del 35 a 45% Este coagulante puede trabajar con pH tan bajo como 4 y tan alto como 11. Los lodos provenientes de la coagulación con hierro son muy corrosivos, tienen un color café oscuro y suelen manchar o teñir los objetos y las corrientes de agua, son por eso difíciles de manejar”.

Otros coagulantes

Causa y Pinto (1974) dicen que;

Existen otros componentes que;

Pueden ser usados para coagular el agua. Entre estos podemos citar el carbonato de magnesio, que es un coagulante de reciente investigación el que tiene la posibilidad de ser recirculado, lo que daría gran aplicación al reducir los costos fijos de tratamiento.

2.3.Bases filosóficas

La filosofía que se puede desprender en esta investigación está en la política e iniciativas direccionadas por el gobierno central, regional y local, la cual debe promover el reciclado y/o reúso de las aguas previo tratamiento a fin de recuperar las aguas, sobre todo si estas aguas provienen de actividades fabriles con alimentos, en

este caso la opción de reutilizarlas es favorable, como aguas de regadíos u obtener con ellas aguas con propiedades fertilizantes.

2.4. Definición de términos básicos

Afluente. -Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

Efluente. -Agua utilizada que se descarga a la alcantarilla después de un uso industrial o comercial que se debe cumplir con ciertos parámetros de calidad fijados por la normativa.

Agua residual. -Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

Agua residual doméstica. -Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Agua residual municipal. -Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Alcantarillado. -Se denomina alcantarillado a la red de saneamiento o red de drenaje al sistema de estructuras y tuberías usado para la recogida y transporte de las aguas residuales y pluviales de una población desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten al medio natural o se tratan.

Bacterias. -Grupo de organismos microscópicos unicelulares que interviene en los procesos de estabilización de la materia orgánica. Las comunes que se presentan en las aguas residuales y de regadío son la coliformes fecales y totales.

Clarificación. -Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual, resultando un líquido clarificado y un lodo sedimentado.

Cloración. -La cloración es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). -Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (por un tiempo de 5 días y a 20°C).

Demanda química de oxígeno (DQO). - Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

Depuración de aguas residuales. -Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Desarenadores. - Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.

Desinfección. -La inactivación de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante. Depuración de aguas residuales: Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Eficiencia del tratamiento. -Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico.

Manejo de aguas residuales. -Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

Medio filtrante. -Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento.

Pretratamiento. -Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

Reja. - Las rejas están formadas por barrotes metálicos y se disponen transversalmente en el canal de entrada a la planta, antes del desarenador. Su función es la retención de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos en el líquido.

Sólidos suspendidos totales. - Sólidos suspendidos totales o total de sólidos en suspensión, abreviado SST, es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm, partes por millón. En algunos países, el ente normativo de la calidad del agua potable establece que para agua sea considerada potable los sólidos totales deberán ser inferiores a 500 ppm.

Sólidos disueltos totales. - Sólidos disueltos totales o total de sólidos disueltos, abreviado TDS ó TSD, es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la conductividad eléctrica mediante la expresión:

Se mide en partes por millón (ppm).

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1. Hipótesis General

A partir de un tratamiento de los efluentes del procesamiento industrial de aguas gaseosas es posible su uso como agua de regadío.

2.5.2. Hipótesis Especifica

1. Mediante el análisis antes y después del tratamiento al efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas es posible su uso como agua de regadío.
2. A partir del diseño de las etapas de tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas permitirá su uso como agua de regadío.
3. Mediante la separación mecánica de las partículas por sistema de reja curva en el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas permitirá su uso como agua de regadío.
4. Mediante la dosificación de los agentes floculantes, de flotación y biotratamiento en el tratamiento del efluente del procesamiento industrial de aguas gaseosas permitirá su uso como agua de regadío.

2.6. Operacionalización de las variables

Variable Independiente: Tratamiento de los efluentes del procesamiento industrial de aguas gaseosas.

Variable Dependiente: Uso del efluente tratado como agua de regadío.

Variable Interviniente: Método experimental, materiales.

Operacionalización de las Variables

Variables	Dimensión de la Variable	Indicadores
<p>Independiente:</p> <p>Tratamiento de los efluentes del procesamiento industrial de aguas gaseosas.</p>	<p>Tratamiento Primario</p> <p>Tratamiento Secundario</p>	<p>-Tipo de rejilla a utilizar.</p> <p>-Determinación de valores de temperatura, pH, y TDS del agua residual</p> <p>-Tamaño de muestra a experimentar.</p> <p>-Valor de pH final luego de la floculación, flotación y biotratamiento del agua residual.</p>
<p>Dependiente:</p> <p>Uso del efluente tratado como agua de regadío</p>	<p>Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida</p>	<p>-Porcentaje de remoción de aceites y grasas.</p> <p>-Porcentaje de remoción de sólidos totales disueltos</p> <p>-DBO5 antes y después del tratamiento.</p> <p>-Clasificación del agua obtenida según la normativa de la autoridad del agua.</p>

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

El diseño metodológico implica la obtención de muestras y análisis respectivos: a cargo de un laboratorio acreditado, así también la recopilación de resultados de análisis de efluentes emitido por el laboratorio acreditado; a fin de proceder a desarrollar la investigación, teniendo en cuenta que se debe cumplir las normativas vigentes que conservan y protegen el medio ambiente.

El presente trabajo de investigación sigue una secuencia se compone de cinco etapas necesarias para culminar con éxito la investigación, estas son las siguientes:

Primera Etapa: Caracterización del agua residual del procesamiento de aguas gaseosas.

Segunda Etapa: Determinación de los rangos de valor de las variables controlantes del proceso.

Tercera Etapa: Determinación de los experimentos a realizar para el tratamiento de coagulación y floculación

Cuarta Etapa: Determinación del régimen y cantidades de adición de los insumos promotores coagulantes y floculantes del tratamiento.

Quinta Etapa: Determinación de los valores óptimos de adición de insumos químicos (coagulantes y floculantes) para remover la mayor cantidad de sólidos disueltos, a fin de cumplir con la normativa ambiental.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población está conformada por toda el agua residual del procesamiento industrial de aguas gaseosas seleccionadas para el propósito del presente estudio de investigación, en este caso se consideró las horas cuando existe mayores descargas de parte de algunas etapas de procesamiento en la planta industrial de agua gaseosa.

3.2.2 Muestra

La muestra representativa de la población referida líneas arriba estará conformada por una cantidad suficiente (aproximadamente 100 L) para desarrollar algunas de las etapas de tratamiento, porque las pruebas se realizarán en una unidad de tratamientos en la fábrica de aguas gaseosas.

3.3 Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos serán la observación, la entrevista y el registro de la información en soportes informáticos (disco duro, CD, etc.).

Los instrumentos para facilitar la investigación serán: video cámara, grabadora, y para registrar la información se utilizará la fotocopidora, y la información de internet se registrará haciendo uso de los accesorios de soporte de informático.

A fin de desarrollar el presente trabajo de investigación se requirieron los siguientes bienes:

a) Materiales

- Bureta de 100 ml
- Pera de decantación con filtro de cuarzo.
- Termómetros de 0-100 °C.
- Vasos de precipitado pyrex de 0.25 – 0.50 L.
- Matraz kitasato
- Piseta
- Papel de filtro.
- Kit para determinación de nitrato, cloruro y sulfato.

b) Equipos

- Bomba de vacío
- Phmetro multiparámetro, Fisher Scientific, XL200.
- Turbidímetro Hanna
- Balanza analítica Ohaus.
- Espectrofotómetro UV/visible MAPADA

c) Reactivos y muestra.

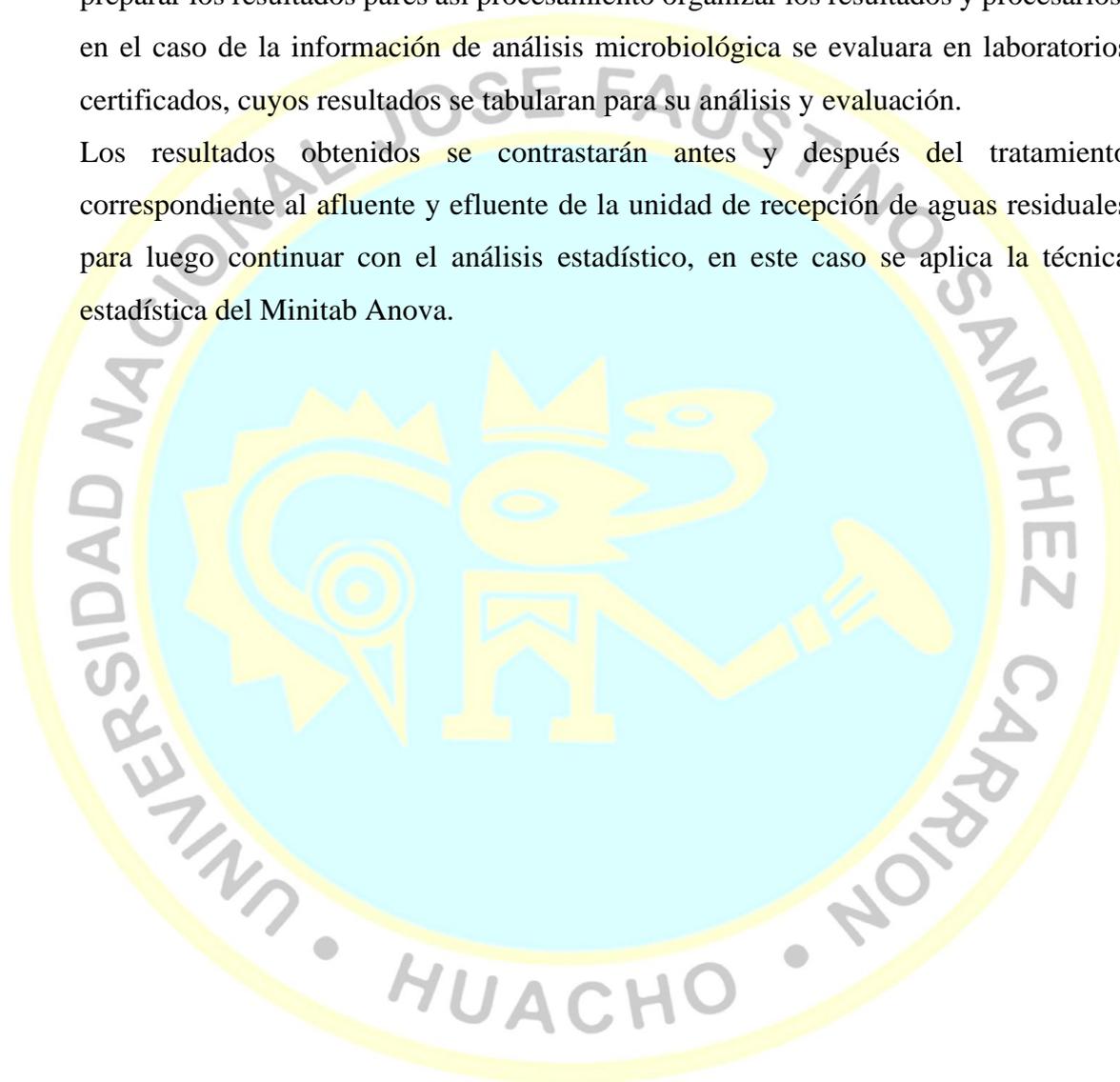
- Fenolftaleína.
- Sulfato de aluminio
- Cloruro férrico
- 22 l. de agua destilada.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Para el caso de los análisis químicos que se evaluarán en algunos casos in situ se realizarán muestreos por duplicado utilizando un tomador de muestra, y se tomará el promedio aritmético para el procesamiento del dato obtenido.

Los análisis físicos y químicos básicos que se evaluarán en campo y otros en laboratorio utilizando el pH metro de mesa entre otros, estos se tabularán a fin de preparar los resultados para su procesamiento, organizar los resultados y procesarlos, en el caso de la información de análisis microbiológica se evaluará en laboratorios certificados, cuyos resultados se tabularán para su análisis y evaluación.

Los resultados obtenidos se contrastarán antes y después del tratamiento correspondiente al afluente y efluente de la unidad de recepción de aguas residuales para luego continuar con el análisis estadístico, en este caso se aplica la técnica estadística del Minitab Anova.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación tuvieron como objetivo en dar calidad de las aguas residuales industriales generadas en la actividad industrial de la fábrica de agua gaseosas.

La estrategia para la consecución de los resultados fue definir las estaciones de monitoreo con sus respectivas coordenadas geográficas a fin de hacer mediciones antes y después del punto donde se hace el tratamiento de las aguas residuales, asimismo hacer otras mediciones de efluentes para apreciar y correlacionar comparativamente los resultados por el tratamiento aplicado al agua residual.

4.1.1. Estaciones de Monitoreo

Para la medición de los efluentes líquidos se ha considerado 05 estaciones de muestreo, las cuales se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Puntos de Monitoreo de Efluentes Líquidos

Puntos de Monitoreo	Coordenadas UTM*	Descripción
L-1	8 775 912 N 0 215 472 E	Canal de regadío, 100 m aguas arriba del punto de descarga al canal.
L-3	8 776 002 N 0 215 383 E	Canal de regadío, 100 m aguas abajo del punto de descarga al canal.
L-2	8 776 221 N 0 251 521 E	Salida de la unidad de tratamiento.
L-4	8 776 233 N 0 215 533 E	Ducto de tubería de ingreso a PTAR industrial.
L-5	8 776 221 N 0 215 521 E	Salida de la PTAR doméstico.

* Para las mediciones se empleó un equipo GPS modelo *etrex 30* marca Garmin.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados son los siguientes:

- Temperatura (°C)
- pH
- Aceites y Grasas
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Sedimentables (S.S.)
- Sólidos Totales Suspendidos
- Coliformes Fecales

4.1.2. Métodos de Análisis Empleados

Los parámetros fisicoquímicos de las muestras tomadas en los puntos de monitoreo se evaluaron de acuerdo a los siguientes métodos de análisis teniendo en cuenta el método de referencia. Según se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2
Métodos de Análisis Empleados en Laboratorio

Parámetro	Unidad	Metodología de Análisis	Método de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	Prueba de 5 días	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5210 B 2012.
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	Método de reflujo abierto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5220 C 2012.
Aceites y Grasas	mg/L	Gravimétrico/extracción	EPA 1664 Rev B, Febrero 2010.
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	Cono Imhoff	EPA Method 160.5 1999.
Temperatura	°C	Termómetro	EPA Method 170.1. 1999.
pH	Unidad de pH	pH metro	EPA Method 150.1 1999.
SST	mg/L	---	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D
Coliformes Fecales	NMP/100ml	---	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 9221 E.

4.1.3. Normativa Legal

Respecto a la normativa legal implicada en la calidad del efluente industrial y doméstico que se arrojan a la alcantarilla o se derivan como agua superficial a un medio receptor está regulada según reglamento para descarga de efluentes líquidos industriales, reglamento de agua superficial y reglamento de agua superficial según el D.S. N° 003-2010-MINAM que establecen un valor estándar para los parámetros fisicoquímicos que a continuación se muestra en el cuadro 3, 4 y 5, que se muestran a continuación:

Cuadro 3
Reglamento para Descarga de Efluentes Líquidos Industriales

Parámetro	Unidad	Estándar	Norma de Referencia
pH	Unidad de pH	6-9	Estándares del Banco Mundial para el vertido de efluentes líquidos industriales.
Temperatura	(°C)	N.E.	
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	50	
Sólidos Sedimentables	(ml/L/h)	N.E.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	30	
Aceites y Grasas	mg/L	10	

Cuadro 4
Reglamento para Agua Superficial (Estándares de Calidad Ambiental para Agua) ECA.

Parámetro	Unidad	Estándar	Norma de Referencia
pH	---	6.5 – 8.5	D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría D1: Riego de vegetales.
Temperatura	°C	Δ3	
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	N.E.	
Aceites y Grasas	mg/L	5	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	

Cuadro 5
D.S. N° 003-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas)

Parámetros	Unidad	D.S. N° 003-2010-MINAM.
Aceites y Grasas	mg/L	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	-	6.5-8.5
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	150
Temperatura	°C	<35
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	10000

4.1.4. Resultados obtenidos experimentalmente antes y después del tratamiento

Cuadro 6
Resultados de la Medición del Efluente Industrial antes del Tratamiento

Muestreo en el punto: L-4
 Descripción del punto de muestreo: Ducto de tubería de ingreso a PTAR Industrial.

Parámetro	L-4 Ingreso a la Unidad de tratamiento
pH	8.77
Temperatura (°C)	24.4
Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	92.0
Aceites y Grasas (mg/L)	11.0
DBO ₅ (mg/L)	1606.4

Cuadro 7
Resultados del Efluente Industrial Tratado

Muestreo en el punto: L-2
Descripción del punto de muestreo: Salida de la unidad de tratamiento.

Parámetro	L-2 Salida de la Unidad de tratamiento	LMP (*)	Evaluación
pH	7.75	6-9	CUMPLE
Temperatura (°C)	22.2	N.E.	---
Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	<3.0	50	CUMPLE
Sólidos Sedimentables (ml/L/h)	<0.2	N.E.	---
Aceites y Grasas (mg/L*)	3.9	10	CUMPLE
DBO ₅ (mg/L)	< 2.0	30	CUMPLE

LMP (*): Estándares del Banco Mundial para el vertido de efluentes líquidos industriales
N.E. Parámetro no establecido.

Cuadro 8
Resultados del Efluente Domestico

Muestreo en el punto: L-5
Descripción del punto de muestreo: Salida de la PTAR doméstico.

Parámetro	L-5 Domestico	LMP (*)	Evaluación
pH	6.80	6.5-8.5	CUMPLE
Temperatura (°C)	20.3	<35	CUMPLE
Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	<3.0	150	CUMPLE
DQO (mg/L)	38.8	200	CUMPLE
Aceites y Grasas (mg/L*)	2.6	20	CUMPLE
DBO ₅ (mg/L)	6.1	100	CUMPLE
Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml	<1.8	10 000	CUMPLE

LMP (*): D. S N° 003-2010-MINAM
N.E. Parámetro no establecido.

Cuadro 9
Resultados de la Medición del Cuerpo Receptor

Muestreo en el punto: L-1 y L- 3

Descripción del punto de muestreo: Canal de regadío, 100 m aguas arriba del punto de descarga al canal.
Canal de regadío, 100 m aguas abajo del punto de descarga al canal.

Parámetro	L-1 100 m aguas arriba del punto de descarga (&)	L-3 100 m aguas abajo del punto de descarga (&)	ECA (&)	Evaluación
pH	8.4	8.41	6.5 - 8.5	CUMPLE
Temperatura (°C)	8.40	8.41	Δ 3	CUMPLE
Sólidos Sed. (ml/L/h)	<0.2	0.3	N.E.	-
Aceites y Grasas (mg/L)	<0.9	0.9	5	CUMPLE
DBO ₅ (mg/L)	<2.0	4.3	15	CUMPLE
Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml	>160 000	>160 000	1000	EXCEDE

(&): D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría D1: Riego de vegetales.

NE: Parámetro no establecido

4.1.5. Diseño de procesos y equipamiento utilizado en la investigación

El diseño del sistema de tratamiento es el siguiente.

- Reja curva.
- Floculación.
- Flotación.
- Biotratamiento biológico en doble periodo.

Reja Curva

La reja curva estática es simple porque no tiene parte movible, el agua residual es alimentada por la parte superior y el flujo cae y se filtra por entre

los espacios. Los sólidos grandes quedan retenidos entre los espacios y se depositaran en la parte por la parte de abajo.

Otras características de la reja curva son:

El diseño especial de la placa sirve para evitar bloqueos.

Mejor separación de las partículas por placa de distribución.

Se requiere poco mantenimiento.



Fig. 1: Reja curva

Tanque Balance

El tanque de equalización tiene 160m^3 y se coloca por que la carga de aguas residuales varía debido a las variaciones en el proceso productivo y operaciones de limpieza en la fábrica se recomienda recolectar el agua residual en un tanque de equalización. El tiempo de retención debería ser suficientemente larga para equalizar las variaciones en el flujo y de carga. Para el tanque balance hemos incluido un mezclador (mixer) para homogenizar el efluente.

Floculador

Los productos químicos serán dosificados dentro de la tubería del floculador. Este floculador tubular está equipado con tuberías especiales de mezcla que se encargan de crear la mezcla perfecta de los químicos con el agua residual en una manera tal que la dosificación puede ser ajustada a su óptimo punto máximo. El floculador tubular se diseña para el tipo especial de aguas

residuales de su planta porque la energía y tiempo de mezcla son únicos para cada diferente tipo de desagüe.

Las otras características del floculador tubular de Nijhuis Water Technology son:

Debido a la exacta cantidad de energía de mezcla y tiempos de mezcla se logra la formación de flocs uniformes.

No ocurre varias mezclas.

No se requiere mezcladores, por lo tanto, no se requiere un consumo adicional de energía. Dosificación de químicos (coagulantes, neutralizantes, floculantes) se efectúa en el medio de la tubería por lo que se requiere cantidades muy limitadas de químicos.

Un diseño compacto requiere un mínimo de área de piso.

La dosificación de los diversos químicos se realiza con bombas dosificadoras. Los químicos son inyectados dentro del floculador tubular a través de puntos de inyección. Las bombas de dosificación son diseñadas para el doble de su capacidad de dosificación actual. Esto significa que la dosificación es precisa y que existe la flexibilidad para dosificar menos o más químicos de ser necesario.

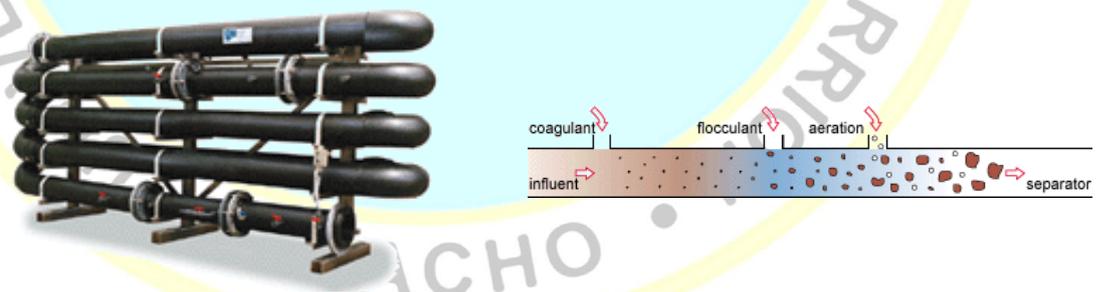


Fig. 2: Floculador tubular.

Sistema de Flotación

Después de la unidad de Floculación el agua de bombeo ingresará a la unidad de flotación. Los flocs van a flotar a la superficie, automática y continuamente serán removidos por un mecanismo scraper. Se instala una parrilla de escurrido que produce una consistencia de lodos óptima.

La unidad de flotación está equipada con un paquete de platos lamela que incrementa el área de separación asegurando que incluso los flocs más pequeños sean removidos del agua de bombeo. El sistema de recirculación y aeración (saturador) está equipado con un aparato de aeración libre de atoramientos, patentado, que es único en su diseño y asegura la formación requerida de burbujas muy finas de aire.

Esta unidad de flotación incluye un scraper de fondo y válvulas automáticas de drenaje para remover cualquier material sedimentado.

Las características específicas de la Tecnología de Flotación son:

Unidad compacta construida con un sistema de platos que requiere un mínimo de área de piso.

Flujo laminar a través de la unidad de flotación que asegura la máxima eficiencia de remoción.

La unidad puede manejar sedimentos que son colectados y removidos por un sistema de paletas en el fondo sistema de aeración de diseño especial que incluye una bomba centrífuga y un componente de aeración patentado que funciona libre de atoros. El componente de aeración es autolimpiante y no necesita ajustes durante la operación.

La unidad es enviada pre-armada por lo que requiere un mínimo de trabajos de instalación en la obra.

Debido a que cuenta con un óptimo sistema de aeración y un mecanismo de concentración de lodos se logra alcanzar un contenido de sólidos secos muy alto



Fig. 3: Sistema de Flotación por microburbujas

Tanque Biológico

La mayoría de la materia orgánica soluble es removida por el tratamiento biológico. La biomasa (floc biológico) convierte la materia orgánica en agua, dióxido de carbón y nueva biomasa con la ayuda del oxígeno. El tanque biológico de Nijhuis Water Technology está concebido para adaptarse a las variaciones del ciclo productivo de la industria, en un solo tanque se realiza el proceso tratamiento aerobio.

El tanque biológico tiene las siguientes ventajas:

Toda la operación se da en un solo tanque, sistema compacto.

De fácil operación y mantenimiento

Pocas partes móviles, por lo tanto, es simple y confiable.

Altamente tolerable y flexible hacia variaciones en calidad y cantidad del efluente crudo. Desde que este proceso es en batch los choques de caudal y carga contaminante en el agua son fácilmente manejados.

Recuperación muy rápida y efectiva en caso de problemas en el proceso.



Fig. 4: Tanque biológico

Para esta aplicación un biotratamiento en batch ha sido seleccionado y considerado como la mejor tecnología disponible.

El tratamiento biológico es un trabajo continuo y le da mucha flexibilidad en la operación, dentro de sus ventajas específicas tenemos:

Todas las operaciones tienen lugar en solo tanque.

Fácil de operar y de mantenimiento.

Pocas partes móviles, por tanto, son simples y seguros.

Compacto.

Elevada flexibilidad/tolerancia hacia calidad y cantidad del efluente crudo, puede mezclar completamente las cargas shocks de contaminación del efluente crudo y los volúmenes de aguas residuales pueden ser fácilmente manejados.

Rápida y efectiva acción posible en caso de problemas de proceso.

Se tiene continuo abastecimiento de aguas residuales.

El ingreso de aire tendría lugar por el aireador de superficie. La aireación es controlada por un medidor de oxígeno en el tanque de tal forma que el consumo de energía es mínimo.

Clarificador

Este sistema sirve para sedimentar los lodos provenientes del tanque biológico, y de esta manera clarificar el agua tratada.

Una parte del lodo biológico retorna al tanque biológico para mantener la población de estos en buenas condiciones y el exceso de lodos pasara a una decantadora centrífuga para secarlo a un 40 % de humedad.

Sistema –cloración

Después que el tratamiento biológico del efluente es descargado a un tanque. En la línea de alimentación el hipoclorito de sodio es dosificado para hacer el efluente conveniente para irrigación.

Detalles de los Equipos

El Sistema consiste filtro/floculación/flotación:

1 filtro, bomba de alimentación + nivel control.

Reja curva NZB 1800.

Mixer o mezclador para tanque balance.

1 bomba de alimentación floculador – unidad de flotación + nivel de control.

Floculador PFR 060.

Unidad de dosificador de coagulante.

Unidad de dosificador de neutralizante.

Unidad de dosificador de floculante.

Estación de alimentación de floculante automático para polímeros líquidos NMA 1000 L.

Medición y control de pH y dispositivo de paso de floculador.

Unidad de flotación IPF 090.

1 bomba de recirculación/ sistema de aireación.

Panel de control neumático.

El Sistema Biológico consiste de:

Mixer para el tanque selector.

1 bomba influente para el sistema biológico + nivel de controlador.

1 aireadores de superficie flotantes.

1 controlador de nivel en tanque de aireación.

1 sistema de control y medición de O₂.

1 válvulas flotantes para descarga + by pass.

1 bomba de transferencia para el efluente del tanque.

1 bomba para exceso de lodos.

Válvulas para el retorno de lodo y la selección de línea.

Sistema de cloración de:

Mixer para el tanque de efluente.

Unidad para dosificar hipoclorito.

Respecto a las dosificaciones de insumos empleados incluyendo cantidades y concentraciones de estos según las características del caudal y pH se muestras en el cuadro 10.

Cuadro 10
Insumos Químicos adicionados para el Tratamiento
Fisicoquímico del Agua Residual en la Planta de Tratamiento

Función	Insumos empleados	Concentración	Caudal (L/h)
Coagulante	Policloruro de aluminio	100.00%	2 a 3
Floculante	Polímero catiónico	0.10%	3
Neutralizante	Ácido sulfúrico	32.66%	pH:8.5-8.7 ---1-2 pH: 8.7-9.5----3 - pH:9.5 – 9.7---4 a más depende del pH del agua de ingreso
Desinfectante	Hipoclorito de sodio	1.40%	3

4.2. Contrastación de hipótesis

Con el objetivo de contrastar la hipótesis se utilizó el análisis estadístico donde se aplicó el Software MINITAB 1 MTW, ANOVA unidireccional, para tal fin se evaluó en los cuadros líneas arriba presentadas donde se muestran los resultados obtenidos

Los parámetros fisicoquímicos del agua residual muy relacionados con su calidad o grado de contaminación predominante orgánica se reflejan en los parámetros fisicoquímicos siguientes:

DBO5 (mg/L)

Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)

Aceites y Grasas (mg/L)

Los otros parámetros fisicoquímicos del efluente a tratar son la temperatura y el potencial de hidrógenos (pH) sus valores antes y después del tratamiento aplicado corroboran o complementan los resultados obtenidos con la evaluación de los otros parámetros referidos en el párrafo anterior. En este tratamiento se procura la remoción de los sólidos disueltos y coloidales de naturaleza predominantemente orgánica que dan un aspecto de turbiedad al efluente resultante de los diferentes procesos en la fabricación de las aguas gaseosas, por los análisis realizados en laboratorios acreditados se observa una importante y evidente remoción de los sólidos suspendidos y de naturaleza coloidal por lo que el afluente obtenido presenta un aspecto mejorado con menor contaminación que se evidencia con los resultados obtenidos que se muestran en el cuadro 7, claramente diferenciados con los parámetros fisicoquímicos que se muestran en el cuadro 6. Estos resultados favorables obtenidos con el tratamiento aplicado al efluente nos llevan a la decisión de que el líquido obtenido es apto a ser aplicado como agua de riego por las propiedades fisicoquímicas que presenta el efluente tratado.

Con la finalidad de aplicar el programa Minitab se preparó el cuadro 11 donde se muestra el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos coloidales y otros componentes orgánicos presentes en el efluente que le dan características de agua residual contaminante.

Cuadro 11
Correlación de variación del porcentaje de remoción de sólidos con respecto al valor de entrada de concentración del parámetro fisicoquímico comparado.

Parámetro fisicoquímico	Concentración del parámetro fisicoquímico antes de ingresar a la PTAR	Concentración del parámetro fisicoquímico a la salida de la PTAR.	% de remoción del parámetro fisicoquímico
DBO5(mg/l)	1606.4	2.0	99.87
	683.0	0.2	99.97
	321.6	3.0	98.88
TDS (mg/l)	92.0	3.0	97.81
	53.0	3.0	96.18
	5.0	0.3	94
Aceites y Grasas (NTU)	11	3.9	64.54
	12.2	1.6	86.88
	5.1	3.8	25.49

Para aplicar el MINITAB se utilizó el cuadro 11, a fin de dar confiabilidad a las hipótesis planteadas a partir de los resultados más relevantes del tratamiento aplicado, estadísticamente se apreció una significancia al 5% para el parámetro fisicoquímico DBO₅ de acuerdo a la información mostrada en los Anexo 1 y 4 y la evaluación estadística aplicando el MINITAB ANOVA unidireccional y la Distribución “F” para los datos de: DBO₅, C1=Concentración inicial del parámetro fisicoquímico (antes del ingreso a la planta PTAR) vs C2= Concentración final del parámetro fisicoquímico (a la salida de la planta PTAR) según se muestra la correlación de significancia en los siguientes resultados;

$$P = 0.005 < 0.05 (5\%)$$

$$F = 11.71 > 4.74$$

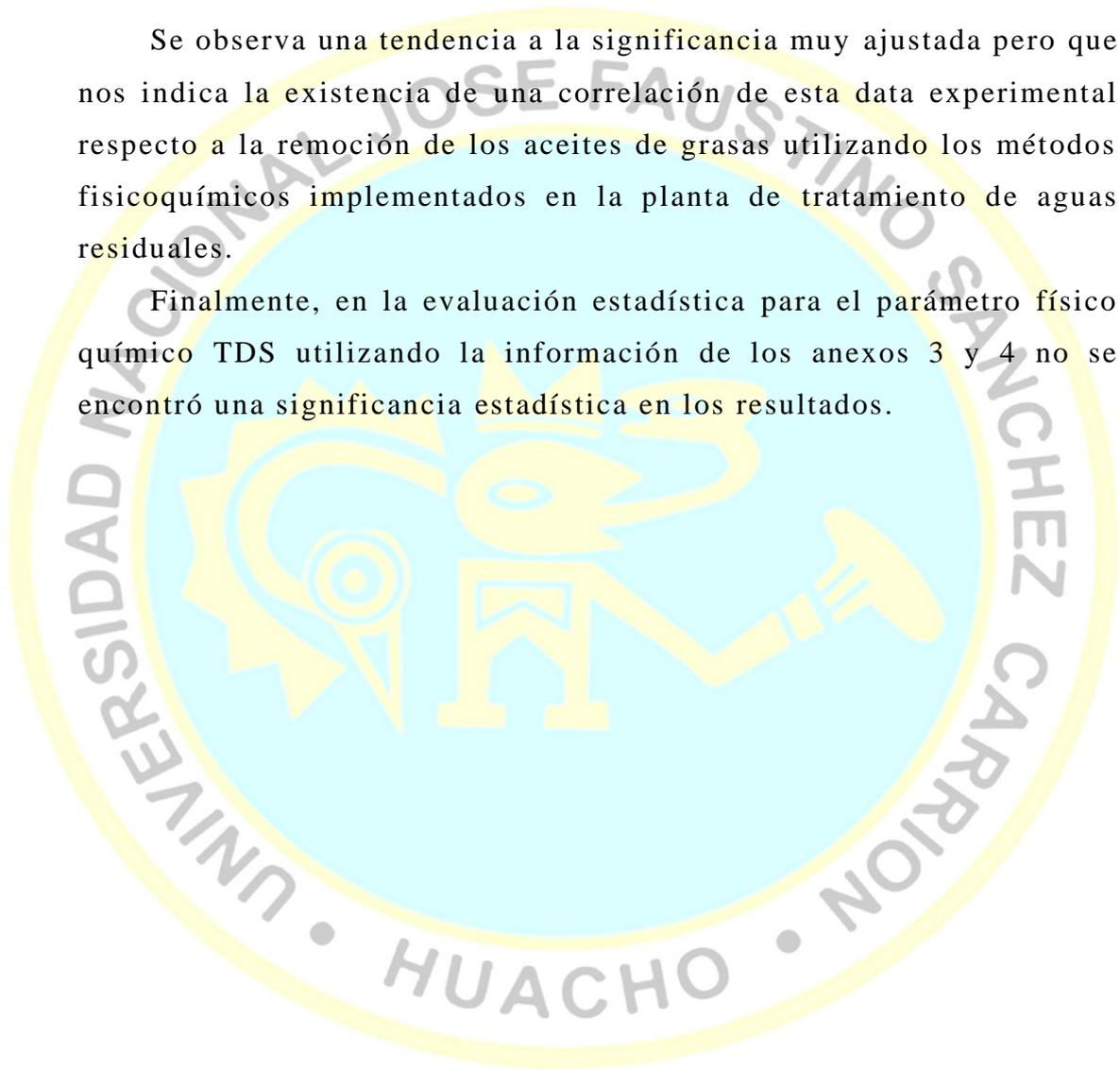
Para el parámetro de concentración de aceites y grasas utilizando la información de los anexos 2 y 4, se encontraron los siguientes valores para “P” y “F”, para la correlación de las variables de entrada y salida,

$$P = 0.05 = 0.05$$

$$F = 7.68 < 7.70$$

Se observa una tendencia a la significancia muy ajustada pero que nos indica la existencia de una correlación de esta data experimental respecto a la remoción de los aceites de grasas utilizando los métodos fisicoquímicos implementados en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Finalmente, en la evaluación estadística para el parámetro físico químico TDS utilizando la información de los anexos 3 y 4 no se encontró una significancia estadística en los resultados.



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

De acuerdo al método utilizado el trabajo de investigación se inició con la evaluación de las principales propiedades fisicoquímicas del agua residual (efluente) en puntos de monitoreo de efluentes líquidos que se muestra en el cuadro 1, los métodos de análisis utilizados por los laboratorios se muestran en el cuadro 2. Para poder diseñar las operaciones unitarias de ingeniería química a utilizar, en este caso en ensayos previos a nivel laboratorio se observó la relevancia de utilizar secuencialmente la filtración, neutralización, coagulación, floculación, flotación, tratamiento biológico, clarificación y cloración para obtener un producto con posibilidades de ser utilizado como agua de riego con propiedades parcialmente fertilizantes a favor del desarrollo vegetativo de las plantas. Con respecto al grado de remoción de partículas sólidas coloidales, suspendidas y lodos generados por la actuación química de los agentes floculantes y de flotación en la diversas etapas del tratamiento del agua residual, por otro lado se observó que fueron removidas con significación estadística para el caso del DBO_5 y concentración de aceites y grasas según se muestra los resultados en el cuadro 11, que se elaboró en base a los cuadros 6 y 7. Por otro lado es preciso mencionar que los resultados que se muestran en el cuadro 7 demuestran que se cumple con las exigencias del reglamento para descarga de los efluentes líquidos industriales que se muestra en el cuadro 3, asimismo se cumple con las exigencias de límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de aguas residuales domésticas según D.S N°003-2010-MINAM. La turbidez y presencia de partículas suspendidas en el efluente resultante provienen de las diferentes etapas de elaboración, mantenimiento y limpieza en las actividades diversas para la elaboración de productos carbonatados y

otros en la fábrica de aguas gaseosas, estos parámetros representativos del nivel de contaminación orgánica son la demanda bioquímica de oxígeno disuelto a los cinco días (DBO_5), la concentración de sólidos totales disueltos (TDS) y la concentración de contenido de aceites y grasas, entre otros, estos valores de concentración los parámetros fisicoquímicos son variables por lo que el tratamiento aplicado en la planta se adapta a las necesidades del día por lo que las cantidades a adicionar flocculante (MT Flocc 8655), agente neutralizante (ácido sulfúrico) y otros a adicionar se ajustan a la necesidad del día, para ello se utiliza el tanque de equalización o tanque balance que acumula agua residual con algunas fluctuaciones propios de los procesos, a fin de tener una información respecto a las características de ingreso del agua residual u poder aplicar las cantidades y concentraciones adecuadas de agentes flocculantes, coagulantes y flotantes según las características fisicoquímicas que presenta el agua residual, las dosis a aplicar se tienen en tabla 10, que se ha elaborado luego de varias pruebas de jarra a nivel laboratorio, a fin de optimizar el consumo de estos insumos químicos y asimismo mejorar la calidad del agua residual tratada. Para las operaciones unitarias de flocculación y flotación se utilizó los siguientes equipamientos: el flocculador tubular y un sistema de flotación por microburbujas que se muestran en la Fig. 2 y Fig. 3 respectivamente.

Para la remoción de la mayor parte de la materia orgánica soluble es por el tratamiento biológico. La biomasa (floc biológico) convierte la materia orgánica en agua, dióxido de carbono y nueva biomasa con la ayuda del oxígeno. El tanque biológico de Nijhuis Water Technology se muestra en la Fig.4

Finalmente, el agua residual pasa por un tratamiento de clarificación y cloración quedando disponible para un posible uso como agua de riego.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se tomó muestras representativas siguiendo los protocolos recomendados por los laboratorios acreditados para realizar los análisis fisicoquímicos óptimamente, las muestras se tomaron antes y después del tratamiento al efluente en la planta del procesamiento del agua residual, los resultados de estos análisis se muestran en los cuadros 6, 7 y 10, apreciándose una remoción significativa para el caso del DBO_5 y concentración de aceites y grasas, cuyos análisis estadísticos se muestran en los Anexos 1, 2 y 4.

Respecto a las operaciones unitarias de ingeniería química a utilizar para realizar una remoción exitosa del material coloidal, en suspensión y otros presentes en el efluente ingresante a la planta de tratamiento, se diseñó el tratamiento con el inicio de la separación de sólidos grandes por filtración con la reja curva, seguidamente se utilizó el floculador tubular para la formación óptima de los flóculos, los cuales son removidos en la etapa siguiente que es la flotación donde se asegura la máxima eficiencia de remoción de los flóculos generados en la etapa anterior.

La separación mecánica de los sólidos en suspensión y otros sólidos grandes se realizó en el equipo reja curva que se muestra en la Fig. 1, donde ingresa el efluente por la parte superior y se filtra por entre los espacios quedándose retenidos todos los sólidos en suspensión, dejándose el agua residual con un pretratamiento adecuado para las operaciones unitarias siguientes.

Para la dosificación de los agentes floculantes se utilizó el cuadro 10 donde se muestra la dosificación de los agentes coagulantes y floculantes dependiendo del caudal (L/h) del agua residual. Para la separación de los flocs y formados en la operación unitaria de floculación se utiliza la unidad de flotación está equipada con un paquete de platos lamela que incrementa el área de separación asegurando que los flocs más pequeños sean removidos del agua residual. Para el tratamiento biológico, donde se remueve los sólidos disueltos se utilizó el tanque biológico, resultando un agua tratada que después de pasar por la clarificación y cloración cumple en términos de exigencia a las

normativas vigentes y también cumple con significancia estadística de acuerdo a los resultados que se muestra en el cuadro 11 y los Anexos 1,2 y 4.



6.2 Recomendaciones

1. Realizar mayor número de ensayos a nivel de laboratorio con la prueba de jarras muestras de agua residual colectadas en espacios de tiempo de menor y mayor producción de agua residual.
2. Experimentar con floculantes a base de quitosan para la formación de los flocs a diferentes valores de pH del agua residual.
3. Evaluar la composición de micronutrientes y macronutrientes del agua residual obtenida para evaluar la opción de adicionar algún componente complementario nutriente para la obtención de un fertilizante líquido con alguna opción comercial.
4. Evaluar la opción de clasificar los efluentes que se incorporan al tanque balance para optimizar la opción de la recomendación 3 propuesta. Evitándose adicionar al tanque balance aguas muy contaminantes por su composición.
5. Experimentar el fertilizante líquido que podría obtenerse según la recomendación 3, con cultivos de periodo corto de cosecha observado el desarrollo vegetativo de los cultivos con un cultivo control apreciando sus características físicas y químicas.

REFERENCIAS

- Alcarraz, J. y Inche, J. (2010).** Tratamiento de efluentes de una planta. *Revista de la Facultad de Ingeniería Química*, 1.
- Alcarraz, M., Gamarra, G., Castro, A. y Godoy, J. (2010).** Eficacia de coagulantes en el tratamiento primario. *Ciencia e Investigación*, 13(2), 60-66.
- Andia, Y. (2000).** *Tratamiento de agua: coagulación-floculación*. Lima: SEDAPAL
- Causa, E. y Pinto, C. (1974).** *Investigación sobre procesos de coagulación-floculación de aguas en plantas de tratamiento*. Santiago: Universidad de Chile. Ingeniería Sanitaria.
- Casanova, K. y Huamani (2014).** *Diseño de una Planta de Tratamiento para los Efluentes*. Tesis, Universidad Nacional del Callao, Callao.
- CEPIS. (1991).** *Manual de disposición de aguas residuales* (Vols. Tomo II OMS-GTZ). Lima, Perú: CEPIS.
- García, R. y Principe, R. (2018).** *Obtención de bioetanol a partir de los efluentes de la industria de bebidas gaseosas para la minimización del impacto ambiental*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Graham, H. (1977).** *Introduction to Colloid Chemistry*. The A VI Publishing Company INC.
- Kirchmer, C. (1977).** *Aspectos químicos y físicos de la coagulación del agua*. Lima, Perú: CEPIS.
- Nuñez, T. (2017).** *Tratamiento de aguas residuales de una embotelladora de bebidas carbonatadas aplicando nanoburbujas de aire*. Lima: Universidad Cesar Vallejo
- Perez, J. (1977).** *Ensayos sobre coagulación-Floculación* (Vol. Tomo II). (I. d. Sanitaria, Ed.) Lima, Perú: UNMSA-CEPIS.
- Perez-Castillo, A. (2010).** Evaluación de las aguas de drenaje del sector de riego de tamarindo y su influencia sobre el parque nacional Palo verde. *Ciencia y Tecnología*, 26(1y2), 71-86.
- Reveló, A., Proaño, D. y Binchon, C. (2015).** Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. *Enfoque UTE*, 6(1), 1-12.
- Rodriguez, E. y Espinola, M. (2011).** *El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efluentes industriales descargados por la Industria Embotelladora de Bebidas Gaseosas The Tesalia Springs Company hacia el Río San Pedro, en la Parroquia Machachi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, y*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. *Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología*.

Suarez, B. y Vera, S. (2019). *Aplicación de métodos convencionales y procesos.* Guayaquil:
Universidad Nacional de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.



ANEXO 1

DATA EXPERIMENTAL

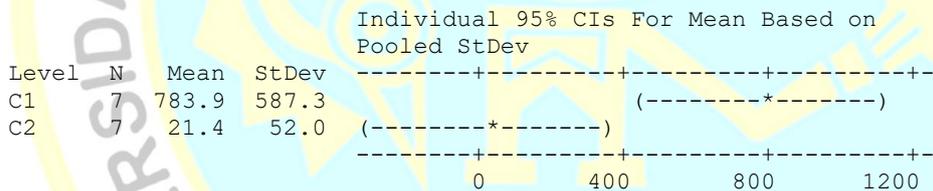
DB05 ANTES DE PTAR	DB05 DESPUES DE PTAR	RESI1	RESI2	FITS1	FITS2
1606.4	2.0	822.0	-19.385	783.9	21.3857
683.50	0.2	-100.9	-21.185	7783.9	21.387
321.6	3.0	-462.3	-18.38	783.9	21.3857

CORRIDA AL PROGRAMA MINITAB

One-way ANOVA: C1; C2

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	2034998	2034998	11.71	0.005
Error	12	2085992	173833		
Total	13	4120990			

S = 416.9 R-Sq = 49.38% R-Sq(adj) = 45.16%



Pooled StDev = 416.9

Grouping Information Using Fisher Method

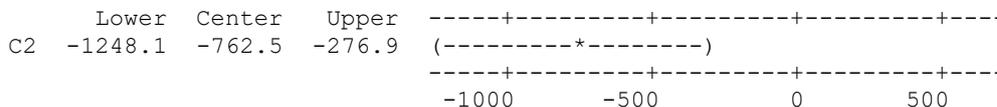
	N	Mean	Grouping
C1	7	783.9	A
C2	7	21.4	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons

Simultaneous confidence level = 95.00%

C1 subtracted from:



ANEXO 2

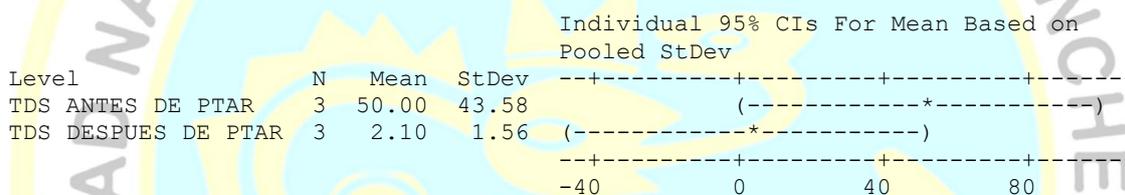
DATA EXPERIMENTAL

TDS ANTES DE PTAR	TDS DESPUES DE PTAR	RESI1	RESI2	FITS1	FITS2
92	3.0	42	0.9	50	2.1
53	3.0	3	0.9	50	2.1
5	0.3	-45	-1.8	50	2.1

One-way ANOVA: TDS ANTES DE PTAR; TDS DESPUES DE PTAR

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	3442	3442	3.62	0.130
Error	4	3803	951		
Total	5	7244			

S = 30.83 R-Sq = 47.51% R-Sq(adj) = 34.38%



Pooled StDev = 30.83

Grouping Information Using Fisher Method

	N	Mean	Grouping
TDS ANTES DE PTAR	3	50.00	A
TDS DESPUES DE PTAR	3	2.10	A

Means that do not share a letter are significantly different.

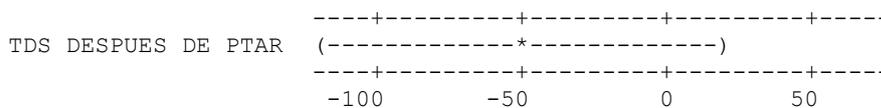
Fisher 95% Individual Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons

Simultaneous confidence level = 95.00%

TDS ANTES DE PTAR subtracted from:

	Lower	Center	Upper
TDS DESPUES DE PTAR	-117.80	-47.90	22.00



ANEXO 3

DATA EXPERIMENTAL

ACEITES Y GRASAS ANTES PTAR	ACEITES Y GRASAS PTA	RESI1	RES	FITS1	FITS2
11.0	3.9	1.56667	0.86667	9.43	3.03
12.2	1.6	2.76667	-1.4	9.4	3.03
5.1	3.6	-4.33	0.56	9.43	3.0

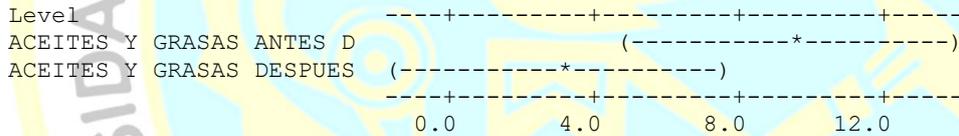
One-way ANOVA: ACEITES Y GRASAS ANTES DE PTAR; ACEITES Y GRASAS DESPUES DE PTA

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	61.44	61.44	7.68	0.050
Error	4	32.01	8.00		
Total	5	93.45			

S = 2.829 R-Sq = 65.74% R-Sq(adj) = 57.18%

Level	N	Mean	StDev
ACEITES Y GRASAS ANTES D	3	9.433	3.800
ACEITES Y GRASAS DESPUES	3	3.033	1.250

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 2.829

Grouping Information Using Fisher Method

	N	Mean	Grouping
ACEITES Y GRASAS ANTES DE PTAR	3	9.433	A
ACEITES Y GRASAS DESPUES DE PTA	3	3.033	A

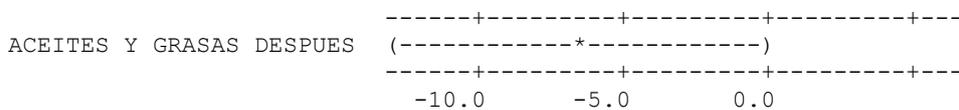
Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons

Simultaneous confidence level = 95.00%

ACEITES Y GRASAS ANTES DE PTAR subtracted from:

	Lower	Center	Upper
ACEITES Y GRASAS DESPUES	-12.813	-6.400	0.013



ANEXO 4

DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

Ábscisas $F_{\alpha; n_1, n_2}$ que dejan a su derecha un área α bajo la función con n_1 y n_2 grados de libertad.

Para valores de α próximos a uno se puede utilizar la relación $F_{1-\alpha; n_2, n_1} = \frac{1}{F_{\alpha; n_1, n_2}}$.

$\alpha = 0.05$

n_2	n_1																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.45	199.70	215.71	224.58	230.15	233.99	236.76	238.88	240.54	241.89	243.90	245.90	248.03	249.05	250.09	251.14	252.20	253.25	254.32
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.425	19.429	19.446	19.454	19.463	19.471	19.479	19.487	19.496
3	10.128	9.5521	9.2766	9.1156	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8121	8.7855	8.7446	8.7029	8.6602	8.6385	8.6166	8.5944	8.5720	8.5493	8.5264
4	7.7087	6.9443	6.5914	6.3883	6.2563	6.1631	6.0942	6.0411	5.9987	5.9644	5.9117	5.8578	5.8027	5.7744	5.7459	5.7170	5.6877	5.6580	5.6280
5	6.6079	5.7863	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	4.7351	4.6777	4.6188	4.5582	4.5271	4.4957	4.4638	4.4314	4.3984	4.3650
6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990	4.0602	3.9999	3.9381	3.8742	3.8415	3.8082	3.7743	3.7398	3.7047	3.6689
7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1219	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767	3.6363	3.5747	3.5107	3.4445	3.4105	3.3758	3.3402	3.3043	3.2675	3.2297
8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8378	3.6875	3.5806	3.5004	3.4381	3.3881	3.3472	3.2839	3.2184	3.1503	3.1152	3.0794	3.0428	3.0053	2.9669	2.9276
9	5.1173	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3737	3.2927	3.2296	3.1789	3.1373	3.0729	3.0061	2.9365	2.9005	2.8636	2.8259	2.7872	2.7475	2.7067
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4781	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204	2.9782	2.9130	2.8450	2.7740	2.7372	2.6995	2.6609	2.6211	2.5801	2.5379
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964	2.7534	2.6866	2.6168	2.5436	2.5055	2.4663	2.4259	2.3842	2.3410	2.2962
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876	2.5437	2.4753	2.4034	2.3275	2.2878	2.2468	2.2043	2.1601	2.1141	2.0658
20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928	2.3479	2.2776	2.2033	2.1242	2.0825	2.0391	1.9938	1.9464	1.8963	1.8432
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6206	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002	2.2547	2.1834	2.1077	2.0267	1.9838	1.9390	1.8920	1.8424	1.7896	1.7330
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107	2.1646	2.0921	2.0148	1.9317	1.8874	1.8409	1.7918	1.7396	1.6835	1.6223
40	4.0847	3.2317	2.8388	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240	2.0772	2.0035	1.9244	1.8389	1.7929	1.7444	1.6928	1.6373	1.5766	1.5089
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1666	2.0970	2.0401	1.9926	1.9174	1.8364	1.7480	1.7001	1.6491	1.5943	1.5343	1.4673	1.3893
120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2898	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588	1.9104	1.8337	1.7505	1.6587	1.6084	1.5543	1.4952	1.4290	1.3519	1.2539
∞	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799	1.8307	1.7522	1.6664	1.5705	1.5173	1.4591	1.3940	1.3180	1.2214	1.1000

Dr. JOSE ANTONIO LEGUA CARDENAS
ASESOR

Dr. BERARDO BEDER RUIZ SANCHEZ
PRESIDENTE

Dr. JOSE VICENTE NUNJA GARCIA
SECRETARIO

Dr. FREDESVINDO FERNANDEZ HERRERA
VOCAL

Dr. JOSE LUIS ROMERO BOZZETTA
VOCAL

