



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL

“INFLUENCIA DE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y FÓSFORO TOTAL DE EFLUENTES LÁCTEOS, MOCHE - LA LIBERTAD 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Fabiola Mercedes Meza Castillo

David Andres Morales Moreno

Asesora:

M. Sc. Ing. Gladys Sandi Licapa Redolfo

<https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Margeo Javier Chuman Lopez	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

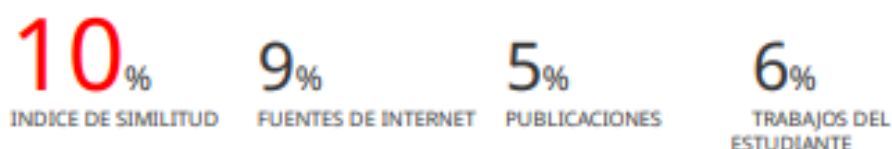
Jurado 2	Alberto Santiago Palacios Miñano	45150028
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Gladys Sandi Licapa Redolfo	41379556
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

INFLUENCIA DE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y FÓSFORO TOTAL DE EFLUENTES LÁCTEOS, MOCHE - LA LIBERTAD 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	5%
2	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	G&M Consultoría Ambiental S.A.C.. "Actualización del EIA de la Planta Industrial Huachipa de la Empresa Leche Gloria-IGA0005326", R.D. N° 606-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2021 Publicación	1%
5	1library.co Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Colegio Alemán Trabajo del estudiante	1%

DEDICATORIA

A Dios, por iluminarnos y guiarnos en este camino del saber, por ser nuestra fortaleza ante la adversidad que pudieron haber surgido en el desarrollo de esta tesis y por nunca dejarnos sentir que estábamos solos en esto.

A nuestros padres, por su constante apoyo en el transcurso de toda nuestra carrera, ya que gracias a ellos hemos podido llegar hasta dónde estamos y estamos seguros de que llegaremos mucho más lejos.

A nosotros mismos, por el esfuerzo y dedicación que hemos tenido no solo en la elaboración de esta tesis, sino a lo largo de toda nuestra carrera, mostrando compromiso, responsabilidad y haciendo frente a cualquier obstáculo que se nos haya podido presentar.

AGRADECIMIENTO

Agradecidos, en primer lugar, con Dios, por brindarnos la oportunidad de haber cursado una carrera universitaria y no habernos dejado solos en este largo caminar, así como habiéndonos bendecido con esta hermosa amistad que hemos podido forjar, llevándonos a ser un gran equipo para poder lograr grandes cosas.

Agradecemos también a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte – Campus San Isidro, por habernos guiado compartiendo sus saberes y enseñanzas para hacer de nosotros unos mejores profesionales.

Del mismo modo, agradecer a nuestra asesora de tesis Jessica Marleny Luján Rojas por su tiempo, apoyo y dedicación en la elaboración de esta tesis, por cada recomendación y consejo para poder mejorar como profesionales y como personas.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	26
CAPÍTULO III: RESULTADOS	36
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	56
ANEXOS	62

Índice de tablas

Tabla 1. Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines.....	22
Tabla 2. Caracterización del efluente de la EIL.....	31
Tabla 3. Tabla de denominación de dosificaciones según el volumen aplicado por tratamiento.	32
Tabla 4. Resultados de SST, PO_4^{3-} y P para toma de muestras 1 (TM1) y toma de muestras 3 (TM3) sin el tratamiento de coagulación y floculación.	37
Tabla 5. Resultados del análisis de jarras para TM2 con D1, D2 y D3.	37
Tabla 6. Dosificación real del sistema de coagulación / floculación a escala PTAR para tratamiento del efluente lácteo.	40
Tabla 7. Resultados del análisis del laboratorio SGS del segundo al quinto día de monitoreo.	42
Tabla 8. <i>Resultados del análisis del laboratorio SGS en el sexto día de monitoreo.</i>	43
Tabla 9. Comparativa de parámetros medidos por el laboratorio SGS con los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmetal Guidelines.....	44
Tabla 10. Análisis de varianza del análisis del parámetro Sólidos Suspendidos Totales (SST).	45
Tabla 11. Análisis de varianza del análisis del parámetro Fósforo Total (P total).	45
Tabla 12. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales para Fósforo Total (P total).	46
Tabla 13. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales para Sólidos Suspendidos Totales (SST).	47
Tabla 14. Análisis de normalidad para Sólidos Suspendidos Totales (SST).	48
Tabla 15. Análisis de normalidad para Fósforo Total (P total).	49

Índice de figuras

Figura 2. Diagrama del diseño de preprueba-posprueba y grupo de control.	27
Figura 3. Diagrama de diseño de investigación.	27
Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento de medición de parámetros.	35
Figura 5. Análisis de jarras respecto a Sólidos Suspendidos Totales (SST) en comparación a los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines y el efluente sin tratamiento.	38
Figura 6. Análisis de jarras respecto a Fósforo Total (P total) en comparación a los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines y el efluente sin tratamiento.	39
Figura 7. Evolución del porcentaje de reducción de SST y P total a lo largo de los días de monitoreo.	43
Figura 8. Análisis de normalidad para Sólidos Suspendidos Totales (SST).	48
Figura 9. Análisis de normalidad para Fósforo Total (P Total).	50

RESUMEN

Debido a la actual problemática de contaminación del agua por industrias de distintos rubros, la presente tesis tiene como objetivo general determinar la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, para mejorar la calidad del agua tratada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de una Empresa de la Industria Láctea (EIL) en el distrito de Moche, La Libertad, sujeta a las exigencias de los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines. Para ello, se llevó a cabo una prueba de jarras con 3 dosificaciones distintas de floculante (polímero catiónico al 1%) y coagulante (cloruro férrico al 40%), siendo óptima la dosificación 3 (D3) con 1.42mL de floculante y 0.12mL de coagulante, para la remoción de los parámetros Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Fósforo Total (P total). Esta dosificación se añadió directamente al tratamiento de la PTAR y se monitoreó durante 6 días, con un laboratorio externo, para verificar el cumplimiento de la normativa, obteniendo así un porcentaje máximo de remoción del 100% para Sólidos Suspendidos Totales (SST) y 96.26% para Fósforo Total (P total), concluyéndose el cumplimiento de la normativa.

PALABRAS CLAVES: efluentes lácteos, coagulación, floculación.

ABSTRACT

Due to the current problem of water pollution by industries of different sectors, the general objective of this thesis is to determine the influence of a coagulation and flocculation system on the removal of total suspended solids and total phosphorus from dairy effluents, to improve quality of the treated water from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of a Dairy Industry Company (EIL) in the district of Moche, La Libertad, subject to the requirements of the Permissible Limits of IFC/BM General Environmental Guidelines. For this, a jar test was carried out with 3 different dosages of flocculant (1% cationic polymer) and coagulant (40% ferric chloride), dosage 3 (D3) being optimal with 1.42mL of flocculant and 0.12mL of coagulant, for the removal of the parameters Total Suspended Solids (TSS) and Total Phosphorus (total P). This dosage was added directly to the treatment of the WWTP and was monitored for 6 days, with an external laboratory, to verify compliance with the regulations, thus obtaining a maximum removal percentage of 100% for Total Suspended Solids (TSS) and 96.26%. for Total Phosphorus (total P), concluding compliance with the regulations.

KEYWORDS: dairy effluents, coagulation, flocculation.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El 97.5% del agua total del mundo está conformada por agua salada y, el 2.5% restante, por agua dulce. De la fracción de agua dulce, el 70% está contenida y congelada en glaciares, nieve o hielo; casi el 30% corresponden a aguas subterráneas y menos del 1% está a disponibilidad del consumo humano y en los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (2017), indica que el agua se encuentra contaminada cuando esta pierde su composición o estado de origen natural, llegando a carecer de las características necesarias para los diversos usos a los que estaba destinada. Cuando el agua está contaminada, presenta alteraciones de sus parámetros físicos (puede ser temperatura, color, densidad, sólidos en suspensión, etc.), así como químicas (sustancias disueltas, composición, etc.) o biológicas, por lo que no puede cumplir con el uso o funciones para la que se le necesita. Las fuentes de contaminación pueden ser naturales o de origen antropogénico, siendo este último, la principal causa, ya que tanto el crecimiento poblacional como los procesos industriales, conllevan un mayor consumo de agua, generación de residuos y efluentes que llegan a parar a estas aguas.

Los principales efluentes y sus contaminantes, mundialmente vertidos, mayormente son de origen industrial, por ejemplo, de la industria pesquera aportando grandes desechos salinos con un porcentaje del 35% del total del efluente. Así también, tenemos a la industria animal en productos de cuero, con vertidos sumamente tóxicos con grandes concentraciones de cromo, cloratos y fenoles, y con altos niveles de grasa que conlleva hasta 80m³ por cada tonelada métrica

de piel; o, por otro lado, la industria textil emite anualmente hasta $2,8 \times 10^5$ de toneladas métricas de efluentes con colorantes a los cuerpos de agua (Branchón, C. et al, 2016).

La existencia de distintos contaminantes en el agua puede traer graves consecuencias sobre los organismos, como la genotoxicidad, carcinogenicidad, neurotoxicidad (en el caso de metales e insecticidas) y descenso de fertilidad. El mundo se haya en una progresiva disminución de recursos hídricos, comprometiendo a actividades como la agricultura y pesca, privando al hombre de alimentos y facilitando la transmisión de enfermedades. Actualmente, el 20% de la población mundial no puede acceder a un abastecimiento de agua potable, y el 50% carece de saneamiento, siendo África y Asia las zonas donde existe mayor carencia de este recurso, necesitando de carácter urgente la práctica estricta de las políticas y leyes ambientales, antes de que la situación sea totalmente irreversible (Guadamarra, R., 2016).

En la antigüedad, los griegos utilizaban letrinas públicas que eran drenadas hacia un colector ubicado en el exterior de la ciudad que, a su vez, dirigía las aguas residuales para ser usadas para riego y fertilización de los cultivos. Es así que, en el año 800 a.C, los romanos crearon la *Cloaca Máxima*, sistema subterráneo de drenaje conectado desde las casas, baños públicos y letrinas, hacia el río Tíber. El s.XVIII fue conocido como la “era de la oscuridad sanitaria”, ya que la única disposición de las excretas fue simplemente colocándolas en las calles, haciendo que los habitantes no soportaran el mal olor y se contagiaron de múltiples enfermedades. Cerca al año 1800, en Ámsterdam, surgió la propuesta de segregar las excretas en un carro colector que era movilizado por las calles, sin embargo, al ser inevitables los derrames en el trayecto, no contribuyó significativamente a la problemática, por lo que urgía un sistema de alcantarillado general, pero,

al tener costos elevados de inversión para el aseo de las alcantarillas, no fue posible su pronta implementación (Buitrón et al., 2017).

Sin embargo, en 1893, se instaló uno de los primeros filtros biológicos de biopelículas sobre rocas y, en 1913, en Reino Unido, el proceso de lodos activados fue descubierto gracias a múltiples experimentos de tratamiento de efluentes en un reactor. En los sesentas, ya se tenía conocimiento de algunos modelos matemáticos que explicaban que los ríos del Reino Unido, no iban a soportar más descargas de aguas residuales en relación con el crecimiento de las metrópolis, y es por eso surgió la necesidad de la eliminación de materia orgánica, DBO y DQO, pero, sobre todo, de nitrógeno y fósforo para evitar la eutrofización. Es por eso que Barnard, en 1976, desarrolló el principio Phoredox, con el cual, mediante ciclos anaeróbicos y aeróbicos en el sistema de lodos activados, se lograba la eliminación de fosfatos (Buitrón et al., 2017).

Actualmente, existen múltiples procesos físico-químicos, dentro de los cuales encontramos des emulsificación, flotación, micro electrólisis y procesos avanzados de oxidación, que pueden ser empleados para efectuar el tratamiento de efluentes lácteos, sin embargo, debido a que consumen mucha energía y causan contaminación secundaria, se ve limitada su aplicación en la ingeniería del tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, los procesos biológicos están teniendo mayor consideración para el tratamiento de aguas residuales porque son económicamente rentables, respetuosos con el medio ambiente y de gran eficiencia (Suárez et al., 2014).

En Ecuador, uno de los principales problemas de los productores de derivados de leche, es la alta carga contaminante en sus efluentes, siendo estos el resultado de fugas de materias primas que vienen de los diferentes procesos de lavado de equipos (como tanques, evaporadores, pasteurizadores, etc.), presentando grandes concentraciones de carácter orgánico, DBO, DQO y

fuerzas cantidades de grasas. Poniendo como ejemplo a la industria Pastolac, empresa productora de quesos, desfoga directamente al alcantarillado para eliminar el agua que utilizan durante el procesado de la materia prima hasta convertirla en producto, contaminando de esta manera los ríos que se encuentran alrededor del sector mediante los canales de regadíos que pasan junto a la empresa (Iza y Toapanta, 2019).

Por otro lado, en Colombia, los cuerpos de agua se han visto seriamente perjudicados por la mala disposición de efluentes de la industria de alimentos, sobre todo, de la industria láctea, y para poder cumplir con la normativa y demás legalidades, y por sobre todo, disminuir los impactos ambientales, es necesario establecer el correcto diseño para su tratamiento ya que la caracterización de dichos efluentes suele ser muy variable (Benítez, M. 2021).

Así también, en las industrias lácteas se producen efluentes con diversas características y contaminantes, debido a la gran variedad de productos procesados y a los sistemas de fabricación empleados, caracterizándose por una alta concentración de sólidos, aceites y grasas y materia orgánica. La problemática de las unidades de tratamiento (PTARs) de los países de Latinoamérica es que no afrontan la variabilidad de los caudales afluentes, provocando fallas en sus reactores y sedimentadores, así como en la composición de sus lodos residuales. Es por eso que, debido a esta problemática, en el tratamiento de aguas residuales resaltan los avances en los métodos de tratamiento físico químicos (coagulación/floculación), ya que han mostrado una gran eficiencia (Chinchilla y Oñate, 2021).

En el Perú, las aguas servidas provenientes de la mezcla de procesos industriales, estilos de vida y viviendas de la zona costera, tienen como destino final el mar, afectando los ecosistemas marinos y la vida acuática. Es por eso que últimamente se vienen reportando altas concentraciones

de grasas y aceites en las costas, siendo el caso de las bahías de Vegueta y Huacho, cuyos valores promedio de los parámetros de aceites y grasas fueron de 26.830mg/L en la bahía de Vegueta, mientras que en la bahía de Huacho fluctuó entre 22.4mg/L y 20.9mg/L, valores que exceden ampliamente el establecido en la norma ECA, el cual es de 5mg/L (Muñoz, V., 2021).

En la ciudad de Trujillo, el 90% de los efluentes residuales se tratan mediante lagunas de oxidación, en cuatro PTARs, de las cuales se reparten entre la urbanización de Covicorti, con un 61%, El Cortijo, con un 18%, Valdivia con un 7% y Pit con un 4%; estas lagunas fueron diseñadas solo para tratar descargas municipales, con un caudal promedio de 0.432m³/seg. Trujillo se caracteriza por contar una zona industrial ubicada entre los distritos de Moche, Laredo, Trujillo, Virú y Salaverry, en la que cada empresa vierte individualmente sus efluentes al río Moche, generando el interés y sobre todo la necesidad de contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales para reducir los impactos ambientales (Centeno et al, 2019).

El tema del presente trabajo de investigación corresponde a la línea de “Desarrollo sostenible y Gestión empresarial”, debido a que contribuye con el desarrollo de actividades y cumplimiento de objetivos de una determinada empresa, dentro del marco de la responsabilidad y control de impactos medioambientales. Asimismo, debido a que los procesos estudiados son parte de sistemas de tratamiento de efluentes, se corresponde con la sublínea de “Remediación ambiental, biominería, gestión de residuos y excedentes industriales. Tratamiento y reutilización de aguas residuales”.

En esta investigación, se responderá a la pregunta: ¿Cuál es la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos?

Debido a esta realidad problemática, estudios en la India como el de Gupta (2016), titulado "Optimización multiobjetivo del tratamiento de productos lácteos Aguas Residuales por Proceso de Electrocoagulación y Modelado de cinética de adsorción, isothermas de adsorción", afirma que dichas aguas se caracterizan por una alta concentración de DBO₅ y DQO, así como gran cantidad de grasas, nutrientes y lactosa. El proceso de electrocoagulación se ha investigado utilizando electrodos de aluminio a escala laboratorio, para analizar DQO, DBO₅, consumo de ánodo y consumo específico de energía eléctrica (SEEC). Las condiciones optimizadas sugeridas fueron: densidad de corriente aplicada 2.209mA/cm², pH 6.86 y conductividad 2000 μS/cm. Los resultados mostraron una remoción de 79.45% y 81.02% para DQO y DBO₅ respectivamente, mientras que el ánodo del consumo y SEEC fue de 0.065 mg/mg DQO y 0.068J/mg DQO respectivamente.

Así también, en América Latina, estudios realizados en Ecuador como el de Molina, M. (2015) titulado "Propuesta de tratamiento de aguas residuales en industria láctea", se analizaron las aguas vertidas por una industria láctea situada en Alóag, Quecor S.A. y se empleó un tratamiento que consistió en: aireación por 24 horas, digestión bacteriana durante 24 horas, complementado con coagulación, floculación y filtración con grava fina. Los resultados iniciales no pudieron cumplir con lo establecido en la Normativa 002-SA-2014 del Distrito Metropolitano de Quito, por lo que se removió el suero de leche del efluente para que se pueda utilizar en otras actividades y con esta nueva muestra sin suero, se realizó el tratamiento antes propuesto cumpliendo esta vez con los parámetros máximos permisibles de manera satisfactoria. Se concluyó que el tratamiento compuesto por la previa eliminación del suero, aireación y mezcla de enzimas-bacterias con los procesos de floculación, coagulación y filtración ha sido un proceso exitoso para

este tipo de industrias, en donde se obtuvo más del 95% de remoción para la DBO y DQO, el 98% para SST, un 99.66% para aceites y grasas y 80.78% en sulfatos.

Por otro lado, Carrillo y Ramírez (2020) en su investigación titulada “Método coagulación y floculación con la construcción de un clarificador para tratamiento de efluentes de la industria láctea” desarrollado en Quito, Ecuador, se diseñó y construyó el clarificador sedimentador para el tratamiento de las aguas vertidas por la Industria Láctea “Lácteos Adrianita- Aloasí”. Mediante prueba de jarras, se determinó la concentración óptima tanto del coagulante como del floculante, así como el tiempo de contacto preciso para que suceda el proceso de coagulación/floculación de la muestra de 1L de agua residual. Se realizó la prueba a escala de planta piloto, en donde los equipos utilizados dosificaron en línea al coagulante al Policloruro de Aluminio PAC 0,5%) y al floculante catiónico 0,1%). En las pruebas realizadas en la planta piloto del sistema clarificador, se pudo identificar que la dosificación óptima de los químicos es: PRP Coagulante líquido Solución 5% (200mL/1 L Agua Residual), PHP-20 Floculante Catiónico Solución 0.1% (12mL/1 L Agua Residual) para que los flocs puedan consolidarse y, posteriormente, se sedimenten con un caudal de trabajo de agua residual a tratar de 0,05L/s. El porcentaje de disminución adquirido en los resultados fue para DBO (9.79%), DQO (4.76%), Turbidez (46.66%), Color Real (1.57%) y Color Aparente (10.83%), comprobando la confiabilidad del uso y de la planta piloto para poder llegar a tener un tratamiento adecuado para el agua residual de Lácteos Adrianita mediante los procesos de coagulación/floculación.

Del mismo modo, Rondón et al. (2017), en la investigación “Empleo de semillas de Moringa Oleífera en el tratamiento de residuales líquidos”, realizada en Cuba, usaron estos granos, luego de haberles extraído el aceite, y así aplicarlos como coagulante para el tratamiento de aguas

residuales de una planta municipal. Se logró reducir la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) hasta obtener una eficiencia del 75%, mientras que del Fósforo Total, un 38.98%. La DQO resultante fue de 80 mg/L, aplicándose 69.70 mg/L del coagulante, superando el 90% de reducción. Tras el análisis de sólidos, dureza, alcalinidad y fósforo una vez aplicado el coagulante orgánico, se pudo concluir que la semilla de Moringa Oleífera tiene grandes beneficios ambientales, económicos y sociales.

Así también, Chinchilla y Oñate (2021), quienes desarrollaron su investigación titulada “Poliectrolito catiónico como coagulante empleado para remover aceites y grasas de aguas residuales de una industria láctea” en Colombia, se evaluó la eficiencia de dicho químico para el tratamiento de estos efluentes. Se llevó a cabo una prueba de jarras en muestras de 1L, las cuales se mezclaron en dos tipos de revoluciones: rápido, a 150 RM por un minuto, y lento, a 30 RPM durante 25 minutos y con reposo de 30 minutos. Se dosificaron cantidades de 100 ,140, 180, 220 y 260 mg/L de polielectrolito catiónico, y se logró remociones de Aceites y Grasas, SST, DQO y turbidez, entre el 27%-62%, 57%-89%, 8%-58 % y 26%-88%, respectivamente. Se concluyó que la dosificación óptima fue de 140 mg/L para polielectrolito catiónico, usado como pretratamiento para facilitar la remoción de los parámetros antes especificados en la unidad de flotación por aire disuelto, del sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

En Perú, Cruz y Rivero (2020) realizaron en Arequipa el trabajo denominado “Disminución de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un Prototipo de Lombrifiltro”, en donde se elaboró un modelado de filtro biológico teniendo como base el Sistema Tohá y así comparar su eficiencia con un tratamiento convencional. Se determinó que el sistema de biofiltro logró un 90.64% de eficiencia en cuanto al parámetro de turbidez, y se concluyó que

los costos son mucho más accesibles que un tratamiento común, con un aproximado de S/. 1 645 805, mientras que los costos operativos del tratamiento convencional oscilan los S/. 11 265 880.

De la misma manera, Lazo y Vilca (2020) desarrollaron una investigación denominada “Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea mediante el proceso de electrocoagulación” proponiendo el diseño y construcción de un reactor con la finalidad de obtener la densidad de corriente óptima para su uso en el proceso de electrocoagulación en la purificación de las aguas residuales de la industria láctea “Ecolac Polobaya”. La eficiencia promedio de eliminación de sólidos suspendidos (SST) y turbidez fue del 95 %. Estas eficiencias se obtuvieron determinando la densidad de corriente óptima a utilizar, que fue de 116,7 A/cm² durante 25 minutos. Además, se logró una caída de conductividad de hasta 475 μ S/cm y la variación máxima del pH fue de 4.02 a 12.10.

En la ciudad de Trujillo, Llaro y Mendoza (2020) en su investigación “Tanque de tratamiento de aguas residuales para su correcta disposición en el sistema de drenaje de la provincia de Trujillo”, proponen un sistema de tratamiento para efluentes de la industria del cuero basado en el análisis de 23 estudios. Se seleccionaron solo 5, en los que se redujeron DQO, SST, cromo y sulfuros, logrando el cumplimiento de LMP y VMA. Así, se diseñó el sistema en base de: un enrejado para la retención de sólidos grandes, trampa de grasas para efluentes de remojo y pelambre, seguidos de un sistema de filtración con trampa de grasas y compuertas, antes de pasar por el tanque de coagulación y floculación (C-F). Por otro lado, existe un filtro de malla y un tratamiento de sedimentación para las aguas residuales de estacionamiento, y las aguas residuales desatendidas (como las de remojo, pelambre y curtido) van directamente al tanque de

homogeneización, donde se someten a filtración y salen listas para ser enviadas a la red de alcantarillado.

Actualmente, se ha despertado un interés común en apostar por el mejoramiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, introduciendo sistemas de pretratamiento como tamices de malla fina, con muy pequeñas huellas, para impedir el paso de sólidos que puedan afectar al tratamiento biológico y a los equipos (Bjarne et al., 2014). Así también, sobresalen en el tratamiento primario de los efluentes, la evolución de los procesos de tratamiento físico-químicos, como de coagulación y floculación, puesto que se ha validado su eficacia permitiendo la desestabilización de las partículas en suspensión y fomentar la formación de flóculos que puedan ser eliminados por flotación o por sedimentación. Este paso también incluye la neutralización, el decapado y la eliminación de aceites y grasas por flotación, seleccionando los coagulantes y polímeros compatibles al tipo efluente a tratar (Oñate y Chinchilla, 2021).

Según Cambridge Dictionary (2023), se define como efluente a los líquidos residuales que se emiten de fábricas o lugares donde estos se tratan para ser desembocados en cuerpos de agua como el mar o los ríos.

El tratamiento de coagulación consiste en que un agente coagulante reacciona frente a las partículas suspendidas en el agua, neutralizando su carga eléctrica, por lo tanto, se elimina la fuerza repulsiva que tienen estas partículas con otras de carga equivalente, consolidándose en otras partículas de mayor tamaño llamadas “micro floculos”, invisibles a simple vista. Cuando este proceso finaliza y es satisfactorio, el agua se mantiene de color claro, lo cual indica que todas las partículas han sido neutralizadas (Greaves, 2022). En cambio, la floculación es el proceso que ocurre después de la coagulación, donde un agente floculante, promueve la acumulación de los

micro floculos en “flóculos”, los cuales ya son visibles. Una vez que los flóculos han alcanzado el tamaño y resistencia óptimos, pueden ser removidos por procesos físicos como la filtración, flotación, sedimentación, etc. (Greaves, 2022).

El marco legal peruano actual y vigente, la Ley de Recursos Hídricos 29338, ley reguladora, establece la existencia del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, con la Autoridad Nacional del Agua como su ente rector. Define cómo pueden ser aprovechados los recursos hídricos en el país, así como los derechos y sus licencias de uso, su protección, los regímenes económicos, la planificación para su uso, la infraestructura hidráulica, normatividad para aguas subterráneas, cuerpos de agua amazónicos, fenómenos naturales, y, por último, las infracciones y sanciones (ANA, 2019).

La aplicación del trabajo de investigación se ha realizado en una de las PTAR construída por Clean Water Technology (CWT) para tratar los efluentes de una empresa a la que llamaremos Empresa de la Industria Láctea (EIL), empresa que vendría a ser el “cliente”, ubicada en la ciudad de Moche, La Libertad, a fin de poder cumplir con las exigencias en cuanto a obtener un agua tratada, cuya calidad cumpla con los valores exigidos en la Normativa Vigente en cuanto a Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines.

Tabla 1. *Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines.*

Contaminantes	Unidades	Valor guía
pH	pH	6 – 9
DBO	mg/L	30
DQO	mg/L	125
Nitrógeno total	mg/L	10
Fósforo total	mg/L	2
Aceite y grasa	mg/L	10
Sólidos suspendidos totales	mg/L	50
Coliformes totales	NMP/100mL	400

Los parámetros a analizar en este trabajo de investigación dentro del laboratorio de la PTAR son: SST y Fósforo Total aproximado, mediante análisis de fosfatos. Así también se analizaron: fósforo total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y aniones (nitritos y nitratos), mediante el análisis de un laboratorio certificado.

La empresa CWT es una división de Marvin Engineering Group, especializada en sistemas avanzados para el tratamiento de aguas. Provee diseño y fabricación de equipos para: pretratamiento, tratamiento primario, secundario, terciario y de lodos. Es necesario resaltar que el trabajo experimental sobre el proceso de coagulación-floculación se ha realizado como modificación sobre el proceso propio de la PTAR que se detallará a continuación, para poder cumplir con las exigencias antes mencionadas.

El sistema de tratamiento de aguas elaborado por CWT para la EIL está conformado por la adaptación de un tren de tratamiento completo sobre un sistema DAF con el que la EIL ya contaba

en sus instalaciones. El proceso está conformado primeramente por una trampa de grasas a la que la EIL enviará sus efluentes con la finalidad de reducir los niveles de grasas y aceites, antes de su ingreso a las siguientes etapas del tren de tratamiento. Se bombeará el efluente hasta la Criba Rotatoria, la cual separa los sólidos con diámetros superiores a 1mm que puedan interferir en el funcionamiento del resto de los equipos. Luego por gravedad, el efluente caerá al tanque de homogeneización existente, con el cual se mantendrá el flujo constante del efluente a la entrada del tratamiento biológico y se evitará sedimentación de sólidos.

Del homogeneizador, por bombeo, el efluente ingresará a un Reactor Anaerobio UASB, para digerir los lodos biológicos con la finalidad de evitar deshidratar el lodo. Seguidamente, por rebose, el efluente a la salida del UASB, pasará a un tratamiento con lodos activados, el cual, es un proceso aerobio que consiste en un tanque de aireación, donde un consorcio de microorganismos degrada biológicamente el material contaminante presente en el agua residual haciendo uso de oxígeno. Del reactor aeróbico, se bombeará el agua un DAF existente, para permitir la remoción de los sólidos en suspensión y la sedimentación del lodo, el lodo de purga será recirculado por bombeo al reactor anaerobio para retenerse, digerirse y convertirse en lodo anaerobio, mientras que el agua pasará al tanque de contacto de cloro, en el cual se le añadirá una solución de hipoclorito de sodio con la finalidad de eliminar microorganismos remanentes, esta etapa será usada como pulimento final de ser requerida, para así poder tener un agua con la calidad exigida con la Normativa Vigente en cuanto a Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines. El agua filtrada será evacuada según requerimientos, siendo esta agua el efluente final del tratamiento biológico.

Debido a la deficiencia de sistemas óptimos para tratar aguas residuales industriales, los efluentes lácteos son vertidos a los cuerpos receptores con concentraciones de contaminantes muy altas, excediendo así lo especificado en las normativas ambientales. Para causar un menor daño a los ambientes acuáticos, flora y fauna, además de asegurar el uso del agua de estos ambientes para actividades humanas, es que se hace necesario un sistema de tratamiento como el de coagulación y floculación para cumplir con lo establecido en los Límites Máximos Permisibles, Estándares de Calidad Ambiental y leyes ambientales nacionales e internacionales.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022?

Objetivos

Objetivo principal

Determinar la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022.

Objetivos específicos

- Determinar la dosis óptima de polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40% floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022.
- Determinar el porcentaje máximo de remoción del polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40% sobre la concentración de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022.

- Verificar el cumplimiento de los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines en las concentraciones de sólidos suspendidos totales y fósforo total, una vez aplicado el sistema de coagulación y floculación en la PTAR.

1.3. Hipótesis

El uso de un sistema de coagulación y floculación influye notablemente en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, logrando cumplir con las normativas.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

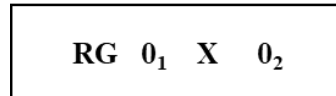
La presente investigación considera un enfoque cuantitativo, el cual se define como un conjunto de pasos ordenados secuencialmente para corroborar cierta data. Este tipo de enfoque se emplea para estudiar fenómenos medibles al procesar los datos recogidos a través de análisis estadísticos o de cálculos matemáticos (Hernández et al., 2014; Sánchez, 2019).

Asimismo, es aplicada, porque busca alcanzar un objetivo concreto, a través de un mecanismo correctamente delimitado.

También es experimental, debido a que se tiene control total de las variables y las condiciones en las que estas se encuentran. Además, posee un diseño en el cual se llevará a cabo un proceso de análisis de laboratorio para poder determinar la relación de las variables. Para analizarlas, se realizarán procedimientos ya establecidos en anteriores investigaciones, por lo que se recolectarán los datos en un determinado momento, tiempo y lugar de muestreo (Serrano et al., 2018).

El diseño de la investigación es de preprueba-postprueba con grupos distribuidos aleatoriamente, debido a que se seleccionó muestras al azar, a los cuales de manera simultánea se les realizó una preprueba, un tratamiento experimental, y finalmente la posprueba. La preprueba tiene la finalidad de mostrar qué tan adecuada fue la selección al azar, considerándose adecuado para esta investigación que las muestras posean los mismos o similares niveles de parámetros físico-químicos antes de iniciar el tratamiento, además de permitirnos analizar la diferencia entre los niveles de parámetros iniciales y finales, una vez se haya aplicado el tratamiento y la posprueba (Hernández et al. 2014).

Figura 1. Diagrama del diseño de preprueba-posprueba y grupo de control.



Nota. Diagrama del diseño de investigación de preprueba-posprueba y grupo de control, en el cual se muestra el momento en el que se realiza la preprueba, tratamiento y posprueba. Tomado de *Metodología de la investigación* (p. 145), por Hernández, Fernández y Baptista, 2014.

Donde:

R: Asignación aleatoria o al azar.

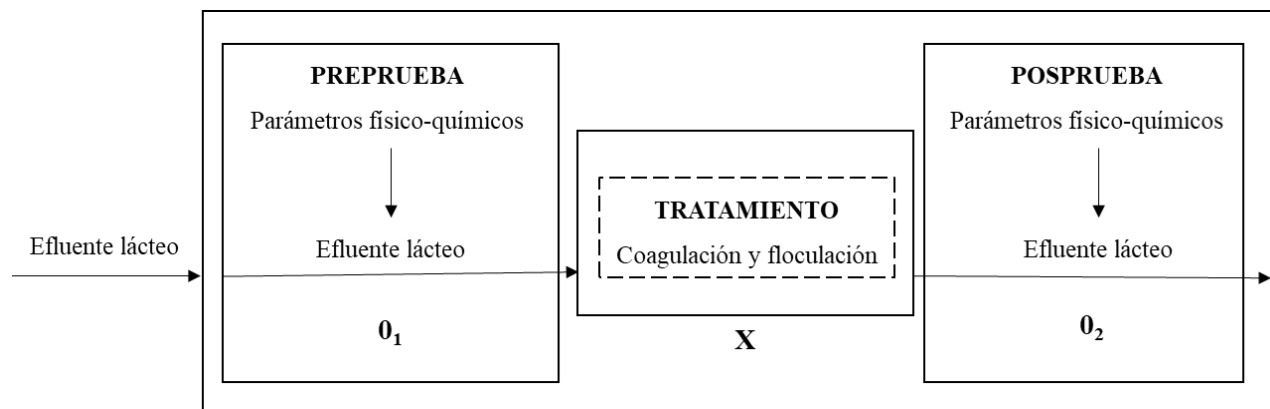
G: Grupo de sujetos o casos de estudio. En este caso se consideran a las muestras tomadas del efluente lácteo.

0₁: Preprueba, donde se miden los parámetros físico-químicos.

X: Tratamiento experimental.

0₂: Posprueba, donde se miden los parámetros físico-químicos.

Figura 2. Diagrama de diseño de investigación.



Nota. Representación gráfica del diseño de la investigación adaptado al presente estudio, en el cual se muestra el momento en el que se realiza la preprueba, tratamiento y posprueba. Tomado de *Metodología de la investigación* (p. 146), por Hernández, Fernández y Baptista, 2014, McGrawHillEducation.

La población se constituye por personas u objetos de los que se desea conocer en una investigación, y sobre la cual se desarrollará un estudio, análisis o experimento (Hernández et al., 2014). La población son los todos los efluentes generados por la Empresa de la Industria Láctea (EIL).

La muestra es un subgrupo de la población, el cual posee características específicas y a través de la cual se obtendrán los datos (Hernández et al. 2014). La muestra tomada para este estudio es representativa porque contiene todas las características de la población, dicha muestra se ha seleccionado de manera aleatoria para realizar la experimentación, de la cual se extrajo un volumen de 3L de efluente lácteo. Esta muestra se caracterizó por poseer una elevada concentración de sólidos suspendidos totales, aspecto turbio y alta carga orgánica.

Nota: Las cadenas de custodia registradas al momento del monitoreo por el laboratorio SGS, solo han sido compartidas y validades con los altos mandos de la empresa CWT, es decir, no hemos podido tener acceso a ellas

Se empleó como coagulante el cloruro férrico al 40% y como floculante el polímero catiónico (poliacrilamida catiónica) al 1%, debido a que estos han sido previamente seleccionados por la gerencia de proyectos de la empresa CWT, ya que van acorde al diseño de la PTAR y no afectan significativamente al microbiota presente en los tanques.

Se empleó como técnica y variante de instrumento, la observación experimental, que consta de instrumentos de observación especializados en química analítica para determinar las

características, principales componentes y concentraciones de los diferentes parámetros presentes en el efluente que se procedió a analizar.

Como instrumento se utilizó la ficha de recolección de datos, la cual se corresponde con la técnica elegida para realizar este estudio. El instrumento se seleccionó en base al cumplimiento de tres requisitos esenciales como la confiabilidad, la cual se define por el grado de aplicación repetida al mismo objeto o sujeto y que garantiza la obtención de iguales resultados; la validez, que se define por la exactitud de medición del instrumento; y, por último, la objetividad que se refiere al grado de permeabilidad que tiene el instrumento a la influencia de los sesgos de los investigadores que los evalúan (Tamayo y Silva, 2018).

Para comenzar la aplicación de este trabajo, se llevó a cabo la **primera fase** en donde se conocerá el **estado real del efluente**, realizando la toma de muestras de entrada y salida de PTAR, denominado ambos puntos de la siguiente manera:

- **Toma de muestras 1 (TM1):** ubicado en la trampa de grasas a entrada de la PTAR, por donde ingresa el efluente directo de la EIL. En este punto se tendrá referencia de la concentración con la que entran los parámetros que componen el efluente, al tratamiento.
- **Toma de muestras 3 (TM3):** ubicado a la salida del tanque DAF al final de tratamiento de la PTAR. En este punto se podrá tener referencia del estado del efluente tratado, sabiendo qué parámetros cumplen o no cumplen con la Normativa Vigente en cuanto a Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines con el que opera la PTAR de la EIL.

Se procede con el análisis de las muestras ya antes mencionadas para conocer el estado del efluente, para esto, se comienza con el análisis de las muestras del TM1, a la entrada de la PTAR. Primeramente, se prepara una muestra en blanco, con agua destilada, en un tubo de ensayo hasta

donde indica la muesca, para medir en el equipo DR900. Seguidamente, se prepara otro tubo de ensayo, pero ya con el agua del punto. Habiéndose preparado estos dos tubos de ensayo, se podrán medir el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el equipo DR900 Hach, configurando esta opción en el menú principal. Se comienza colocando el tubo con la muestra en blanco y se presiona “cerar”; esta muestra en blanco, o “cero”, es la referencia que se tendrá de 0mg/L de SST. Se retira el tubo de ensayo y se introduce el tubo con muestra. Se tapa muy bien el equipo DR900 y se selecciona la opción “leer”. Se anota finalmente el resultado arrojado por el colorímetro. Todo este procedimiento se realiza de la misma manera para medir los SST del TM3.

Un parámetro que también es posible medir en el DR900, pero de manera indirecta, es el Fósforo Total (P total) mediante la medición de fosfatos (PO_4^{3-}). Para esto, se prepara una muestra en diez partes: 10mL de muestra y 90mL de agua destilada (para no sobrepasar el rango de mg/L de PO_4^{3-} del equipo). Se extrae solo 10mL de la mezcla realizada y se coloca en un tubo de ensayo, se coloca el reactivo HACH para fosfatos, se agita por 30 segundos y se deja hacer reacción por 2 minutos. Para la preparación del “cero” solo es necesario colocar 10mL de agua destilada en un tubo de ensayo. Para el análisis, se selecciona la opción “P react. PV”, se pulsa “leer” y el resultado de fosfatos arrojado por el equipo se procede a convertir a fósforo total mediante la siguiente fórmula:

La concentración de Fósforo Total (P Total) se calcula a partir de la concentración de fosfatos (PO_4^{3-}), mediante la siguiente fórmula:

$$“X”\text{mg/L de } PO_4^{3-} * 10 * 35/91 = “Y”\text{mg/L de P} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Este último procedimiento para la **obtención de Fósforo Total** solo se pudo realizar en el **TM3** ubicado a la salida de PTAR para conocer el estado real del efluente sin tratamiento de coagulación y floculación, más no pudo ser posible muestrear en el TM1 puesto que no hubo ingreso de efluente. Sin embargo, la empresa CWT, para el diseño y construcción de la PTAR, solicitó a la Empresa de la Industria Láctea la caracterización del efluente a tratar, producto de su proceso productivo, por lo que se tomó el dato de Fósforo Total a modo de referencia para TM1, y así conocer el porcentaje de remoción sin tratamiento de coagulación/floculación. A continuación, se presenta la tabla de caracterización del efluente, que fue proporcionada por la EIL a la empresa CWT para la construcción de la PTAR.

Tabla 2. *Caracterización del efluente de la EIL.*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Flujo de diseño	1192	m ³ /d
DQO	438.06	mg/L
DBO	279.21	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	177.13	mg/L
Aceites y Grasas	45.33	mg/L
Nitrógeno Total	53.39	mg/L
Fósforo Total	7.45	mg/L

Una vez conocido el estado real del efluente, se procede a la **segunda fase** del trabajo aplicativo, en donde se realizará **la prueba de jarras** del efluente de la toma de muestras que se encuentra en las líneas de las bombas de recirculación del **tanque aerobio**, punto que llamaremos

Toma de Muestras 2 (TM2). Para esto, se han utilizado 3 jarras de 1L, cada una llenada con los lodos del tanque aerobio para la posterior prueba de jarras y dosificación de químicos. Para el análisis de las muestras de la prueba de jarras del TM2, se procede a trabajar con 3 dosis distintas para polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40%, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. *Tabla de denominación de dosificaciones según el volumen aplicado por tratamiento.*

Codificación de dosis	Volumen de floculante (polímero catiónico al 1%)	Volumen del coagulante (cloruro férrico al 40%)	Volumen total de dosis
D1	0.91mL	0.07mL	0.98mL
D2	1.12mL	0.1mL	1.22mL
D3	1.42mL	0.12mL	1.54mL

En esta **tercera fase**, se procede a **aplicar cada dosis**, una por jarra, con jeringas para mayor precisión y mezclando, durante 30 segundos, lo añadido a los lodos. Se espera 5 minutos a que el lodo se sedimente y se separe del agua clarificada para poder retirar esta última con mucho cuidado con una jeringa y separarla en un vaso de precipitación.

Denominaremos como **cuarta fase** del trabajo aplicativo, al **análisis del agua clarificada** de la prueba de jarras, producto de la aplicación de las dosis. Se procede a llenar un tubo de ensayo con el agua clarificada de cada dosis para proceder con la medición de SST y Fósforo Total, siguiendo el procedimiento ya antes detallado en el equipo DR900. Se toma registro de todos los resultados obtenidos para cada dosis, determinando así la dosis óptima para su posterior **puesta en marcha** directamente en la PTAR, siendo esta la **quinta fase**.

Una vez llevada a cabo la puesta en marcha de la dosificación óptima de coagulante y

floculante en la PTAR, la empresa Clean Water Technology contrató al laboratorio SGS para el **análisis certificado de Fósforo Total (P total)**, así como de Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico y Aniones (Nitritos y Nitratos), teniendo así la **sexta fase** del trabajo aplicativo. Para realizarse dicho análisis, se procedió a tomar las muestras y rotularlas en los frascos destinados por SGS durante 6 días con agua del efluente en los siguientes puntos en la PTAR, denominados como:

- TG (TM1): Entrada de trampa de grasas.
- EC: Tanque equalizador.
- AN: Tanque anaerobio.
- AE (TM2): Tanque aerobio.
- DAF (TM3): Salida de la PTAR.

Nota: Se dosifica ácido sulfúrico como preservante para las muestras tomadas para el análisis de fósforo, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico.

Es importante resaltar que, para el **análisis de los Sólidos Suspendidos Totales**, se realizó la medición de estos en el mismo laboratorio de la PTAR siguiendo el procedimiento detallado previamente, lo cual se llevó a cabo para cada una de las muestras antes de enviarlas a analizar al laboratorio SGS. Los puntos de los que se tomarán los datos para el presente trabajo, serán los puntos TG y EC, como puntos iniciales del efluente entrante a la PTAR, y los puntos de DAF, lo que contendrán al efluente ya tratado por el coagulante y floculante dosificados.

El laboratorio acreditado SGS se encuentra bajo evaluación constante por organizaciones nacionales internacionales, obteniendo diversas certificaciones como: ISO 14001, ISO 45001, ISO 9001, NTP-ISO/IEC 17020, NTP-ISO/IEC 17025, NTP-ISO/IEC 17065. Además, los métodos

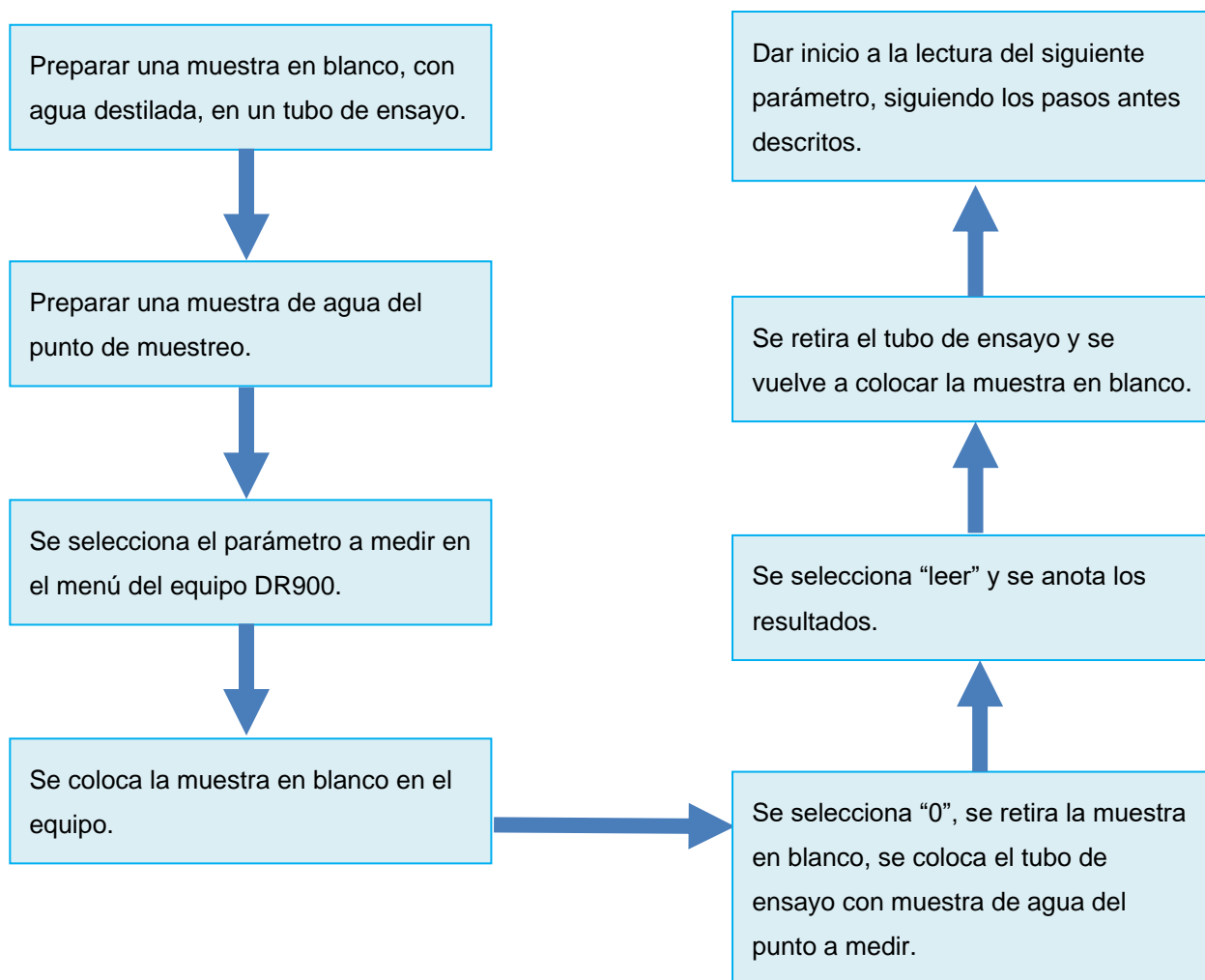
empleados por el laboratorio se rigen bajo normativas tanto globales como locales, teniendo la capacidad de poder adaptarse la especificidad de los requerimientos de cada cliente en particular. Todo lo antes mencionado acredita la calidad, confiabilidad y validez de los análisis de laboratorio y otros servicios que realiza SGS.

Una vez realizada la toma de muestras y los análisis respectivos, se procedió a **organizar los resultados obtenidos** en cada parte de procedimiento en hojas de Microsoft Excel 2019 MSO (versión 2201 compilación 16.0.14827.20186), lo cual permitió aplicar la siguiente fórmula para encontrar el porcentaje de remoción por parámetro:

$$\% \text{ de remoción} = (R1-R2) / R1 \times 100 \quad \dots\dots \quad (2)$$

En donde R1 es el resultado de la concentración del parámetro medido en el TM1 o TG (trampa de grasas), y R2 es el resultado de la concentración del parámetro obtenido tras el análisis del agua clarificada después de aplicar las distintas dosificaciones de cloruro férrico y polímero catiónico.

Figura 3. Diagrama de flujo del procedimiento de medición de parámetros.



Aspectos éticos

Toda la información recogida de las diferentes bases de datos ha sido utilizada respetando la originalidad del artículo o tesis, citados debidamente según lo especifican sus diferentes autores. Así también, la utilización de las fotografías de la PTAR, la instalación del sistema de coagulación y floculación y los resultados de los análisis de laboratorio certificado, han sido solicitados previamente a la empresa privada portadora del servicio de tratamiento de aguas residuales, para usar los datos del agua tratada de la PTAR con fines netamente académicos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Para determinar la influencia del uso de un sistema de coagulación y floculación en la concentración de los parámetros Sólidos Suspendidos Totales (SST), y Fósforo Total (P total), a través de Fosfatos (PO_4^{3-}) del efluente de la Empresa de la Industria Láctea (EIL), se consideró necesario obtener los resultados tras la evaluación de dicho efluente sin el tratamiento de coagulación / floculación, tanto a la entrada como a la salida de la PTAR. Para esto, se analizó la salida de las siguientes tomas de muestras.: TM1 hace referencia a la toma de muestras 1, ubicado a la entrada de la PTAR, por donde pasa el efluente crudo. TM3 hace referencia a la toma de muestras 3, ubicado a la salida de la PTAR, es decir, el agua tratada.

Así también, realizó el análisis de prueba de jarras con 3 diferentes dosificaciones, para polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40%, sobre 3 muestras de 1 L para determinar cuál sería la influencia de este sistema sobre los parámetros ya antes especificados. Dicho análisis se realizó con el efluente de la toma de muestras 2 (TM2), ubicado a la salida del tanque de lodos aerobios, de donde se sacaron las muestras de 1L para la prueba de jarras con las siguientes dosificaciones: D1 hace referencia a la primera dosificación de químicos: 0.91mL de floculante y 0.07mL de coagulante, D2 hace referencia a la segunda: 1.12mL de floculante y 0.1mL de coagulante y D3 a la última dosis realizada: 1.42mL de floculante y 0.12mL de coagulante.

Tabla 4. Resultados de SST, PO_4^{3-} y P para toma de muestras 1 (TM1) y toma de muestras 3 (TM3) sin el tratamiento de coagulación y floculación.

PARÁMETROS	SST (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	P total (mg/L)
TOMAMUESTRAS			
TM1	226	-	7.5
TM3	65	1.43	5.5
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	71.24%	-	26.67%

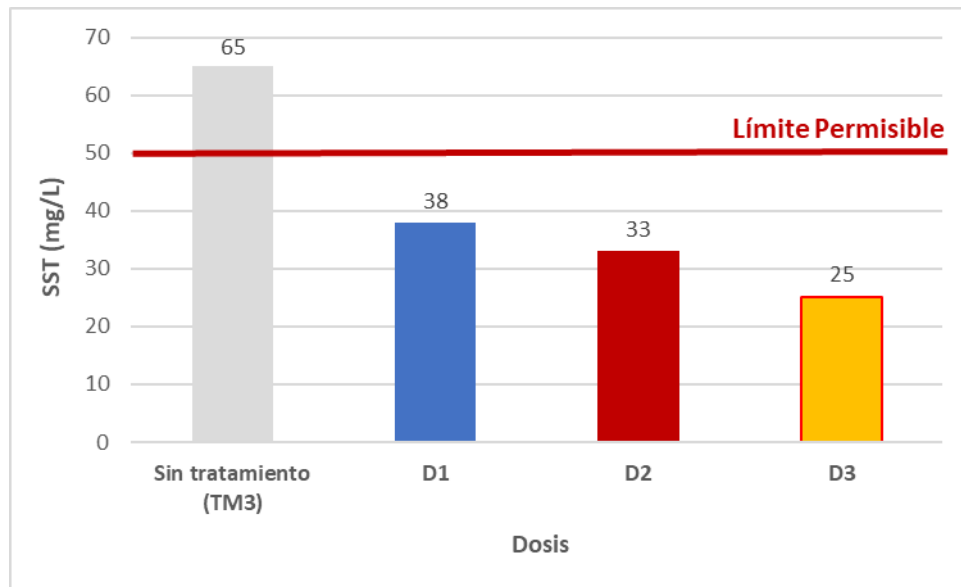
Tabla 5. Resultados del análisis de jarras para TM2 con D1, D2 y D3.

PARÁMETROS	SST (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	P total (mg/L)
DOSIFICACIONES			
D1	38	0.64	2.46
D2	33	0.59	2.26
D3	25	0.23	0.88

Así también, para la determinación de la dosis óptima de polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40%, se representó gráficamente los resultados obtenidos tras la prueba de jarras, haciendo la comparación con la concentración de los dos parámetros sin aplicar un tratamiento de coagulación y floculación, y, posteriormente, verificar el cumplimiento con los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines, normativa con la que opera la PTAR. A continuación, se puede observar cómo para los resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST), todas las dosis permiten cumplir con la normativa, sin embargo, para el parámetro de Fósforo

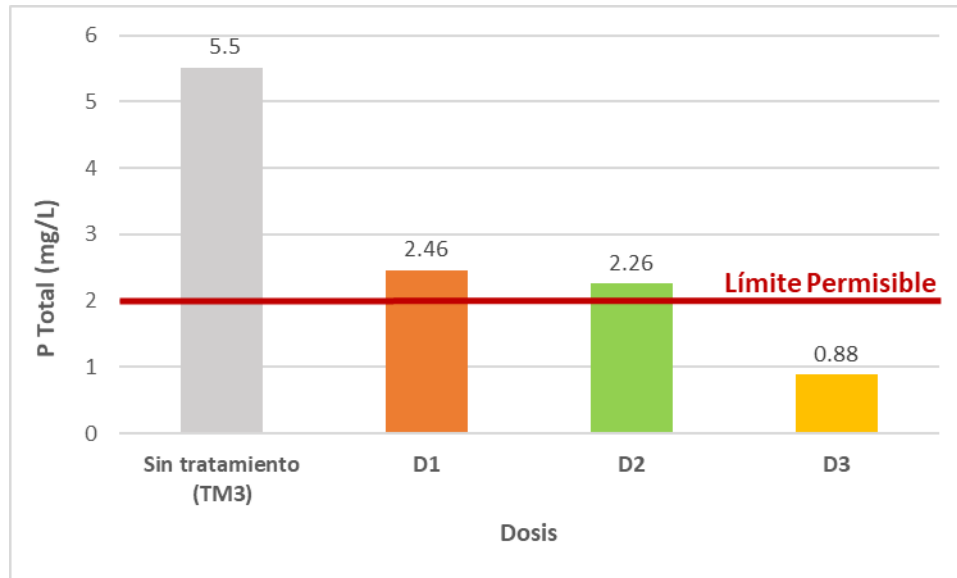
Total, solo con la tercera dosis (D3) se puede cumplir con el Límite Permisible, siendo esta última la dosis óptima que se convertirá a escala PTAR para la dosificación real en el efluente a tratar.

Figura 4. Análisis de jarras respecto a Sólidos Suspendidos Totales (SST) en comparación a los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines y el efluente sin tratamiento.



Nota. D1 hace referencia a la primera dosificación de reactivos: 0.91mL de floculante y 0.07mL de coagulante, D2 hace referencia a la segunda: 1.12mL de floculante y 0.1mL de coagulante y D3 a la última dosis realizada: 1.42mL de floculante y 0.12mL de coagulante.

Figura 5. Análisis de jarras respecto a Fósforo Total (*P* total) en comparación a los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines y el efluente sin tratamiento.



Nota. D1 hace referencia a la primera dosificación de reactivos: 0.91mL de floculante y 0.07mL de coagulante, D2 hace referencia a la segunda: 1.12mL de floculante y 0.1mL de coagulante y D3 a la última dosis realizada: 1.42mL de floculante y 0.12mL de coagulante.

Tabla 6. *Dosificación real del sistema de coagulación / floculación a escala PTAR para tratamiento del efluente lácteo.*

DOSIFICACIÓN EN PTAR SEGÚN CAUDAL				
CAUDAL	SISTEMA CHEM DE DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS - POLÍMERO CATIONICO AL 1%	BOMBA DOSIFICADORA DE COAGULANTE – CLORURO FÉRRICO AL 40%		
m³/h	Unidades de Pantalla	Dosificación ml/min	Unidades de Bomba	Dosificación l/h
			SPEED	STROKE
45	950	950	28	
40	900	900	25	95
35	850	850	23	
30	800	800	20	

Una vez que se comenzó a dosificar los químicos de manera permanente como parte del proceso de la PTAR, la empresa CWT requirió de los servicios del laboratorio certificado SGS a modo de corroboración de la eficacia de la dosis aplicada en el tratamiento de la PTAR, lo que nos ha permitido determinar el porcentaje máximo de remoción de polímero catiónico, al 1%, y cloruro férrico, al 40%, en la concentración de los parámetros físico químicos Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Fósforo Total (P Total) del efluente lácteo. Es así que se obtuvo como porcentajes máximos de remoción el 100% para SST y el 96.26% para P total en el cuarto día de monitoreo.

Se hizo el seguimiento durante 6 días de los parámetros: Fósforo Total (P total), Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico y Aniones (Nitritos y Nitratos). Cabe resaltar que, para el

desarrollo del presente trabajo de investigación, se mostrarán en las tablas siguientes los resultados solo de **los parámetros de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Fósforo Total (P Total)**.

Los puntos muestreados fueron los siguientes, denominados como:

- TG (TM1): Entrada de trampa de grasas.
- EC: Tanque ecualizador.
- AN: Tanque anaerobio.
- AE (TM2): Tanque aerobio.
- DAF (TM3): Salida de la PTAR.

Nota: Se considerarán los resultados desde el segundo día de muestreo, ya que en el día 1 no se pudieron muestrear los puntos necesarios para la determinación del porcentaje de remoción de los químicos.

Tabla 7. Resultados del análisis del laboratorio SGS del segundo al quinto día de monitoreo.

DÍAS DE MUESTREO	TOMA DE MUESTRA TRAMPA DE GRASAS	PARÁMETROS	RESULTADOS	TOMA DE MUESTRA TANQUE DAF	PARÁMETROS	RESULTADOS	PORCENTAJE DE REMOCIÓN
DÍA 2	TG 2	SST (mg/L)	103	DAF 2	SST (mg/L)	30	70.87%
		P total (mg/L)	4.73		P total (mg/L)	0.88	81.40%
DÍA 3	TG 3	SST (mg/L)	152	DAF 3	SST (mg/L)	24	84.21%
		P total (mg/L)	1.06		P total (mg/L)	0.62	41.96%
DÍA 4	TG 4	SST (mg/L)	167	DAF 4	SST (mg/L)	0	100%
		P total (mg/L)	14.19		P total (mg/L)	0.53	96.26%
DÍA 5	TG 5	SST (mg/L)	341	DAF 5	SST (mg/L)	12	96%
		P total (mg/L)	7.44		P total (mg/L)	0.62	9.63%

Nota. El rotulados para los resultados de los parámetros fueron clasificados según el día de análisis. TG2 es la concentración inicial de los parámetros para el día 2, y DAF2, la concentración final. TG3 es la concentración inicial de los parámetros para el día 3, y DAF3, la concentración final. TG4 es la concentración inicial de los parámetros para el día 4, y DAF4, la concentración final. TG5 es la concentración inicial de los parámetros para el día 5, y DAF5, la concentración fina

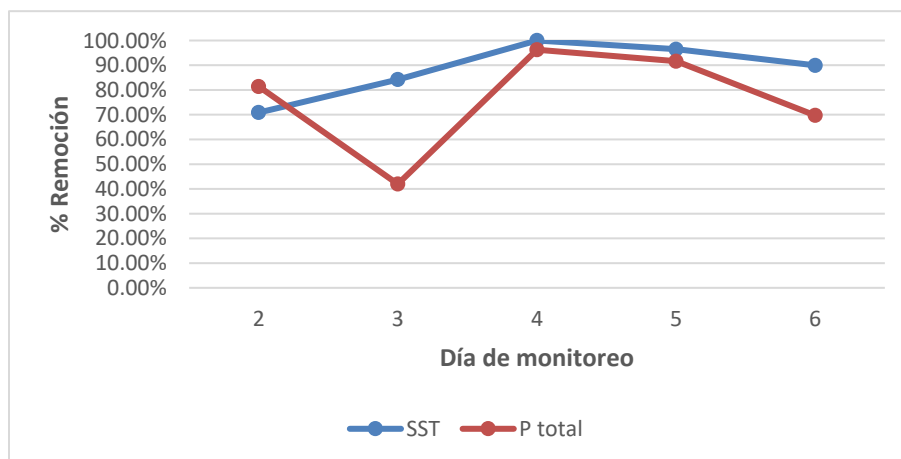
Tabla 8. Resultados del análisis del laboratorio SGS en el sexto día de monitoreo.

TOMAMUESTRAS	PARÁMETROS	
	SST (mg/L)	P total (mg/L)
EC6	209	5.29
DAF6	21	1.60
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	90%	69.74%

Nota. EC6, toma de muestras del equalizador, vendría a ser la concentración inicial de los parámetros para el día 6, y DAF6, la concentración final. No se pudo tomar del tanque de grasas (punto TG) ya que ese día no hubo entrada de efluente.

La Figura 6 muestra el comportamiento de la eficiencia de remoción de SST y P total a lo largo de los seis días de monitoreo del laboratorio SGS. Se puede observar una estabilización en la remoción de SST durante el tiempo analizado, en contraste con la fluctuante eficiencia de remoción de P total, siendo este parámetro en específico mucho más complicado de tratar que el de SST.

Figura 6. Evolución del porcentaje de reducción de SST y P total a lo largo de los días de monitoreo.



A continuación, se presentarán los resultados de los análisis de varianza (ANOVA), análisis de medias y análisis de normalidad para los parámetros de SST y P Total en el efluente de la PTAR, respectivamente. Se utilizó el software de Microsoft Excel 2019 MSO (versión 2201 compilación 16.0.14827.20186) para analizar los datos obtenidos de los parámetros mencionados a lo largo de 5 días. El análisis de varianza (ANOVA) se obtuvo seleccionando la función de “Análisis de varianza de un factor”, de la opción “Análisis de datos” de la pestaña de “Datos”. Asimismo, para el análisis de medias se utilizó la misma opción de la pestaña de “Datos”, pero la función seleccionada fue “Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales”. Finalmente se utilizaron las funciones de “Histograma” y “Estadística descriptiva” para obtener el análisis de normalidad.

En la Tabla 8 se muestran las concentraciones finales de los parámetros analizados por el laboratorio SGS a lo largo de 5 días. Se observa que todos los parámetros medidos durante este periodo de tiempo, se encuentran por debajo de los Límites Permisibles de la normativa de referencia, verificando su cumplimiento.

Tabla 9. *Comparativa de parámetros medidos por el laboratorio SGS con los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines*

DÍA	SST (mg/L)	P total (mg/L)	Límite Permisible	
			SST	P total
DAF 2	30	0.88		
DAF 3	24	0.62		
DAF 4	0	0.53	50	2
DAF 5	12	0.62		
DAF 6	21	1.6		

En la Tabla 8, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) de los resultados del análisis de SST en el efluente de la PTAR, frente al tratamiento con coagulación y floculación y el tratamiento sin coagulación y floculación, a lo largo de 5 días. Ya que el valor calculado de F es mayor que el valor crítico para F, la hipótesis H0 se rechaza.

Tabla 10. *Análisis de varianza del análisis del parámetro Sólidos Suspendidos Totales (SST).*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	89676.125	1	89676.125	1542.8151	1.81944E-08	5.9874
Dentro de los grupos	348.75	6	58.125			
Total	90024.875	7				

Del mismo modo, en la Tabla 9, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) de los resultados del análisis de Fósforo Total (P) en el efluente de la PTAR, frente al tratamiento con coagulación y floculación y el tratamiento sin coagulación y floculación, a lo largo de 5 días. Ya que el valor calculado de F es mayor que el valor crítico para F, la hipótesis H₀ se rechaza.

Tabla 11. *Análisis de varianza del análisis del parámetro Fósforo Total (P total).*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	88.6446	1	88.6446	690.3113	2.00586E-07	5.9874
Dentro de los grupos	0.7705	6	0.1284			
Total	89.4151	7				

Por otro lado, en la Tabla 10, se muestra el análisis de medias de los resultados del análisis de Fósforo Total (P) en el efluente de la PTAR, frente al tratamiento con coagulación y floculación y el tratamiento sin coagulación y floculación, a lo largo de 5 días. Al ser el $p < 0.05$, se acepta la hipótesis 1 (H1), es decir, dicho tratamiento sí influye en la concentración del parámetro P total.

Tabla 12. Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas iguales para Fósforo Total (P total).

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
<i>Media</i>	7.5	0.85
<i>Varianza</i>	0	0.1929
<i>Observaciones</i>	5	5
<i>Varianza agrupada</i>	0.09645	
<i>Diferencia hipotética de las medias</i>	0	
<i>Grados de libertad</i>	8	
<i>Estadístico t</i>	33.85638102	
<i>P(T<=t) una cola</i>	3.16366E-10	
<i>Valor crítico de t (una cola)</i>	1.859548038	
<i>P(T<=t) dos colas</i>	6.32731E-10	

En la Tabla 11, se muestra el análisis de medias de los resultados del análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el efluente de la PTAR, frente al tratamiento con coagulación y floculación y el tratamiento sin coagulación y floculación, a lo largo de 5 días. Al ser el $p < 0.05$, se acepta la hipótesis 1 (H1): dicho tratamiento sí influye en la concentración del parámetro SST.

Tabla 13. Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas iguales para Sólidos Suspendidos Totales (SST).

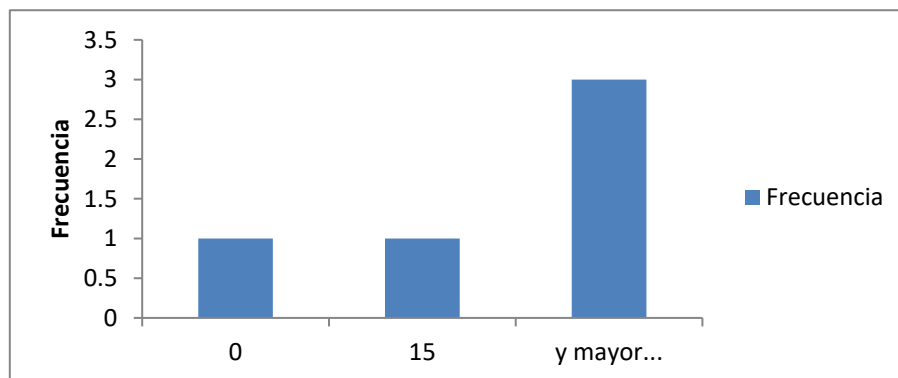
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	226	17.4
Varianza	0	136.8
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	68.4	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	39.88010174	
P(T<=t) una cola	8.59593E-11	
Valor crítico de t (una cola)	1.859548038	
P(T<=t) dos colas	1.71919E-10	
Valor crítico de t (dos colas)	2.306004135	

La Tabla 12 y la figura 7, nos muestran el análisis de la normalidad para los resultados del laboratorio SGS tras 5 días de monitoreo para el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales (SST), en donde no se presenta moda, puesto que ningún valor se repite, y cuya normalidad es asimétrica de acuerdo a la distribución del gráfico.

Tabla 14. *Análisis de normalidad para Sólidos Suspendidos Totales (SST).*

<i>Columna 1</i>	
Media	17.4
Error típico	5.230678732
Mediana	21
Moda	#N/D
Desviación estándar	11.69615321
Varianza de la muestra	136.8
Curtosis	0.000865651
Coefficiente de asimetría	-0.804920516
Rango	30
Mínimo	0
Máximo	30
Suma	87
Cuenta	5
	0

Figura 7. *Análisis de normalidad para Sólidos Suspendidos Totales (SST).*

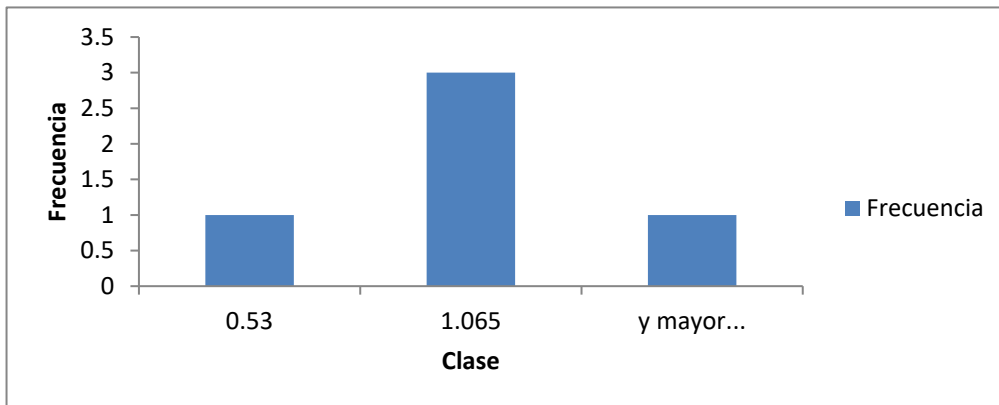


Finalmente, en la Tabla 13 y la figura 8, nos muestran el análisis de la normalidad para los resultados del laboratorio SGS tras 5 días de monitoreo para el parámetro de Fósforo Total (P total), mostrando una normalidad asimétrica de acuerdo a la distribución del gráfico.

Tabla 15. *Análisis de normalidad para Fósforo Total (P total).*

<i>Columna 1</i>	
Media	0.85
Error típico	0.19641792
Mediana	0.62
Moda	0.62
Desviación estándar	0.43920383
Varianza de la muestra	0.1929
Curtosis	3.16924135
Coefficiente de asimetría	1.79409422
Rango	1.07
Mínimo	0.53
Máximo	1.6
Suma	4.25
Cuenta	5
	0

Figura 8. *Análisis de normalidad para Fósforo Total (P Total).*



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. DISCUSIÓN

Según la OMS (2017), el agua no es adecuada para su consumo o realizar sus funciones cuando está contaminada, considerándose contaminada cuando presenta sustancias extrañas que alteran sus características físicas, químicas o biológicas. Es por ello que, como objetivo general del presente estudio, se planteó determinar la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la concentración de parámetros físico - químicos de efluentes lácteos en el distrito de Moche, La Libertad, 2022. Obteniendo datos a partir de los resultados de la prueba de jarras en el laboratorio de la EIL (Empresa de la Industria Láctea), se determinó como dosis óptima la denominada D3, con 1.42mL de polímero catiónico y 0.12 de cloruro férrico, con porcentajes máximos de remoción, a escala PTAR, de 100% para SST y 96.26% para Fósforo Total.

Como objetivo general de nuestra investigación, se planteó determinar la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos en el distrito de Moche, La Libertad, 2022. Así también, en el estudio realizado por Molina (2015), se desarrolló un tratamiento de coagulación y floculación, repotenciado con mezcla de enzimas bacterianas y previa eliminación de suero, usando como coagulante al policloruro de aluminio, logrando una reducción del 98% para Sólidos Suspendidos Totales (SST). Por el contrario, en nuestra investigación empleamos como coagulante al cloruro férrico al 40%, permitiendo que el porcentaje de remoción máximo para los SST sea del 100%. Los resultados óptimos en ambos casos de estudio se debieron a que los sistemas de coagulación y floculación son de las técnicas químicas más eficientes para el tratamiento de aguas residuales. La coagulación, por un lado, consta en neutralizar o eliminar las cargas eléctricas negativas de las partículas más pequeñas del efluente, llamadas partículas coloidales, al aplicar un factor cuya carga eléctrica sea contraria, es decir, un coagulante, para lograr que estas partículas aumenten su diámetro. Seguidamente, está la floculación, que se logra agregando cierto dinamismo al fluido, para que los

coloides choquen entre sí y se vayan formando grupos más grandes formando una masa gelatinosa, gracias floculante aplicado, para que así sea más eficiente el filtrado y el análisis del agua clarificada.

Ahora bien, como primer objetivo específico hemos considerado determinar la dosis óptima de polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40% floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022, que, después del análisis de jarras, pudo resultar la dosis 3 (D3), la que mayores resultados logró con 1.42mL de polímero catiónico al 1% y 0.12mL de cloruro férrico al 40%, por cada 1L de efluente lácteo. La turbidez está muy relacionada a la cantidad de SST en el agua, ya que mientras más Sólidos Suspendidos Totales haya en el agua, más turbia resultará esta; es así como, Carillo y Ramírez (2020), usaron como coagulante el Policloruro de Aluminio PAC al 0.5%, y como floculante el Floculante Catiónico al 0.1%. Ellos determinaron que su dosificación óptima fue de 200mL/1 L Agua Residual de coagulante y 12mL/1L Agua Residual de floculante, logrando como porcentaje de reducción para turbidez, un 46.66%. Por el contrario, nosotros tuvimos la remoción del 100% para SST y 96.26% para Fósforo Total empleando mínimas cantidades de insumos químicos, a diferencia del citado antecedente, y no se experimentó con dosis más altas de estos compuestos, debido a que, en concentraciones más elevadas, al momento de recircular hacia los tanques donde se realiza el tratamiento biológico de los efluentes, acabarían inhibiendo la actividad microbiana al remover de más los elementos necesarios para la reproducción de los microorganismos por sobredosis de insumos químicos, afectando así un componente esencial de la ingeniería de la PTAR.

Como segundo objetivo específico, se planteó determinar el porcentaje máximo de remoción del polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40% sobre la concentración de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022. El laboratorio certificado SGS prestó servicios a la empresa CWT para corroborar la eficacia de la dosificación seleccionada de coagulante y floculante sobre los parámetros físico – químicos, como parte de los procesos de la PTAR. El seguimiento realizado durante 6 días, mostró elevados porcentajes de remoción de los

parámetros, llegando a obtenerse un máximo del 100% de remoción de SST y 96.26% de remoción de Fósforo Total. En cambio, Oñate y Chinchilla (2021), usando polielectrolito catiónico como coagulante, hallaron un máximo porcentaje del 89% de SST, posiblemente se debió a que en la etapa de coagulación se realizó un mezclado rápido, y posteriormente un mezclado lento en la etapa de floculación, lo cual pudo haber afectado la formación de flóculos al no crear una reacción completa y pareja entre ellos, antes de pasar a la etapa de filtrado, según se evidenció en los resultados obtenidos por Carrillo y Ramírez (2020), obteniendo un 46.66% de remoción para turbidez.

Por otro lado, en la investigación de Rondón et al. (2017) alcanzaron un 75% como máximo porcentaje de remoción de SST, a causa de que emplearon un coagulante orgánico a partir de semillas de *Moringa oleifera*, en contraste con el coagulante inorgánico empleado en la presente investigación y las investigaciones de Oñate y Chinchilla (2021) y Carrillo y Ramírez (2020). Asimismo, Rondón et al. (2017), empleando la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante, pudo también reducir la concentración de Fósforo Total en su investigación, logrando así pasar de 0.2745 mg/L, a 0.1675 mg/L, con un porcentaje de 38.98% de remoción. La reducción o eliminación de este parámetro es esencial, ya que una concentración muy elevada puede provocar la eutrofización en las aguas de los cuerpos receptores. Nosotros optamos por utilizar el cloruro férrico al 40% como coagulante ya que, al poseer sales metálicas, precipita de manera más eficiente los fosfatos (y, por ende, el fósforo) de las aguas residuales, es por eso que pudimos lograr un porcentaje máximo de reducción del 96.26%.

Por último, se planteó como tercer objetivo específico, verificar el cumplimiento de los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines (ver Tabla 1) en las concentraciones de sólidos suspendidos totales y fósforo total, una vez aplicado el sistema de coagulación y floculación en la PTAR, Moche, La Libertad 2022. Las directrices generales sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad (EHS, por sus siglas en inglés), son documentos de referencia técnica acerca de Buenas Prácticas Internacionales de la Industria (GIIP, por sus siglas en inglés),

los cuales contienen niveles de rendimiento y medidas aceptables de manera general por el Banco Mundial, así como ser alcanzables por nuevas instalaciones con la tecnología existente y a precios razonables (International Finance Corporation, 2007). Por otro lado, al comparar las exigencias del Banco Mundial y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), DS N°003-2010-MINAM, se puede evidenciar que la normativa peruana es mucho más flexible en cuando a los valores del Banco Mundial, pero no contiene un valor especificado para el parámetro de fósforo total. Sin embargo, nuestros resultados para Sólidos Suspendidos Totales, cumplen tanto con la normativa nacional, como la internacional.

4.2. IMPLICANCIAS

El presente trabajo de investigación posee implicancias prácticas, ya que presenta una alternativa altamente eficaz para el tratamiento de los parámetros de SST y P Total en efluentes lácteos, siendo compatible especialmente con sistemas que consideren un proceso biológico. De lo anteriormente mencionado, permite también la toma de decisiones de representantes de las empresas pertenecientes a la industria láctea y los encargados de las PTARs que tratan sus efluentes, pudiendo conseguir así el cumplimiento de las responsabilidades ambientales y legales de dichas organizaciones.

4.3. LIMITACIONES

Se determinaron limitaciones de datos y estadísticas, ya que no realizaron repeticiones para cada dosificación usada en la prueba de jarras, lo que nos llevó a tomar los datos del efluente crudo como primera repetición y así generar el ANOVA.

Así también, hubo limitaciones con respecto a los materiales utilizados en la prueba de jarras en el laboratorio de la PTAR, ya que se realizaron con jarras plásticas, jeringas y agitación manual en vez de haber podido utilizar vasos de precipitación y agitadores magnéticos.

4.4. CONCLUSIONES

- Al cumplirse todos los objetivos específicos, se determinó que el uso de un sistema de coagulación y floculación influye en la concentración de parámetros físico-químicos de los efluentes lácteos, logrando alcanzar una remoción notable para cumplir con las normativas.
- Se determinó como dosis óptima, la dosis D3, la cual fue de 1.42mL de polímero catiónico al 1% y 0.12mL de cloruro férrico al 40%, aplicada en un litro de efluente producido por la Empresa de la Industria Láctea.
- El porcentaje máximo de remoción obtenido, aplicando la dosis óptima de los reactivos sobre los efluentes lácteos, fue del 100% para el parámetro de SST y 96.26% para el parámetro de Fósforo Total.
- Los resultados de los parámetros de SST y P Total se mantuvieron por debajo de los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines: 50 mg/L y 2 mg/L respectivamente, verificándose así su cumplimiento.

4.4. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo estudios acerca de la influencia del caudal en la remoción de contaminantes de los efluentes. Así como también realizar una prueba de jarras de manera frecuente, debido a la variabilidad de los componentes de los efluentes.

Tener consideración en particular con el parámetro de P total, debido a que es un elemento que puede tornarse complicado de remover.

Tener precaución con la dosis de cloruro férrico adicionada a los efluentes, debido a que en concentraciones elevadas puede inhibir la actividad microbiológica.

Utilizar otros coagulantes diferentes, que sean eficientes como el cloruro férrico, pero que no dejen residuos o afecten el proceso biológico en el tratamiento de los efluentes.

REFERENCIAS

- Bjarne, P., Bjørn, R. & Bjørn, A. (2014). Increasing the sludge energy potential of wastewater treatment plants by introducing fine mesh sieves for primary treatment. *Water Science and Technology*, 69 (3). 560 – 565. Recuperado de https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84896768257&origin=reflist&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
- Buitrón, G.; Cervantes, F.; García, H.; López, C., (Eds.) (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño, 2008. IWA Publishing. Recuperado de: <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>
- Carrillo Dávila, V. V.; Ramírez Reina, R. R. (2020). Método coagulación y floculación con la construcción de un clarificador para tratamiento de efluentes de la industria láctea. [Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Químico. Carrera de Ingeniería Química]. UCE
- Centeno Calderón, Luis Gabriel; Quintana Díaz, Aníbal; López Fuentes, Fiorella Lisset (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa* vol.26 no.1 Trujillo. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>
- Comunidad Andina (2008). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. Recuperado de: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual_estadisticas_ambientales.pdf
- Cruz Huaracha, Cinthia Laleska; Rivero Callohuanca, Andrea Gabriela (2020). Disminución de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un

Prototipo de Lombrifiltro. [Trabajo para optar al grado académico de bachiller en Ingeniería Industrial]. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3297>

Gonzales Cáceres. Marcelino de Jesús (2012). ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA. Sitio Argentino de producción animal, Mundo Pecuario, VIII, N.º 1, 16-32.

Grupo del Banco Mundial (2007). *Guías generales: Medio ambiente, aguas residuales y calidad del agua*. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-general-ehs-guidelines-es.pdf>

GUADARRAMA-TEJAS, Rosendo, KIDO-MIRANDA, Juan, ROLDAN-ANTUNEZ, Gustavo y SALAS SALGADO, Marco. Contaminación del agua. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales 2016, 2-5: 1-10

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines General Ehs Guidelines: Environmental Wastewater and Ambient Water Quality*. World Bank Group, <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/3d9a54ae-c44c-488d-9851-afeb368cb9f9/1-3%2BWastewater%2Band%2BAmbient%2BWater%2BQuality.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nPtvO>.

Iza Santo, Alex Adrián. Toapanta Moposita, Alex Darío. (2019); Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria láctea Pastolac. UTC. Latacunga. 112 p.

Jaureguiberry, M. (2003). Efluentes Industriales [Archivo PDF]. <https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13->

3/material/Efluentes_higiene.pdf

Lazo Pinto, A., Vilca Gutiérrez, Y. (2020). Tratamiento de Aguas Residuales Procedentes de la Industria Láctea mediante el proceso de electrocoagulación. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Facultad de Ingeniería de Procesos, escuela profesional de Ingeniería Química. Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11304/IQviguye%26lapiaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luis Gabriel Centeno Calderón, Aníbal Quintana Díaz, Fiorella Lisset López Fuentes (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa* vol.26 no.1 Trujillo ene./abr. 2019, versión impresa ISSN 1815-8242 versión On-line ISSN 2413-3299.

Lorenzo-Acosta, Yaniris (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XL (2),10-17[fecha de Consulta 13 de junio de 2022]. ISSN: 0138-6204. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>

Llaro, A. Y., & Mendoza, C. D. (2022). Tratamiento de las aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo, 2020 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/31072>

Molina Andrade, Michelle A. (2015). Propuesta de tratamiento de aguas residuales para la industria láctea. Tesis (Ingeniería en Alimentos), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería; Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4871>

Navalón Oltra, S. (2010). Parámetros de calidad del agua relacionados con la presencia de materia orgánica y microorganismos [Tesis doctoral no publicada]. Universitat

- Politécnica de València. Recuperado de <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/841>
- Oñate Barraza, H. C., & Chinchilla Calderón, M. A. (2021). Polielectrolito catiónico como coagulante empleado para remover aceites y grasas de aguas residuales de una industria láctea. *Tecnura*, 25(69), 120–130. Recuperado de <https://doi.org/10.14483/22487638.15767>
- Organización Mundial de la Salud (2017). Las consecuencias de la contaminación ambiental. Sitio Web Mundial, recuperado de: <https://www.who.int/es/news/item/06-03-2017-the-cost-of-a-polluted-environment-1-7-million-child-deaths-a-year-says-who>
- Pérez, F. y Urrea, M. (2011). Coagulación y floculación. Recuperación https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf
- Pérez, Mariana. (Última edición:19 de mayo del 2021). Definición de Observación. Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/observacion/>. Consultado el 1 de julio del 2022
- P., Víctor, Muñoz, K., Asesor, S., Cisneros, C., y Octavio, E. (2021). *Universidad Nacional José. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PARÁMETROS DE ACEITE Y GRASAS DE LA BAHÍA DE VEGUETA Y HUACHO*. Recuperado de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/5051/V%c3%adctor%20Kevin%20Mu%c3%b1oz%20Sota.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, Manuel. (2009). La hidrosfera. El ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración. El problema de la escasez del agua. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Rodriguez-80/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_d_el_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/La-hidrosfera-El-ciclo-del-agua-La-

contaminacion-del-agua-Metodos-de-analisis-y-depuracion-El-problema-de-la-escasez-del-agua.pdf

Rondón Macías, Maylín, Díaz Domínguez, Yosvany, Rodríguez Muñoz, Susana, Guerra Álvarez, Beatriz, Fernández Santana, Elina, & Tabio García, Danger. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de residuales líquidos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 87-101.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200007&lng=es&tlng=es.

Samboni, N., Carvajal, Y., y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019&lng=en&tlng=es.

Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. DOI: <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>

Serrano, A., García, L., León, I., García, E., Gil, B. y Ríos, B. (2018). Métodos de investigación de enfoque experimental. Recuperado de <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>

SGS (s.f.). SGS en Perú, acreditaciones y certificaciones. Recuperado el 2 de octubre del 2022 de: <https://www.sgs.pe/es-es/our-company/about-sgs/sgs-in-brief/sgs-in-peru>

Suárez, A.; Fidalgo T. y Riera, F. A. (2014). Recuperación de aguas residuales de la industria láctea por ósmosis inversa. Producción de agua de caldera. *Tecnología de separación y purificación*, 133, 204211.

Tamayo, C. y Silva, I. (2018). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Recuperado de <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/22.pdf>

Toledo, N. (s.f.). Población y Muestra. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf>

UNESCO, ONU-Agua, 2020: *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*, París, UNESC

Zerbatto, M., Carrera, E., Eliggi, M., Modini, L., Vaira, S., Nosedá, J., Abramovich, B. (2009). Cloruro Férrico para la coagulación optimizada y remoción de entero parásitos en agua. *AUGM_DOMUS*, 1 :18-26. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15890/Documento_completo.pdf?sequence

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

INFLUENCIA DE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y FÓSFORO TOTAL DE EFLUENTES LÁCTEOS EN EL DISTRITO DE MOCHE, LA LIBERTAD, 2022”.			
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	METODOLOGÍA
¿Cuál es la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos en el distrito de Moche, La Libertad, 2022?	El uso de un sistema de coagulación y floculación influye en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, logrando alcanzar una remoción notable para cumplir con las normativas.	<p>General</p> <p>Determinar la influencia de un sistema de coagulación y floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche - La Libertad 2022.</p> <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la dosis óptima de polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40% floculación en la remoción de sólidos suspendidos totales y 	<p>Enfoque</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Diseño</p> <p>Preprueba-postprueba con grupos distribuidos aleatoriamente.</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Técnica</p> <p>Observación experimental</p>
VARIABLES	POBLACIÓN		

<p>Variable dependiente:</p> <p>Sólidos suspendidos totales y fósforo total.</p> <p>Variable independiente:</p> <p>Sistema de coagulación y floculación.</p>	<p>Población: Efluentes de procesos de la industria láctea.</p> <p>Muestra: 3L de efluentes de procesos de la industria láctea.</p>	<p>fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el porcentaje máximo de remoción del polímero catiónico al 1% y cloruro férrico al 40% sobre la concentración de sólidos suspendidos totales y fósforo total de efluentes lácteos, Moche, La Libertad 2022. • Verificar el cumplimiento de los Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines en las concentraciones de sólidos suspendidos totales y fósforo total, una vez aplicado el sistema de coagulación y floculación en la PTAR, Moche, La Libertad 2022. 	<p>Instrumento</p> <p>Ficha de recolección de datos.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>RG 0₁ X 0₂</p> </div> <p>Donde:</p> <p>R: Asignación aleatoria o al azar.</p> <p>G: Grupo de sujetos o casos de estudio. En este caso se consideran a las muestras tomadas del efluente lácteo.</p> <p>0₁: Preprueba, donde se miden los parámetros físico-químicos.</p> <p>X: Tratamiento experimental.</p> <p>0₂: Posprueba, donde se miden los parámetros físico-químicos.</p>
--	---	--	---

Anexo 2. Matriz de variables

INFLUENCIA DE UN SISTEMA DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y FÓSFORO TOTAL DE EFLUENTES LÁCTEOS EN EL DISTRITO DE MOCHE, LA LIBERTAD, 2022					
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Sólidos Suspendidos Totales y Fósforo Total	Sólidos suspendidos totales es un el indicador del material en suspensión en cuerpos de agua superficial o residual. Fósforo Total es un indicador que engloba al fósforo en sus diferentes formas, como ortofosfatos y fosfatos orgánicos (Comunidad Andina, 2008).	Se tomaron las muestras en tubos de ensayo para ser analizadas en el dispositivo multiparamétrico DR900 Hach.	Concentración de Sólidos Suspendidos Totales y Fósforo Total	mg/L	Razón
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Sistema de coagulación y floculación	La coagulación es un proceso donde las partículas se neutralizan y ya no se repelen entre sí. La floculación es el proceso donde las partículas neutralizadas se aglomeran, formando flóculos que poseen tamaño considerable y son sedimentables (Pérez & Urrea, 2011).	Se dosificó a través de un sistema de bombeo y posteriormente se mezcló la dosis con la muestra mediante la acción de mixers.	Dosis de coagulantes y floculantes	mg/L	Razón

Anexo 3. Matriz de instrumentos

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Sólidos Suspendidos Totales y Fósforo Total	Concentración de Sólidos Suspendidos Totales y Fósforo Total	mg/L	Colorimetría, volumetría, cromatografía iónica.	Ficha de recolección de datos
Sistema de coagulación y floculación	Dosis de coagulantes y floculantes	mg/L	Dosificación por bombeo	Ficha de recolección de datos

Anexo 4

Límites Permisibles de IFC/BM General Environmental Guidelines.

PARAMETRO	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE
Aceites y grasas	mg/L	10
DBO5	mg/L	30
DQO	mg/L	125
SST	mg/L	50
Temperatura	°C	<35
Nitrógeno total	mg/L	10
Fósforo total	mg/L	2
pH	-	6-9
Coliformes totales	NMP/100mL	400

Nota. La tabla muestra los valores de los Límites Permisibles de los parámetros para efluentes líquidos, los cuales son usados como referencia por la EIL. Tomado de *Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines: Wastewater and Ambient Water Quality*, por International Finance Corporation, 2007, World Bank Group.

Anexo 5

Tubo de ensayo con muestra con reactivo para medición de fosfatos en equipo Hach DR900.



Anexo 6

SST medidos en el TM1, efluente entrante a la PTAR, antes de aplicarse el tratamiento de coagulación y floculación.



Anexo 7

SST medidos en TM3, efluente tratado por la PTAR, antes de aplicarse el tratamiento de coagulación y floculación.



Anexo 8

Fosfatos medidos para TM3 para calcular el fósforo total aproximado, antes de aplicarse el tratamiento de coagulación y floculación.



Anexo 9

SST obtenidos de la dosificación 1 (D1) en TM2, tras el análisis de muestra de agua clarificada de la prueba de jarras.



Anexo 10

Fosfatos obtenidos de la dosificación 1 (D1) en TM2, tras el análisis de muestra de agua clarificada de la prueba de jarras.



Anexo 11

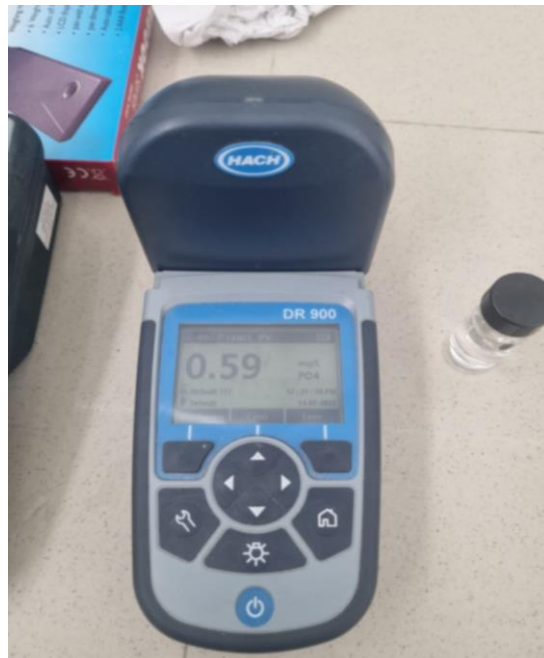
SST obtenidos de la dosificación 2 (D2) en TM2, tras el análisis de muestra de agua

clarificada de la prueba de jarras.



Anexo 12

Fosfatos obtenidos de la dosificación 2 (D2) en TM2, tras el análisis de muestra de agua clarificada de la prueba de jarras.



Anexo 13

SST obtenidos de la dosificación 3 (D3) en TM2, tras el análisis de muestra de agua clarificada de la prueba de jarras.



Anexo 14

Fosfatos obtenidos de la dosificación 3 (D3) en TM2, tras el análisis de muestra de agua clarificada de la prueba de jarras.



Anexo 15

Mixer y área de floculación.



Anexo 16

Sistema de dosificación de químicos CHEM.



Anexo 17

Bomba dosificadora de cloruro férrico al 40%.



Anexo 18

Punto de dosificación de cloruro férrico al 40% en el mixer.

