

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**OPTIMIZACIÓN AMBIENTAL Y ECONOMÍA
DEL PROCESO UTILIZANDO LA
METODOLOGÍA FACTORIAL 2^k EN LA
PRUEBA DE ADICIÓN DE INSUMO QUÍMICO
EN LA CELDA DAF**

PRESENTADO POR:

Ing, CARLOS COCA QUILLAY

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN ECOLOGÍA Y
GESTIÓN AMBIENTAL**

ASESOR:

Dr. JOSE ANTONIO LEGUA CARDENAS

HUACHO - 2019

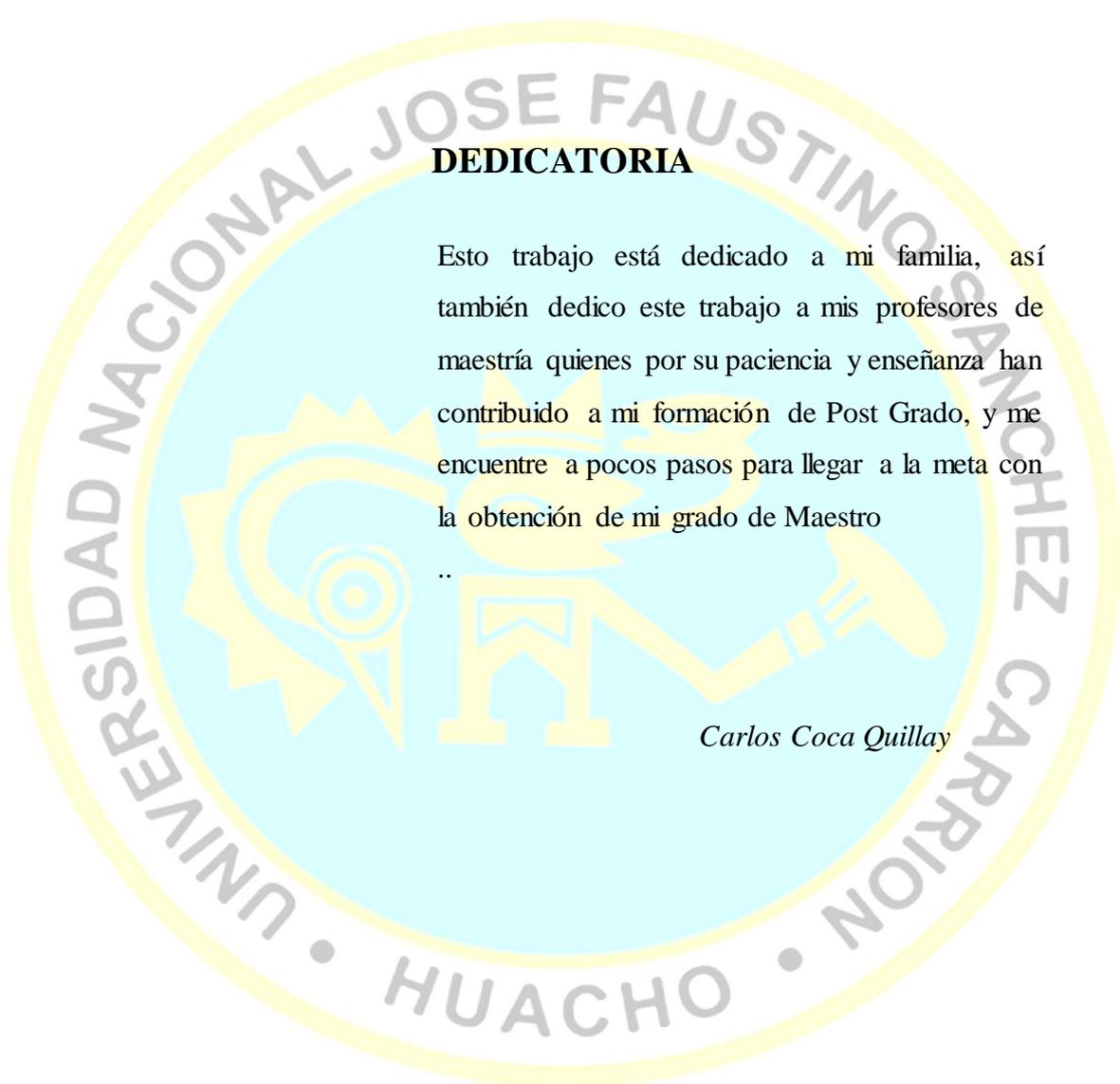
**OPTIMIZACIÓN AMBIENTAL Y ECONOMÍA DEL PROCESO
UTILIZANDO LA METODOLOGÍA FACTORIAL 2^K EN LA
PRUEBA DE ADICIÓN DE INSUMO QUÍMICO EN LA CELDA DAF**

Ing, CARLOS COCA QUILLAY

TESIS DE MAESTRÍA

ASESOR: Dr. JOSE ANTONIO LEGUA CARDENAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRO EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
HUACHO
2019**



DEDICATORIA

Esto trabajo está dedicado a mi familia, así también dedico este trabajo a mis profesores de maestría quienes por su paciencia y enseñanza han contribuido a mi formación de Post Grado, y me encuentre a pocos pasos para llegar a la meta con la obtención de mi grado de Maestro

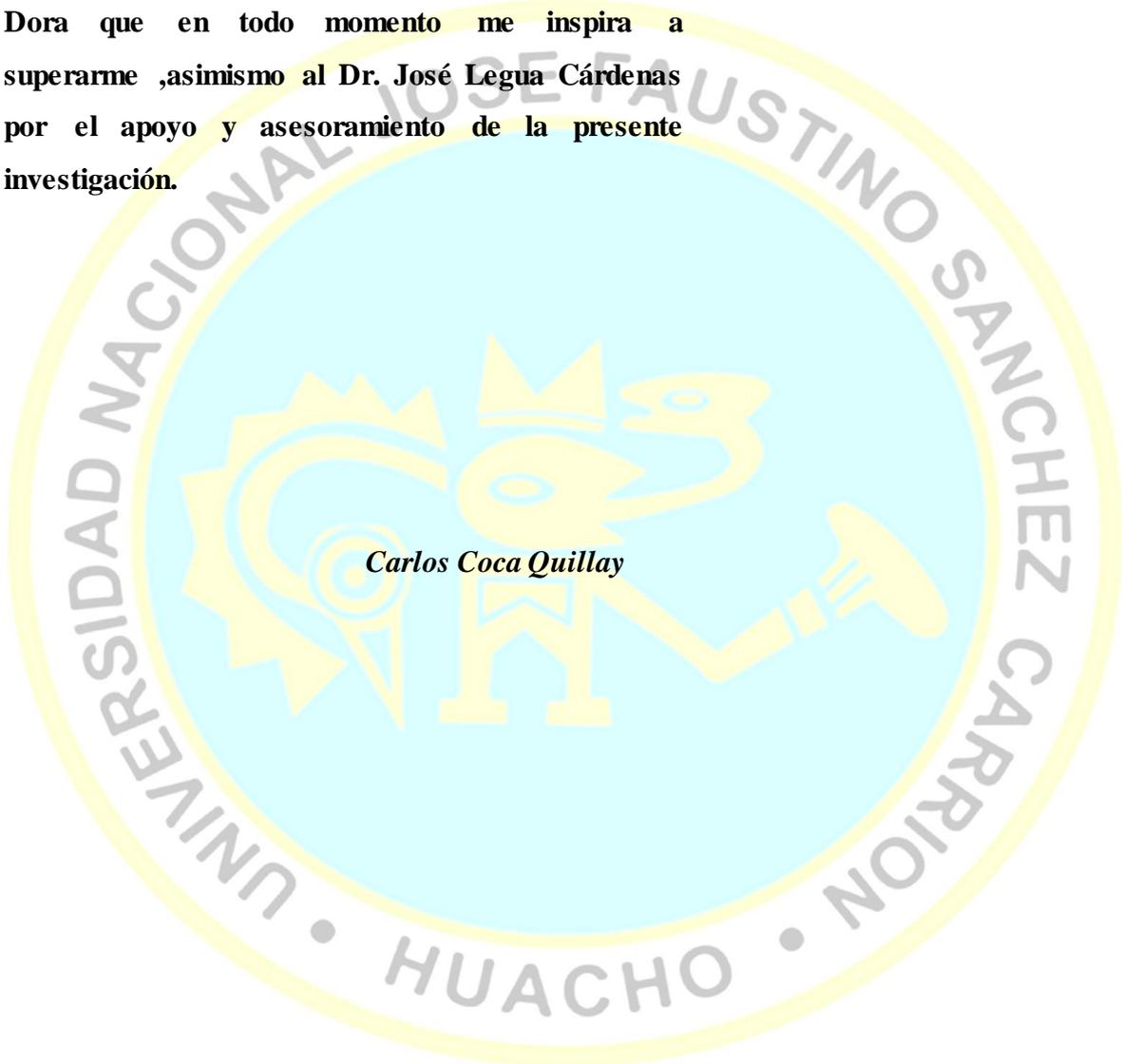
..

Carlos Coca Quillay

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi agradecimiento en primer lugar a Dios por haberme guiado el camino hacia la culminación de esta presente tesis, a mi familia que adoro y son la razón de mi existencia, Mi Madre Dora que en todo momento me inspira a superarme ,asimismo al Dr. José Legua Cárdenas por el apoyo y asesoramiento de la presente investigación.

Carlos Coca Quillay

The logo of the Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrion Huacho is a large, circular emblem. It features a central yellow figure that is a stylized, indigenous-style representation of a person or deity, possibly a sun god or a similar figure, with a crown-like top and a staff or scepter. The figure is set against a light blue background. The entire emblem is enclosed within a yellow circular border. The text "UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SANCHEZ CARRION" is written in a light blue, sans-serif font along the top inner edge of the circle, and "HUACHO" is written along the bottom inner edge, separated by two small dots.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación de la investigación	3
1.5 Delimitaciones del estudio	4
1.6 Viabilidad del estudio	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.1.1 Investigaciones internacionales	6
2.1.2 Investigaciones nacionales	9
2.2 Bases teóricas	11

2.2.2 Principales efluentes generados en la producción de harina y aceite de pescado	16
2.2.3 Proceso físico-químico de coagulación y floculación	19
2.2.4 Mecanismo de la floculación.	30
2.2.5 Tipos de coagulantes-floculantes	32
2.2.6 Diseño experimental	34
2.3 Bases filosóficas	42
2.4 Definición de términos básicos	42
2.5 Hipótesis de investigación	46
2.5.1 Hipótesis general	46
2.5.2 Hipótesis específicas	46
2.6 Operacionalización de las variables	46
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	
3.1 Diseño metodológico	48
3.2 Población y muestra	49
3.2.1 Población	49
3.2.2 Muestra	49
3.3 Técnicas de recolección de datos	49
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información	49
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	
4.1 Análisis de resultados	50
4.2 Contrastación de hipótesis	55

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1	Discusión de resultados	58
5.1.1	Estudio de correlaciones según modelo de diseño factorial 2^k entre niveles de TDS y parámetros de la operación unitaria de flotación.	58
5.1.2	Estudio de correlaciones para las pruebas centrales según modelo de diseño factorial 2^k entre el TDS a la salida del efluente y los parámetros que propician la coagulación y floculación.	60
5.1.3	Análisis y optimización de correlación de los parámetros de control de la coagulación y floculación en la prueba de Jarras.	60

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	66
6.2	Recomendaciones	68

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS

7.1	Fuentes bibliográficas	69
------------	-------------------------------	-----------

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

ANEXO A:	NTP 214.039.2015 Calidad de Agua: Determinación de sólidos de suspensión totales	73
ANEXO B:	Parte Experimental – Prueba de Jarra	76
ANEXO C:	Tablas de Fisher	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características físico químicas del agua de bombeo	Parámetro	Valores
Sólidos Totales		17
Tabla 2 Características fisicoquímicas de la sanguaza		18
Tabla 3 Composición química del agua de cola		19
Tabla 4 Niveles de las variables en escala natural (Z_i) y codificada (-1, +1) para el tratamiento por flotación		53
Tabla 5 Diseño experimental 2^k, con replica en el punto central, con 8 experimentos con dos niveles y tres factores aplicado a la flotación del efluente		53
Tabla 6 Resultados de las 8 pruebas experimentales de flotación, donde se obtiene Y_i		54
Tabla 7 Resultados de las cuatro pruebas centrales de diseño		55
Tabla 8 Condiciones de la flotación para las cuatro pruebas centrales para el diseño factorial 2^k		56
Tabla 9 Matriz de variables independientes		57
Tabla 10 Análisis de varianza para toda la evaluación experimental realizada		62
Tabla 11 Análisis de residuos		64

RESUMEN

Se sabe que la industria pesquera tiene la gran preocupación de cumplir la normativa vigente que señala límites permisibles en cuanto a contenidos de grasas y residuos sólidos en sus efluentes que tiene en sus unidades de proceso, específicamente en la celda DAF, con el objetivo de reducir la contaminación y cumplir la norma legal que es inspeccionada inopinadamente por la OEFA.

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.

La floculación es el proceso 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 floculos inicialmente pequeños, al juntarse crean aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

La mejor reducción de contenido de residuos sólidos del efluente (agua de bombeo) de entrada a la celda DAF experimentada a nivel de la Prueba de Jarras, se presentó en la cuarta prueba experimental, que fue de 500 ppm de concentración de residuos sólidos, siendo la prueba más óptima de todos los resultado experimentales dados y que corresponde a los siguientes parámetros controlantes de la reacción de coagulación y floculación, 3458 ppm de concentración de sulfato férrico, 3556 ppm de concentración del floculante tanino polichem.

En la segunda y octava prueba experimental, se encontraron resultados también óptimos, que se aproximan al resultado de la cuarta prueba experimental, teniéndose en común que se utilizó la concentración de sulfato férrico en su mayor nivel.

Estadísticamente se verifico que los parámetros controlantes de la reacción de coagulación y floculación son en una magnitud de efecto decreciente, observando la tabla 9 de acuerdo al valor de Fo: a) La concentración del sulfato férrico temperatura en un evidente efecto

positivo para la reacción (X_1), b) efecto de la concentración del tanino polichem (X_2), c) la concentración del efluente a la entrada a la reacción X_3 y la relación de interacción entre los parámetros (X_1X_3) tuvo un ligero efecto en la reacción.

Palabras clave: Diseño factorial 2^k , coagulación, Floculación, Prueba de Jarras



ABSTRACT

It is known that the fishing industry has the great concern of complying with current regulations that establish permissible limits in terms of fat content and solid waste in its effluents that it has in its process units, specifically in the DAF cell, with the aim of reducing pollution and comply with the legal standard that is inspected unexpectedly by the OEFA.

Coagulation is a process of chemical destabilization of the colloidal particles that are produced by neutralizing the forces that keep them separated, by means of the addition of chemical coagulants and the application of the mixing energy.

Flocculation is the process that converts suspended solids present in water into colloidal form, into more important agglomerates. The resulting "flocs" reach a state and size that makes them sedimentary, floating or filterable, allowing an almost complete separation of the suspended solids present in the water.

These initially small flocs, when coming together create larger agglomerates that are capable of sedimenting.

The best reduction of solid waste content of the effluent (pumping water) of entry to the DAF cell experienced at the level of the Pitcher Test was presented in the fourth experimental test, which was 500 ppm concentration of solid waste, being the most optimal test of all the given experimental results and corresponding to the following parameters controlling the coagulation and flocculation reaction, 3458 ppm concentration of ferric sulfate, 3556 ppm concentration of the polymethylene tannin flocculant.

In the second and eighth experimental test, optimal results were also found, which approximate the result of the fourth experimental test, having in common that the concentration of ferric sulfate was used at its highest level.

Statistically it was verified that the controlling parameters of the coagulation and flocculation reaction are in a magnitude of decreasing effect, observing Table 9 according to the value of F_0 : a) The concentration of the ferric sulfate temperature in a clear positive effect for the reaction (X_1), b) effect of the concentration of the polychlorin tannin (X_2), c)

the concentration of the effluent at the entrance to reaction X_3 and the interaction ratio between the parameters (X_1X_3) had a slight effect on the reaction.

Keywords: $2^k X_3$ factorial design, coagulation, flocculation, jar test



INTRODUCCIÓN

En la costa peruana se ha desarrollado a gran nivel la industria pesquera, orientada a la producción de harina y aceite de pescado y representa los rubros más importante de la economía nacional, la contaminación del medio ambiente es un tema de gran preocupación que se requiere de atención, existen diversas tecnologías para el tratamiento de los efluentes provenientes de estas industrias.

Las empresas pesqueras buscan llevar el equilibrio de la economía del proceso y la aplicación eficiente de tecnologías sostenibles para el ambiente.

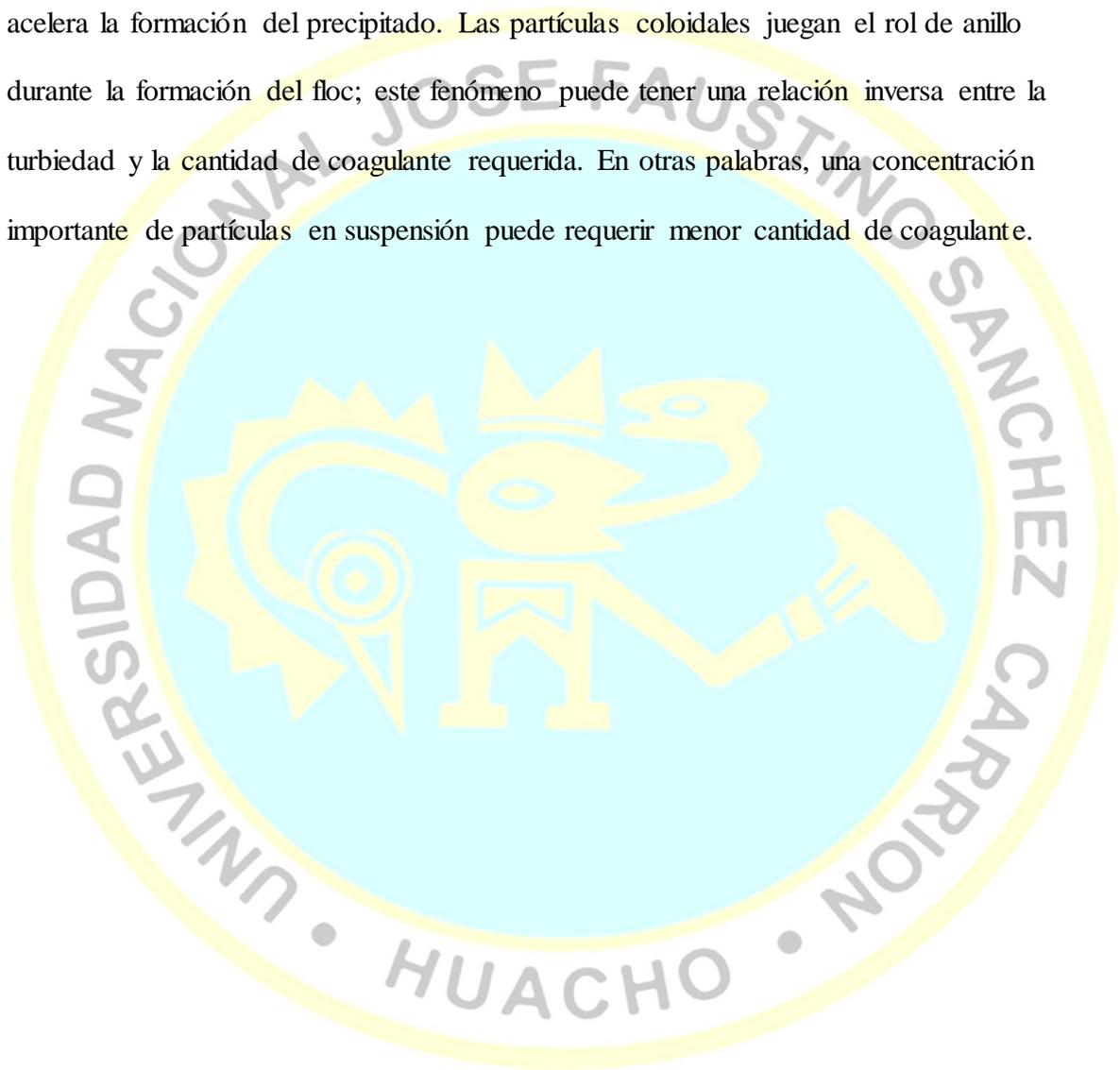
El fenómeno de coagulación y floculación se evalúa en el test de jarra, realizando conjugación de concentraciones de insumos químicos.

Actualmente se opta por utilizar insumos naturales que actúen como coagulante y floculantes en las etapas de tratamiento del efluente que son finalmente vertidos al cuerpo marino.

Las industrias buscan optimizar sus procesos de tratamientos de efluentes y contribuir al cuidado del medio ambiente, utilizando varios métodos matemáticos para minimizar la dosificación de sus insumos y por ende minimizar los costos de operación.

La recuperación de los sólidos del aceite no se hace únicamente por el propio valor del aceite recuperado sino que es una operación previa indispensable para poder aprovechar el agua de cola; cuyos sólidos presentes son en su mayor parte proteínas y su recuperación como harina integral representa un considerable aumento del contenido de proteínas en la harina y, por tanto, un incremento del valor real de toda la harina producida. (Tornes E. y., 1972, pág. 30)

El atrapamiento de partículas del efluente que presenta 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.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Hoy en día la industria pesquera tiene la gran preocupación de cumplir la normativa vigente que señala límites permisibles en cuanto a porcentajes de grasas y residuos sólidos en sus efluentes que tiene en sus unidades de proceso, específicamente en la celda DAF, con el objetivo de reducir la contaminación y cumplir la norma legal que es inspeccionada inopinadamente por la OEFA se realizan trabajos exploratorios (Screening) para lograr una respuesta adecuada a la normativa legal, para ello se tienen variables que se dan de manera no calculada ocasionando un perjuicio económico y no eficiencia en el objetivo de encontrar una respuesta óptima en el resultado en este caso en el remoción de grasa y sólidos totales disueltos.

Por otro lado aparte de tener un ahorro económico al utilizar menores cantidades de reactivos e insumos químicos y otros gastos directos e indirectos por aplicar la metodología estadística de diseño factorial 2^k , también se encontraría los valores óptimos de los parámetros de control del proceso en la celda DAF en menos tiempo, lo cual tendría un significativo impacto favorable para el desarrollo eficiente de los procesos de floculación y coagulación que se verifican en esta parte del proceso de tratamiento del agua de bombeo del pescado.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿En qué medida la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF favorecerá la optimización ambiental y economía del proceso?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida la caracterización del afluente y efluente de la celda DAF favorecerá la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF para la optimización ambiental y economía del proceso?

- ¿En qué medida la selección de los parámetros de proceso que permanecerán constantes favorecerá la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF para la optimización ambiental y economía del proceso?

- ¿En qué medida la selección del número de variables del proceso favorecerá la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF para la optimización ambiental y economía del proceso?

- ¿En qué medida la selección del rango de variación de cada variable del proceso favorecerá la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF para la optimización ambiental y economía del proceso?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Utilizar la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF para la optimización ambiental y economía del proceso.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el afluente y efluente de la celda DAF para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF y la optimización ambiental y economía del proceso.
- Seleccionar los parámetros de proceso que permanecerán constantes para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF y la optimización ambiental y economía del proceso.
- Seleccionar el número de variables del proceso para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF y la optimización ambiental y economía del proceso.
- Seleccionar el rango de variación de cada variable del proceso para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF y la optimización ambiental y economía del proceso.

1.4 Justificación de la investigación

Este trabajo de tesis se justifica por las siguientes premisas:

- Viendo la necesidad de cumplir con el tratamiento de los efluentes de la industria pesquera se requiere optimizar la dosificación de insumos químicos aplicando el test

de jarra generando un menor impacto sobre la salud y medio ambiente, es que en este trabajo de investigación se realizarán pruebas fisicoquímicas mediante diseños experimentales con los insumos químicos de coagulación y floculación, los cuales en una correcta combinación logran separar eficientemente los sólidos suspendidos totales del efluente, llegando a minimizar los costos de operación.

- Aplicar la metodología factorial 2^k en los procesos fisicoquímicos con parámetros determinados de operación y ampliar el conocimiento del proceso de coagulación y floculación para que las empresas pesqueras puedan evaluar y determinar si es rentable o no para su aplicación a nivel industrial sin mayores problemas medioambientales ni restricciones para su uso.
- Promover la investigación de tecnologías sostenibles en la industria pesquera.

1.5 Delimitaciones del estudio

El proyecto es a nivel experimental y se realiza inicialmente en la empresa Austral Group SAA ubicada en la ciudad de Chancay $11^{\circ}34'44''$ S, $77^{\circ}16'11''$ W y en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión ubicada en la ciudad de Huacho con coordenadas $11^{\circ}7'26''$ S, $77^{\circ}36'32''$ W, evaluando los parámetros fisicoquímicos del agua de bombeo (pH y SST) y el fenómeno de coagulación y floculación aplicando el test de jarra.

Se aplica la metodología factorial 2^k utilizando las variables de concentración de entrada de celda, concentración de coagulante y concentración de floculante.

Los datos resultantes deben cumplir con la legislación ambiental (D.S N°010-2008-PRODUCE).

1.6 Viabilidad del estudio

El proyecto de investigación ambiental contara con recursos

-Financieros

-Humanos

-Materiales

Los cuáles serán asumidos por el investigador.

El proyecto de investigación se realizó en la empresa Austral Group SAA laborando en la planta de tratamiento de efluentes y la experimentación en la Facultad de Ingeniería

Química y Metalurgia, para la cual se coordina con las autoridades quienes otorgaron el permiso correspondiente, la investigación contemplo un tiempo promedio de 6 meses.

La muestra se obtiene de una mezcla de agua y pescado

La ejecución del presente trabajo ambiental tiene la finalidad de mitigar la contaminación de los efluentes que son vertidos al mar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Guerrero (1992) señala en su tesis que;

Dentro de su plan de trabajo, incluyó: 1) estudios de tratamientos primarios o pretratamientos, para la eliminación del alto contenido en sólidos suspendidos de estas aguas residuales: -centrifugación. -coagulación-floculación química. -digestión anaerobia en dos fases, en condiciones termófilas y mesófilas. 2) estudios de tratamientos secundarios, para la eliminación de la elevada carga orgánica causante del poder contaminante de las aguas residuales: -estudios de biodegradabilidad de las aguas. -digestión anaerobia en un filtro. -test de actividad de los lodos formados en el filtro anaerobio. 3) estudios de tratamientos terciarios o tratamientos avanzados, para la eliminación de compuestos contaminantes específicos (amonio) no eliminados en la etapa anterior: - desorción o stripping con aire. -nitrificación - desnitrificación biológica. (pág. 6)

Revelo, Proaño, & Banchón (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 textileras son descargadas a los cuerpos de agua. Una solución ambientalmente amigable para tratar aguas residuales de textileras 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 textileras. 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%. (pág. 1)

Ramírez Zamora, Durán Moreno, Bernal Martínez, & Orta de Velásquez (1995) en su trabajo;

Probó el proceso de coagulación-floculación como una etapa de pretratamiento de las aguas residuales producidas en la Ciudad de México. El interés en esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de tratamiento obtenida con nuevos productos de coagulación-floculación comparada con la obtenida con productos comerciales de probada efectividad. Entre los seis coagulantes probados, se utilizó uno de origen natural (TANFLOC SG) el cual es una sal cuaternaria de amonio tánico. Asimismo, se probaron tres floculantes de carga eléctrica distinta. El floculante zwitteriónico (2PNOD2R) es un producto desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Iztapalapa. En general, todos los productos utilizados produjeron aguas con una calidad aceptable, desde el punto de vista

fisicoquímico, para ser reutilizadas en riego y en actividades recreativas. Los resultados con los nuevos productos de coagulación-floculación son comparables a los obtenidos con los productos comerciales e incluso, en el caso del floculante zwitteriónico, en algunos casos los resultados fueron mejores. (pág. 1)

Cisneros Páez (2006) demostró que;

El Método de Flotación por Aire Disuelto, conocido como DAF (Dissolve Air Flotation), es un método efectivo para la remoción de grasas, aceites y materia flotante presentes en las aguas residuales de la Industria de Alimentos DANEC S.A., productora de aceite vegetal comestible y otros productos. Este método se basa en el principio de solubilidad del aire en el agua residual sometida a presión y consiste en la inyección de aire en el agua residual presurizada y al reducir la presión en el tanque de flotación se liberan las burbujas, las mismas que se adhieren a los floculos elevándolos a la superficie de donde son retirados por distintos medios mecánicos. Previamente se realizó la caracterización fisicoquímica de los efluentes antes y después del tratamiento, luego se hicieron 6 ensayos de tratamiento aplicando diferentes alternativas de procesos para determinar el más adecuado, estos son: 1) Proceso DAF; 2) Proceso DAF + Filtración; 3)

Neutralización + DAF + Filtración; 4) Neutralización + Coagulación/Floculación + DAF + Filtración; 5) Neutralización + Coagulación- Floculación/ Espumante + DAF + Filtración y 6) Neutralización + Coagulación- Floculación + DAF + Aireación + Filtración. Se concluye que las mejores alternativas de tratamiento de los efluentes industriales corresponden a los ensayos 4 y 6, llegándose a reducir hasta un 90 por ciento las grasas y aceites, cumpliendo así con los límites permisibles que dispone la Ordenanza Municipal 146. (pág. 101)

2.1.2 Investigaciones nacionales

Espinoza Goicochea (2014) afirma que;

En Perú los primeros intentos en la producción de harina de pescado, fue desde el año 1949 de los desechos de pescado, fue sólo en 1951 la producción de harina de pescado utilizando anchoas frescas como materia prima. La industria pesquera de Chimbote comienza en 1954, llegando a un total de 48 plantas industriales en 1998; Desde sus inicios el funcionamiento de estas plantas se ha asociado con la generación de efluentes en las diferentes etapas del proceso, tales como agua de bombeo, agua de sangre, agua de cola, agua de limpieza de equipos, entre otros, los cuales fueron vertidos sin cualquier tratamiento en el mar, causando impactos negativos a su ecosistema. La bahía "El Ferrol" es considerada una de las bahías más contaminadas del Perú, como resultado de la industria de harina de pescado, la cual se desarrolla a partir de los años 60; Por lo que desde el año 2002 la Comisión Técnica Multisectorial encargada se encargó de proponer el Plan de Recuperación Ambiental de la bahía de El Ferrol y declara de interés nacional la solución integral de los problemas de contaminación y destrucción de la bahía de El Ferrol. La industria de la harina de pescado y fishoil ha estado creciendo en los últimos años en el Perú en la tecnología, la innovación, la investigación y el desarrollo utilizando herramientas de ingeniería, bioingeniería, química, electrónica, mecánica y otras ciencias y ramas disponibles; Todo esto como resultado de la exigencia de un mercado globalizado en constante cambio; Asociado a este trabajo de optimización en el uso de recursos, ha estado aumentando desde hace muchos años una constante preocupación por el cuidado del medio ambiente y esto incluye el impacto negativo que causa sobre el mar, porque para la descarga de efluentes generados por la operación de estas plantas de harina de pescado, acompañada de la publicación de las normas legales vigentes en materia ambiental; Esta preocupación por el medio ambiente se ha globalizado y hay una

participación de la parte interesada: empresa, gobierno, población y clientes. La gestión de los efluentes generados por el funcionamiento de la planta Harina de pescado y fishoil, parte del estudio de la materia prima, la descripción de los diferentes sistemas de absorción para la descarga de pescado y su influencia en el valor del flujo de agua de bombeo y destrucción de peces, Estudiar las diferentes etapas de tratamiento y tecnología disponibles para ello, herramientas de gestión que desarrollan la Empresa (Balances de Agua, PACPE, PAMA, EIA, etc.). (pág. 6)

Paredes Concepción (2014) Sostiene que;

La aplicación de estrategias ambientales como la Producción Más limpia dentro de las operaciones del sector pesquero, específicamente plantas productoras de harina y aceite de pescado, ha permitido generar una reducción significativa de la contaminación al medio ambiente marino, a través de la recuperación de compuestos valiosos presentes principalmente en los efluentes que eran retornados al mar y que ahora son introducidos en el proceso principal, mejorando de este modo no solo el desempeño ambiental sino también aumentando la productividad y contribuyendo positivamente sobre la imagen de la organización ante los diversos grupos de interés. (pág. 1)

Díaz Pérez (2015) trata sobre;

La simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Iquitos, haciendo uso de un software de Ingeniería de nombre Superpro Designer en la versión 6. Para realizar la simulación se tuvo que tomar en cuenta, los parámetros operacionales como caudal, presión, temperatura, cobertura de saneamiento, el horizonte de diseño y las características físicas, químicas y biológicas de las aguas servidas de la ciudad de Iquitos que consideró el estudio de inversión del PTAR-Iquitos, construido en el Distrito de Punchana Nuevo Versalles, el cual, viene operando actualmente. Cabe mencionar que en la etapa de tratamiento primario y secundario, el PTAR-Iquitos, en el proceso biológico

tiene un sistema híbrido, es decir, usa un proceso aerobio y anaerobio, en cambio en el proceso biológico estudiado, solamente se trata mediante un proceso aerobio. Para elaborar el software aplicativo en la plataforma de Superpro Designer, se tuvo que identificar y seleccionar los equipos de ingeniería, basándonos en el diagrama de equipos se elaboró el software, se enlazaron los equipos para conformar el proceso con las características operacionales, físicas, químicas y biológicas similares al PTAR-Iquitos. El caudal másico del afluente es de 31 25417 Kg/h (24.7 MT/Año) considerando 330 días por año. El reporte económico que se obtiene es de de \$ 416 191 000, con un costo operativo de \$ 109 329 000 por año, un tiempo de retorno de la inversión de 5 años, a una tasa de interés bancario del 12 %. En el reporte ambiental, no se encontró impactos negativos significativos. (pág. 9)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Producción de harina y aceite de pescado

La producción de harina y aceite de pescado se dio como una forma de aprovechar los excedentes y el pequeño pescado que no podía venderse para el consumo humano. A medida que empezó a reconocerse el valor de la harina de pescado, se fueron creando industrias pesqueras cuyo objetivo principal era la producción de harina de pescado.

(Brendon & Marshall, 1954, pág. 98)

Landeo & Ruiz (1996) señalo que, “las operaciones preliminares de captura, transporte, descarga a la fábrica, manipuleo y almacenamiento del pescado son esenciales para obtener un buen producto final, así como para la minimización de los residuos generados”. (Nuñez, 2014, pág. 29)

2.2.1.1 Principales procesos y operaciones.

a. Descarga del pescado a fábrica.

El transporte del pescado desde las bodegas de las embarcaciones a la fábrica se hace mediante un equipo de bombeo acoplado a una tubería. Un sistema de bombeo efectivo es aquel que descarga el máximo de pescado causándole el menor daño en un tiempo mínimo y usando la menor cantidad de agua. (Lezama & Rosillo, 2001, pág. 118)

Landeo y Ruiz (1996) indican que; Tradicionalmente, este proceso se realiza mediante bombas centrífugas, las cuales dañan el pescado por el rozamiento. Para minimizar el daño se mantiene una proporción agua-pescado de 2 (2.5):1.

La mezcla agua-pescado es recibida en planta por los desagües: uno estático y uno vibratorio. Así se elimina el agua de bombeo, la cual es retornada al medio marino con una alta cantidad de sólidos y grasa del pescado, produciendo altos niveles de contaminación. El pescado desaguado es llevado por un transportador de mallas a las tolvas de pesaje, con el fin de determinar los rendimientos y costos de producción. Se debe evitar que se encuentren a mucha altura de las pozas de almacenamiento, para que la materia prima no caiga con mucha fuerza y se maltrate. (Nuñez, 2014, pág. 21)

En la planta, el laboratorio de control de calidad se encarga de realizar un primer análisis a la pesca recibida, para medir su grado de frescura, a través de la determinación del TVN (Nitrógeno Total Volátil). Este índice cuantifica las bases nitrogenadas producidas durante el proceso de deterioro del pescado, y por consiguiente discrimina calidades de producto final. El producto que se designa en base a una pesca de TVN menor o igual a 35 mg se designa como Prime "A"; entre 35 y 55 se denomina calidad "B"; entre 55 y 80, calidad "C" y sobre 80, calidad "D" o estándar. (Castro, 2004)

b. Almacenamiento del pescado

El pescado es descargado a pozas de almacenamiento. Los problemas con el almacenamiento en planta son iguales que los de a bordo. Se debe mantener la materia prima lo más fresca posible, el uso de preservantes químicos o de hielo. Las pozas, además, deben mantenerse aireadas y protegidas del sol y otras fuentes de calor, y deben ser preferiblemente de pequeña capacidad (poca altura). Durante esta fase se produce la sanguaza, que debe ser drenada de las pozas para evitar que se convierta en un caldo de cultivo de las bacterias degradadora del pescado. El pescado se extrae de las pozas por medio de helicoidales que alimentan a un elevador, el cual abastece al cocinador. (Nuñez, 2014, pág. 22)

c. Cocinado

Landeo y Ruiz (1996) señalan que en los cocinadores el pescado ingresa entero y es sometido a un tratamiento térmico por vapor, que dura de 5 a 20 minutos a una temperatura entre 90 y 100 °C y una presión de 2 a 7 bar. La cocción consiste en exponer al pescado a los efectos del calor para facilitar que las proteínas coagulen, produciendo la ruptura de la membrana celular que da lugar a la liberación de aceite y del agua. (Nuñez, 2014, pág. 22)

d. Desagüado

La función de esta operación es la de separar la fracción sólida de la acuosa. Esto se realiza en el “pre-strainer”, de forma que se aumentará el rendimiento del prensado y se reducirá el contenido de agua en la torta de prensa, con el consiguiente ahorro de petróleo en los calderos. (Landeo & Ruiz , 1996)

e. Prensado

El prensado es la operación final de drenaje, de la cual se obtiene una fracción sólida o torta de prensa con mínima cantidad de agua y grasa y un licor de prensa, con un alto porcentaje de sólidos insolubles, solubles y aceite. Las prensas son equipos mecánicos conformados por una cavidad central, donde van alojados uno o dos tornillos helicoidales de paso decreciente, y que a su vez están rodeados de una pared ranurada o con perforaciones. El pescado cocinado es fuertemente comprimido por los tornillos, escurriendo el licor a través de las rejillas y la torta por el extremo. (Landeo & Ruiz , 1996)

f. Separación de sólidos y aceite

El licor de prensa es llevado a una centrifuga horizontal (decanters) con la finalidad de recuperar los sólidos insolubles en suspensión, obteniendo la torta de separadora que será añadida la torta de prensa para proseguir con el proceso de la harina. (Lezama & Rosillo, 2001)

La fracción acuosa restante, el licor de separadora, tiene aún elevados porcentajes de sólidos en solución, aceite y agua. Es precalentado a una temperatura de 95 °C y llevado a las centrifugas de separación líquido-líquido, donde se recupera el aceite crudo de pescado, el cual es almacenado en tanques de material ferroso para su comercialización. (Landeo & Ruiz , 1996)

g. Secado

El agua de cola concentrado, la torta de prensa y la torta de separadora son enviadas a los secadores, donde se realiza el tratamiento térmico más severo. Los secadores consisten en una primera etapa de cilindros de gran diámetro en cuyo interior disponen de una serie de tubos longitudinales calentados con vapor, y en una segunda fase compuesta 7 por

secadores rotadiscos. Esta operación es determinante para la calidad de la harina y para el consumo de energía de la planta. (Landeo & Ruiz , 1996)

h. Molienda

La harina que sale del secador es pasada por un molino de martillos para reducir el tamaño de las partículas de harina, con el fin de obtener una granulometría adecuada y cumplir con los requisitos (SIC). (Pizardi, 1992, pág. 11)

i. Enfriamiento y envasado

Una vez seca, la harina se encuentra con la humedad deseada pero a una temperatura no conveniente para ser inmediatamente envasada; la harina debe ser enfriada bruscamente, desde aprox. 70°C hasta 25-30 °C, a fin de lograr una estabilización primaria del producto obtenido. (Nuñez, 2014, pág. 24)

Una vez agregado el antioxidante, la harina pasa a la etapa de envasado, en la que se introduce el producto en sacos de polipropileno de 50 Kg. (Pizardi, 1992)

Por lo general, la harina de pescado sufre la oxidación de la grasa, por ser un producto higroscópico (que absorbe humedad) y que absorbe oxígeno. Para evitarlo, el producto es envasado frío y se le agrega un antioxidante, la etoxiquina, el cual inhibe el poder oxidante de las grasas. (Castro, 2004)

En esta etapa es muy importante la participación del Laboratorio de Control de Calidad, que extrae las muestras necesarias para efectuar los correspondientes análisis de proteína, grasa, humedad, TVN y otros que permiten caracterizar y clasificar la harina de acuerdo a las calidades definidas: A, B1, B2, C y D. (Castro, 2004)

2.2.2 Principales efluentes generados en la producción de harina y aceite de pescado

2.2.2.1 Agua de bombeo.

El agua de bombeo está constituida por sólidos de pescado (proteína insoluble, escamas, fragmentos óseos y grasa); asimismo, por líquidos del pescado (sangre, aceite de pescado y proteína soluble)

Del Valle & Aguilera (1990) señala que: Este subproducto se clasifica como de alto volumen y baja concentración. Se ha estimado, por ejemplo, que se pueden producir 1.14 litros de agua de bombeo por espécimen cuando se descarga “lacha” *Brevoortia tyrannus* desde la embarcación hasta las plantas de procesamiento. (Nuñez, 2014, pág. 25)

En Perú se trabaja principalmente con bombas hidráulicas que requieren una proporción agua: pescado de 2:1 para que no se dañe la materia prima.

Esto ocasiona así un volumen muy elevado de descarga de aguas contaminadas con alta carga orgánica y microbiana. (Castro, 2004)

El agua de bombeo está constituida por sólidos de pescado (proteína insoluble, escamas, fragmentos óseos y grasa); asimismo, por líquidos del pescado (sangre, aceite de pescado y proteína soluble). (Alvarez, 2003, pág. 152)

Castro (2004) Reporta las características fisicoquímicas del agua de bombeo según diferentes autores según la tabla 1.

Tabla 1 Características físico químicas del agua de bombeo Parámetro Valores Sólidos Totales

Parámetro	Valores	
Sólidos totales	32-79 g/l	2.8%
Grasa	0.16-7.5 g/L	0.10%
Proteína total	NR	1.00 %
Proteína solubles	0.3-7.5 g/L	NR
Ceniza	NR	1.40%
DBO5	NR	4600 ppm
DQO(ppm)	490-12600	35200
Ph	NR	6.2

Fuente: (Nuñez, 2014, pág. 26)

2.2.2.2 Sanguaza.

Es la parte líquida orgánica del pescado, especialmente de la sangre y vísceras ocurrido por la presión del pescado en las pozas de recepción y bodegas de las embarcaciones. Este efluente tiene considerable carga orgánica. Presenta entre 6.0 a 8.0% de sólidos totales y entre 1.0 - 2.0% de grasa. (Pesca Perú, 1995, pág. 50)

Consiste en una mezcla de agua, sólidos solubles, sólidos insolubles y aceite, que se produce por la pérdida de frescura del pescado en la embarcación y en las pozas. Su generación es potenciada por el trabajo inadecuado del equipo de descarga del pescado, la altura de las pozas, el tamaño de la anchoveta, y el tiempo y temperatura de almacenamiento. (Nuñez, 2014, pág. 26) Su producción se debe evitar en lo posible, y si ocurre debe ser procesada para aprovechar su sólido y aceite

Parin et al (1979) citados en Nuñez Álvarez (2014) sostienen que;

Según estudios realizados en Chile, la producción de sanguaza en las plantas de harina de pescado puede alcanzar un 2 a 10% del pescado almacenado. (pág. 26)

Las características físicas químicas de la sanguaza, según Del Valle & Aguilera (1990), se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Características fisicoquímicas de la sanguaza

Parámetros	Valores
Sólidos totales	4.6 – 7.3%
Grasa	0.8 – 1.2%
Proteína total	2.2 – 4.4%
DQO	93000 ppm
pH	6.9

Fuente: (Del Valle & Aguilera, 1990)

2.2.2.3 Agua de cola

El agua de cola, cuando no es reaprovechada, es un efluente del procesamiento de harina de pescado que posee una carga orgánica muy alta y cuya descarga genera un impacto negativo de elevada magnitud sobre el ecosistema marino. Se calcula que por cada TM de pescado fresco procesado se produce alrededor de media TM de agua de cola, con un contenido del 7% de sólidos (alrededor de 35 Kg. por TM de pescado procesado). Si anualmente se procesan alrededor de 10 millones de TM de pescado en el país, entonces se producen alrededor de 5 millones de TM de agua de cola, conteniendo 350,000 TM de sólidos. (Castro, 2004)

El agua de cola es de composición bastante variable, dependiendo tanto de la materia prima de la cual provenga, como de las condiciones de operación de la planta y del estado de los equipos. (Tornes & George, 1970, pág. 32)

Rodriguez (2002) reporta que;

La composición química aproximada del agua de cola según varios autores (Tabla 3). (pág. 85)

Tabla 3 Composición química del agua de cola

Agua (%)	Grasa(%)	Proteínas(%)	Ceniza(%)	Solidos totales (%)	Fuente
91.00-93.00	0.6-0.8	3.50	1.00	7.00-9.00	Briceño (1972)
91.00-94,00	0.2-0.9	-	-	6.00-9.00	Landeo y Ruiz (1996)
90.00-93.00	0.30	7.10	1.00	9.40	Del Valle y Aguilera (1990)

Fuente: Rodríguez (2002).

2.2.3 Proceso físico-químico de coagulación y floculación

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. (Kirchmer, 1977, pág. 37)

-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 tengan contacto, estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos (floculación).

2.2.3.1 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. (Andia, 2000, pág. 9)

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. (Pérez, 1977, pág. 98)

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa
- Adsorción y neutralización de cargas
- Atrapamiento de partículas en un precipitado
- 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 al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante. (Andia, 2000, pág. 11)

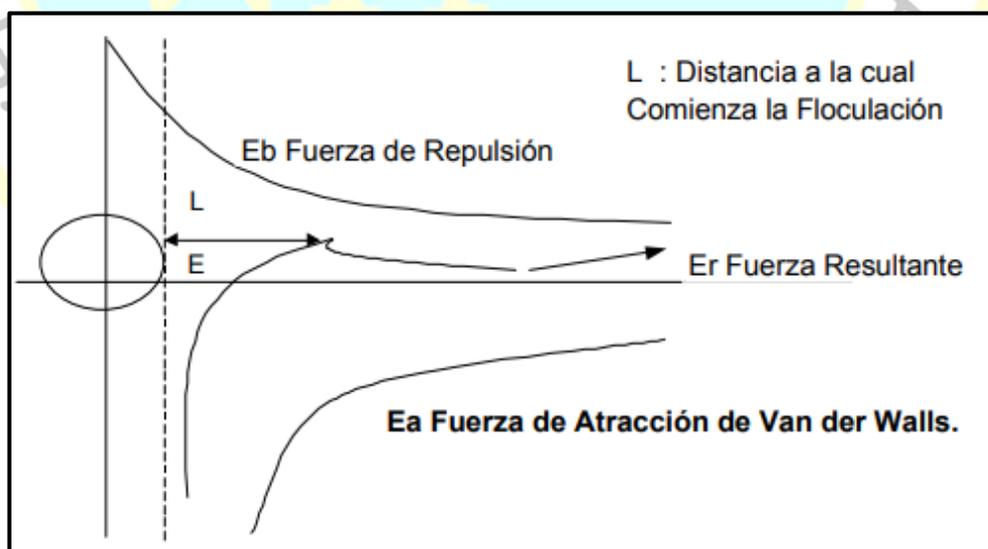


Figura. 1 Fuerzas de Atracción y Repulsión

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 afectados por las características de la solución. (Nuñez, 2014, pág. 36)

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 colóide.

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. (Andia, 2000, pág. 37)

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 reestabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante son absorbidos en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original. (Andia, 2000, pág. 37)

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 aceleran 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. (Andia, 2000, pág. 13)

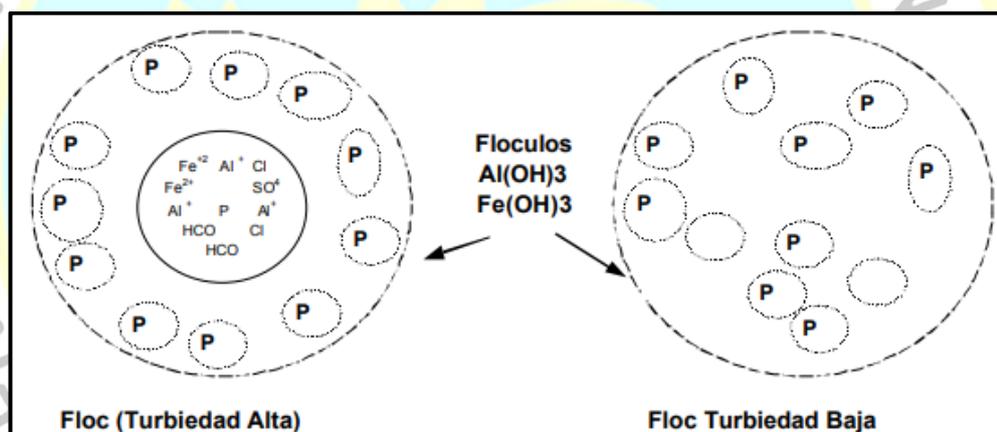


Figura. 2 Atrapamiento de las Partículas en un Floc.

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. (Andia, 2000, pág. 38)

2.2.3.2 Factores que influyen en la coagulación

Andia Cardenas (2000) señalo que es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

La interrelación entre cada uno de ellos permiten predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua. (Pág. 17)

Influencia del pH

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

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

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 - 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 - 8.5. (Andia, 2000, pág. 17)

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:

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- 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.
- Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.

- 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. (Andia, 2000, pág. 19)

Influencia de las sales disueltas

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

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente. (Andia, 2000, pág. 17)

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. (Andia, 2000, pág. 17)

Influencia de la dosis del coagulante

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

-Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.

-Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

-La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

La selección del coagulante y la dosis juegan un rol muy importante sobre:

-La buena o mala calidad del agua clarificada.

-El buen o mal funcionamiento de los decantadores. (Andia, 2000, pág. 17)

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 hecho 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 de tiempo (60 s) 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 microfloculos.

La mezcla rápida se le 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. (Andia, 2000, pág. 18)

2.2.3.3 Etapas o fases de la coagulación

Andia Cardenas (2000) El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Acción de barrido. (pág. 25)

La coagulación es un proceso que depende del tiempo. Stumm y O'Melia (1999)

Identificaron varias etapas en la reacción:

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfase de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de éstas y las interacciones químicas.

- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van Der Waals.
- Formación de los flóculos.
- Precipitación del hidróxido metálico.

Algunos de estos pasos ocurren secuencialmente, otros coinciden parcialmente y otros incluso pueden ocurrir simultáneamente. Se pueden asumir que los diferentes pasos de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diferentes condiciones químicas. (Nuñez, 2014, pág. 42)

2.2.3.4 Tipos de coagulación

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: por Adsorción y por Barrido.

Coagulación por adsorción

Se presenta cuando el agua tiene una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea. (Andia, 2000, pág. 26)

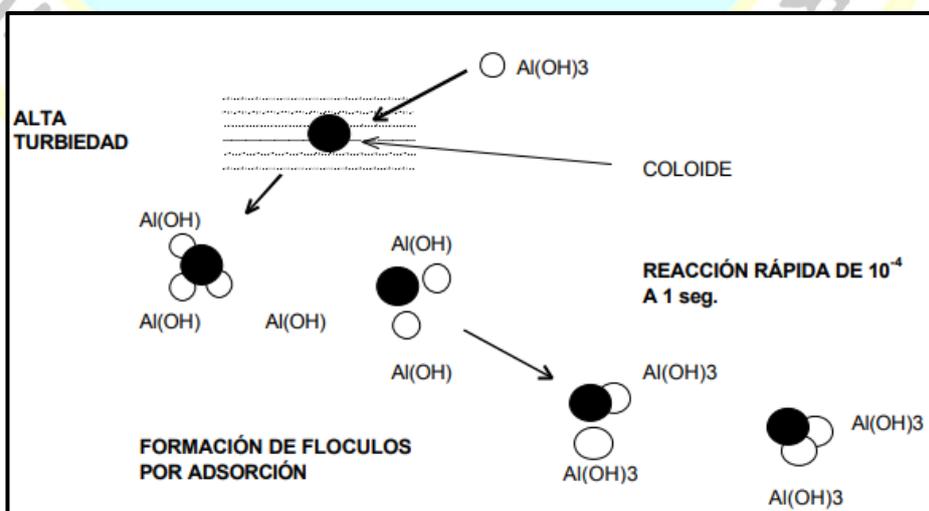


Figura. 3 Coagulación por Adsorción

Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de hierro al agua en condiciones especiales de dosis de coagulante y pH, se forman una serie de especies solubles hidrolizadas.

Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos SILANOL ($\text{Si}(\text{OH})$) y el coloide y lo desestabilizan, permitiendo la formación de floculos. Este mecanismo es denominado neutralización de carga (también se le llama de desestabilización-absorción).

Cuando la cantidad de coloides presentes en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña, siendo por lo tanto mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para su desestabilización menor, así como el potencial zeta resultante. (Nuñez, 2014, pág. 43)

Coagulación por barrido

Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

(Andia, 2000, pág. 27)

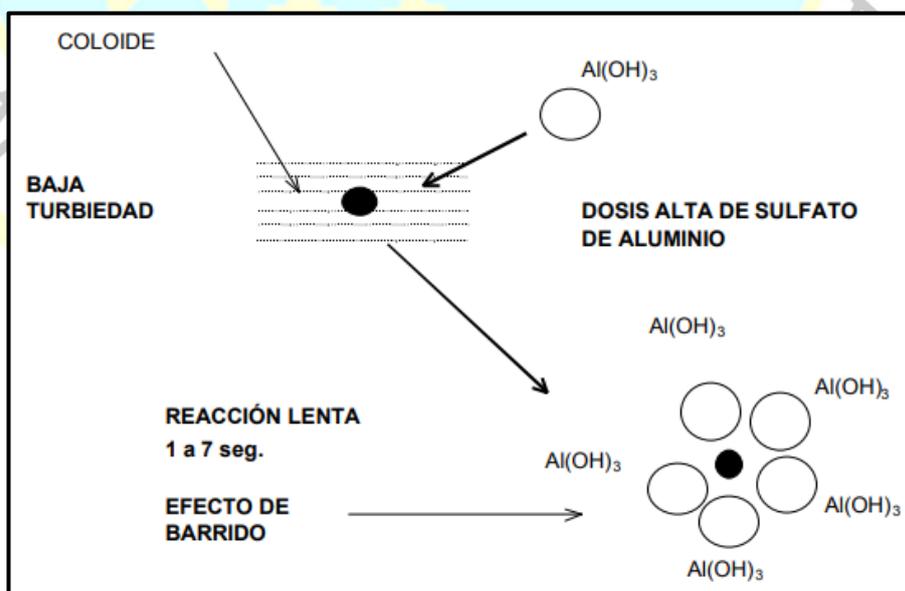


Figura. 4 Coagulación por Barrido

2.2.4 Mecanismo de la floculación.

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. (CEPIS, 1991)

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

Los floculos 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.

Kurita (1999) señala que; La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los floculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, sino que también aumenta su peso. La floculación implica que por medio de sustancias químicas (polímeros, poli electrolitos) se aumente el contacto entre las partículas finas en la coagulación para formar floculos los cuales sedimentan más fácilmente. (Nuñez, 2014, pág. 46)

Las impurezas presentes en el agua en forma de partículas en estado coloidal, tienen carga negativa, pero la dispersión coloidal (agua+ coloides), no tienen una carga eléctrica única. Las cargas originales de las partículas son equilibradas con las cargas de la fase acuosa, resultando una doble capa eléctrica en cada interfase entre el sólido y el agua.

Las fuerzas de difusión y atracción electrostática dispersan la carga en el agua alrededor de cada partícula, en una capa difusa. Las fuerzas eléctricas de repulsión y las fuerzas de

atracción de Van Der Waals interaccionan con las partículas en la solución produciendo una barrera potencial que previene la aglomeración. Al proceso de vencer la barrera de repulsión para permitir que ocurra la aglomeración se le denomina desestabilización.

(Nuñez, 2014, pág. 46)

2.2.4.1 Tipos de floculación

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

Floculación Pericinética

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 pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

2.2.4.2 Parámetros de floculación

Los parámetros que caracterizan a la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- Densidad y tamaño de floc.

- Volumen de lodos (los flocúlos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación) (Andia, 2000, pág. 34)

2.2.4.3 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. (Nuñez, 2014, pág. 47)

2.2.5 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 3, cloruro de aluminio 3, sulfato de hierro 3 y cloruro de hierro 3. 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. (Nuñez, 2014, pág. 47)

2.2.5.1 Coagulantes artificiales

a. Coagulante metálico

Villaseñor (2004) indica que; 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 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. (Nuñez, 2014, pág. 48)

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. (Causa & Pinto, 1974, pág. 250)

b. Coagulación con sales de aluminio

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. (Pérez, 1977, pág. 98)

c. Coagulación con sales de hierro

Las sales de hierro, se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos. (Mysels & Evison, 1967, pág. 475). Las más conocidas sales de hierro son: cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso.

El cloruro férrico se consigue en tres formas: cristales hidratados, cristales anhidridos 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. (Graham, 1977, pág. 588)

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. (Nuñez, 2014, pág. 49)

2.2.6 Diseño experimental

Un experimento diseñado está definido como una “prueba o serie de pruebas en las cuales se efectúan cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en las respuesta de salida” (Montgomery, 2004)

2.2.6.1 Diseño factorial

Un diseño factorial es un tipo de diseño experimental de primer orden que consiste en combinar de todas las maneras posibles los niveles de los factores en estudio, permitiéndonos conocer los efectos que tienen sobre la variable respuesta. También nos permite conocer las interacciones que existen entre los factores y los efectos que estos presentan en la respuesta. (Ayala & Pardo, 1995)

2.2.6.2 Diseño factorial 2^K

Es aquel diseño factorial de dos niveles, donde se estudian todas las combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo o replica para determinar qué factores afectan significativamente en la variable respuesta. (Ayala & Pardo, 1995)

El diseño factorial 2^K es muy sencillo de llevar a cabo, ya que proporciona el menor número de ensayos a realizar, permitiéndonos estudiar cada factor en un diseño factorial

completo. El número de número de experimentos a realizar está definido por la siguiente relación:

$$N = 2^K$$

Donde:

K: número de factores a estudiar

N: número de experimentos

2.2.6.3 Diseño factorial 2^k con replicas en el punto central del diseño

Es un diseño factorial 2^K al que se le adicionan una o más replicas en el punto central del diseño, con el fin de que los resultados obtenidos en las pruebas experimentales sean más confiables; así como para dar una estimación promediada del efecto de curvatura.

Las réplicas son múltiples corridas experimentales con la misma configuración de factores y sus niveles. Se pueden replicar combinaciones de niveles de factores, grupos de combinaciones de niveles de factores o diseños enteros.

El número de réplicas a realizarse se determinará en base a los recursos con los que se cuenten, tal como el costo de las pruebas experimentales.

Por ejemplo, si tiene un diseño factorial de 2 niveles y 3 factores el número de pruebas a realizar sería 8, pero para tener un mayor grado de confiabilidad en los resultados se le pueden agregar tres replicas en el punto central del diseño, lo cual nos daría un total de 11 pruebas experimentales a realizar.

a. Cálculo de efectos

El cálculo de efectos se determina para saber cuánto afectan los factores o variables en estudio sobre la variable respuesta de un proceso. El cálculo de efectos se define como la diferencia entre los valores medios de las respuestas, cuando en los tratamientos

respectivos la respuesta se encuentra en su nivel inferior y cuando se encuentra en su nivel superior.

$$E_{X_i} = \frac{\sum Y_+ - Y_-}{\binom{N}{2}(r)} \quad (\text{Ec. 2-1})$$

Donde:

$\sum Y_+$: sumatoria de las respuestas correspondientes al nivel superior de la variable en cuestión

$\sum Y_-$: sumatoria de las respuestas correspondientes al nivel inferior de la variable en cuestión.

N: Número de pruebas experimentales

r: Número de réplicas en el diseño.

En este caso $r = 1$ por tratarse de un diseño con replicas en el punto central

b. Análisis de varianza

Es la herramienta más útil en la inferencia estadística, que se usa para probar la significancia de los efectos.

$$SST_{TOTAL} = SSEFFECTOS + SSCURVATURA + SSError$$

Donde:

SS_{TOTAL} : Suma total de cuadrados.

$SS_{EFFECTOS}$: Suma de cuadrados debida a los efectos o tratamientos.

$SS_{CURVATURA}$: Suma de cuadrados para la curvatura.

SS_{ERROR} : Suma de cuadrados debida al error.

Suma de cuadrados de los efectos e interacciones

$$SS_{efecto} = \frac{([X^T][Y])^2}{Nr} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Donde el valor de r es igual a 1.

Suma de cuadrados del error

$$SS_{error} = \sum_{i=1}^{n_0} (Y_i^0 - \bar{Y}^0)^2 \quad (\text{Ec. 2-3})$$

Donde:

SS Error: es la suma de cuadrados del error.

Y_i^0 : replicas en el punto central del diseño

\bar{Y}^0 : Promedio de todas las réplicas en el punto central del diseño

n_0 : número de réplicas en el centro del diseño

La suma de cuadrados para la curvatura

$$SS_{curvatura} = \frac{Nn_0(\bar{Y} - \bar{Y}^0)^2}{(N+n_0)} \quad (\text{Ec. A-4})$$

Donde:

\bar{Y} = es el promedio de los puntos exteriores del diseño.

\bar{Y}^0 = promedio de todas las réplicas en el punto central del diseño.

Grados de libertad

f_1 : Grados de libertad de los efectos e interacciones (1).

f_2 : Grados de libertad de la suma de cuadrados del error ($f_3 - f_1$).

f_3 : Grados de libertad de la suma total de cuadrados ($Nr - 1$).

Media de cuadrados

$$MSS = \frac{SS}{\text{grados de libertad}}$$

Teorema de Cochran

Para determinar de manera precisa el grado de significancia de las variables o factores en estudio.

$$F_0 = \frac{MS_{\text{efectos}}}{MS_{\text{error}}} \quad (\text{Ec. 2-5})$$

Donde:

MS_{EFFECTOS}: Cuadrado medio de los efectos:

$$MS_{\text{efectos}} = SS_{\text{efectos}} / f_1$$

MS_{ERROR}: Cuadrado medio del error:

$$MS_{\text{error}} = SS_{\text{errore}} / f_2$$

Ahora bien, un efecto o interacción es significativa si se cumple la siguiente relación:

$$F_0 > F_{\alpha, f_1, f_2}$$

Donde F_{α, f_1, f_2} es lo que se denomina F de tablas, siendo α el nivel de confiabilidad o significancia (generalmente igual a 0.01 o 0.05)

c. Modelo matemático

Una vez determinado los efectos El siguiente paso es obtener un modelo matemático, que represente al proceso investigado, con el diseño factorial a dos niveles.

Únicamente podemos estimar modelos matemáticos lineales de la siguiente forma:

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_j + \sum_{u=i=1}^k b_{uj} X_u X_j$$

Donde $u \neq j$

La determinación de los coeficientes b_j y b_{uj} se harán mediante la siguiente fórmula matricial:

$$(B) = ((X)^T * (X))^{-1} * ((X)^T * (Y))$$

Debido a la propiedad de ortogonalidad de la tabla de indicadores de nivel, el producto $[X]^T [X]$ es igual a la matriz, cuyos elementos de la diagonal es igual al número de experimentos (N). Los elementos de la diagonal de la matriz inversa $(([X]^T [X])^{-1})$ son:

$$C_{jj} = \frac{1}{N}$$

Los coeficientes del modelo matemático son definidos como el producto escalar de la columna Y por la columna X_j , entre el número de experimentos (N) del diseño:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij} Y_j \quad (\text{Ec. 2 - 6})$$

Otra relación importante, resulta de comparar las ecuaciones de efecto con la anterior nos resulta:

$$b_j = \frac{E_j}{2} \quad (\text{Ec. 2 - 7})$$

Validación del modelo matemático

El objetivo de todo modelo matemático es predecir satisfactoriamente el fenómeno estudiado. Es decir, que reemplazando valores X_1 y X_2 en el rango investigado (-1 a +1), prediga valores similares a los datos observados. Lo que puede ser calculado matricialmente:

$$\bar{Y} = [X][B]$$

Siendo la matriz [X], la matriz de variables independientes menos la columna que resulto no significativa y el vector [B] son los coeficientes del modelo matemático.

Siendo Y los valores predichos por el modelo, llamado también Yestimado o simplemente Yest. (Ayala & Pardo, 1995)

d. Análisis de residuos

Para conocer cuan distanciados están los valores estimados con los valores observados de la variable respuesta.

$$RESIDUOS = Y - Y_{estimado}$$

Suma de cuadrados del residual

$$SS_{RESIDUALES} = \sum_{i=1}^{Nr} (Y - \bar{Y})^2 \quad (\text{Ec. 2 - 8})$$

Donde:

\bar{Y} = Y est

Y = Y observado

Suma de cuadrados medio para el residual

$$SCM_R = \frac{\sum_{i=1}^{Nr} (Y - \bar{Y})^2}{Nr - I} \quad (\text{Ec. 2 - 9})$$

Nr = Número total de experimentos

I = Número de parámetros del modelo matemático.

Diferencia (Nr-I) se denomina **grados de libertad del residual del modelo**, el cual denotaremos como f_4

e. Test F

Se usa para poder determinar estadísticamente si el modelo matemático hallado representa adecuadamente a los datos experimentales.

$$F_0 = \frac{SCM_R}{SCM_{Error}} \quad (\text{Ec. 2 - 10})$$

Donde:

SCM_R : Suma de cuadrados medio para el residual

SCM_{Error} : Suma de cuadrados medio para el error

$$F_0 < F(\alpha, f_1, f_2)$$

Donde:

α = es el nivel de confianza, generalmente del 95% (0.05)

f. Decodificación del modelo matemático

Para poder graficar o aplicar la etapa de optimización, es importante decodificar el modelo matemático hallado a escala natural. (Ayala & Pardo, 1995)

Para el término independiente:

$$a_0 = b_0 - \sum_{j=1}^k b_j \epsilon_j - \sum_{ij=1}^k b_{ij} \epsilon_{ij} \quad i \neq j$$

Para el término lineal

$$a_j Z_j = \frac{b_j}{\Delta Z_j} - \sum_{i,j=1}^{k-1} \frac{b_{ij}}{\Delta Z_j}$$

Para el término interacción

$$a_{ji} Z_j Z_i = \frac{b_{ij}}{\Delta Z_j \Delta Z_i}$$

Donde

$Z^{\circ} j$: Centro del diseño para la variable j = $(Z^{\text{Max}} + Z^{\text{min}}) / 2$

ΔZ_j : Radio del diseño para la variable $j = (Z^{\text{Max}} - Z^{\text{min}})/2$

ε : Resultado de la división de Z°

2.3 Bases filosóficas

El criterio filosófico al respecto es la utilización de recursos matemáticos, tales como modelos matemáticos, software o algoritmos a fin de economizar tiempo e inversión para lograr la optimización de alguna variable relevante en un proceso.

2.4 Definición de términos básicos

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”. (Andia, 2000, pág. 9)

Coagulación Por Adsorción: “Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y forman casi instantánea”. (Andia, 2000, pág. 26)

Coloides: “Son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua”. (Andia, 2000, pág. 7)

Corrida experimental: “Combinación de los niveles de cada factor con la que se miden las respuestas”. (Huaco, 2017, pág. 18)

Cuota de captura: “captura máxima permitida de un recurso (o grupo de recursos) hidrobiológico, en un área y período definidos por la Subsecretaría de Pesca. Puede ser

expresada en unidades de peso (toneladas o kilogramos) o en número de ejemplares”.
(SERNAPESCA, 2006, pág. 1)

Efecto: “Es la influencia de las variables independientes sobre la variable respuesta”.
(Huaco, 2017, pág. 18)

Equipos de Medida: Involucra a todos los medios de medición, patrones, materiales de referencia, aparatos auxiliares que son necesarios para realizar una medición. (Andia, 2000, pág. 38)

Factor: “Son las variables dependientes, las cuales pueden influir en la variable respuesta; estas pueden ser cualitativas (cambios en el equipo, métodos, material a utilizar, etc.) o cuantitativas (temperatura, concentración del reactivo, tiempo, etc.)”.
(Huaco, 2017, pág. 18)

Floculación: Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flocos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. (Andia, 2000, pág. 33)

Fuerzas de atracción de Van der Waals: Son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas. (Andia, 2000, pág. 8)

Mecanismo de la Coagulación. La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.
- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente”. (Andia, 2000, pág. 10)

Nivel: “Son los diferentes valores que toman los factores o variables en estudio”. (Huaco, 2017, pág. 18)

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. (Andia, 2000, pág. 16)

Prueba de Jarras: Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los floculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. (Andia, 2000, pág. 41)

Replica: “Repetición de una corrida experimental con la misma configuración de factores y sus niveles”. (Huaco, 2017, pág. 18)

Talla crítica: es aquella talla que maximiza el rendimiento en biomasa de una cohorte, dada una determinada sobrevivencia de ésta. Se entenderá por cohorte aquel grupo de individuos de una especie que poseen igual edad.

En toda área de pesca, independiente del régimen de acceso a que se encuentre sometida, la SSP, mediante resolución fundada, previo informe técnico del Consejo Zonal de Pesca que corresponde, podrá establecer una o más prohibiciones, entre ellas

La Fijación de tamaños mínimos de extracción por especie en un área determinada y sus márgenes de tolerancia. En ningún caso el tamaño mínimo será inferior al de la talla crítica.

- a) Fijación de las dimensiones y características de las artes y aparejos de pesca. (SERNAPESCA, 2006, pág. 1)

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”. (Andia, 2000, pág. 19)

Variable: “Es un parámetro en un proceso o fenómeno que puede más de un valor durante el rango de validez del modelo”. (Huaco, 2017, pág. 18)

Veda: “acto administrativo establecido por autoridad competente en que está prohibido capturar o extraer un recurso hidrobiológico en un área determinada por un espacio de tiempo”. (SERNAPESCA, 2006, pág. 1)

Veda biológica: “prohibición de capturar o extraer con el fin de resguardar los procesos de reproducción y reclutamiento de una especie hidrobiológica”. (SERNAPESCA, 2006, pág. 1)

Veda extractiva: “prohibición de captura o extracción en un área específica por motivos de conservación”. (SERNAPESCA, 2006, pág. 1)

Veda extraordinaria: prohibición de captura o extracción, cuando fenómenos oceanográficos afecten negativamente una pesquería.

En el evento de fenómenos oceanográficos, en un área o pesquería determinada, que causen daño a una o más especies, podrá excepcionalmente, por decreto supremo fundado del Ministerio, previo informe técnico de la Subpesca, establecerse vedas extraordinarias o prohibiciones de captura, referidas a áreas específicas.

(SERNAPESCA, 2006, pág. 1)

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

-Utilizando la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF es posible la optimización ambiental y economía del proceso.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Caracterizando el afluente y efluente de la celda DAF para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF es posible la optimización ambiental y economía del proceso.
- Seleccionando los parámetros de proceso que permanecerán constantes para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF es posible la optimización ambiental y economía del proceso.
- Seleccionando el número de variables del proceso para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF es posible la optimización ambiental y economía del proceso.
- Seleccionando el rango de variación de cada variable del proceso para favorecer la utilización de la metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF es posible la optimización ambiental y economía del proceso.

2.6 Operacionalización de las variables

- a) **Variable Independiente:** La metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF.
- b) **Variable Dependiente:** Optimización ambiental y economía del proceso
- c) **Variable Interviniente:** Método experimental, materiales.

Operacionalización de la variable

Variables	Definición conceptual	Dimensión de la Variable	Indicadores
Independiente: La Metodología factorial 2^k en la prueba de adición de insumos químicos en la celda DAF.	Un experimento diseñado es una prueba en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema.	Características del diseño factorial.	-Número de variables del proceso -Valores del rango de cada variable. -Número de experimentos a realizar -Número de réplicas para cada prueba experimental.
Dependiente: Optimización ambiental y economía del proceso.	Resultados óptimos de concentración de insumos químicos en el test de jarra.	Parámetros fisicoquímicos del efluente, características ambientales y económicas.	-Porcentaje de remoción de grasa. -Porcentaje de remoción de sólidos -DBO ₅ antes y después del tratamiento en la celda DAF. -Dinero ahorrado al utilizar menos cantidad de insumos químicos en el tratamiento con la celda DAF.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

El tipo de investigación es descriptivo experimental

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

Primera Meta: Evaluación del tratamiento en la celda DAF, para determinar cuáles y cuantas son las variables controlantes del proceso de tratamiento.

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

Tercera Meta: Determinación del número de experimentos a realizar para el tratamiento de coagulación y floculación en la celda DAF.

Cuarta Meta: Determinación del régimen y cantidades de adición de los insumos promotores coagulantes y floculantes del tratamiento en la celda DAF.

Quinta Meta: Determinación de los valores óptimos de adición de insumos químicos (coagulantes y floculantes) para remover la mayor cantidad de grasa y sólidos en al agua de bombeo, a fin de cumplir con la normativa ambiental.

Sexta Meta: Evaluación ambiental y economía del tratamiento utilizado.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población está conformada por toda el agua de bombeo correspondiente a un lote de proceso de la anchoveta.

3.2.2 Muestra

La muestra representativa de la población referida líneas arriba, estará conformada por una cantidad suficiente (aproximadamente 50 L) para desarrollar todas las etapas de tratamiento (coagulación y floculación).

3.3 Técnicas de recolección de datos

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

Los instrumentos para facilitar la investigación serán: hoja de cálculo y cámara fotográfica, para registrar la información se utilizará la fotocopidora, y la información de Internet se registrará haciendo uso de los accesorios de soporte de informático.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Para los análisis químicos que se requieran el muestreo insitu por duplicado utilizando un tomador de muestra, y se tomará el promedio aritmético para el procesamiento del dato obtenido.

En el caso de los resultados SST se utiliza el procedimiento según la NTP 214.039.2015 Calidad de agua - Determinación de sólidos suspendido totales, teniéndose consideración los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental (ECA) para el efluente según el uso que se le va dar que recomienda la legislación ambiental (D.S N°010-2018-MINAM).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Estudio de correlaciones según modelo de diseño factorial 2^k entre niveles óptimos de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y los principales parámetros que controlan la operación de flotación en la Prueba de Jarras, estos resultados se extrapolan para la operación de flotación en la celda DAF de 100 metros cúbicos, las muestras se toma de un tanque receptor de efluente depurador de espumas de 2000 metros cúbicos.

En la Tabla 3, se presentan los resultados para las 8 pruebas experimentales, donde se muestra el número de experimento (N), la medición de la concentración en SST se realizó con el equipo multiparametro Fischer Scientific donde se hizo lectura de los resultados de la concentración en unidades de ppm del SST.

Para la obtención de los resultados se realizó ensayos experimentales con la Prueba de Jarras que simulaban las operaciones de flotación en la celda DAF y también se ajustaban a las características del efluente de entrada, que fluctúan en ciertos rangos de concentración y flujos en gran parte del trabajo de rutina a excepción que a veces presenta condiciones extraordinarias en cuanto a sus valores de concentración y flujos, saliéndose de los valores de rutina, en este caso se trabajó con efluentes que presentaban parámetros de operación de la planta pesquera.

Materiales, Equipos y Reactivos.

- Bureta de 50 ml.
- Tubos de ensayo.
- Pera de decantación.
- Termómetros de 0-110°C.
- Vasos de precipitado pyrex de 1000 ml, 500 ml y 250 ml.
- Matraz Kitasato
- Rejilla de asbesto.
- Soporte universal y nueces de fijación.
- Pisceta de 250 ml.
- Papel de filtro.
- Pinzas de acero.

Equipos

- Equipo para la Prueba de Jarras Prueba de Jarras
- Refrigeradora (de 12 pies³, Electrolux).
- Bomba de vacío (L.MIM)
- Balanza de Precisión (Ohaus)

Reactivos.

- Sulfato Férrico
- Ácido Acético
- Tanino Polichem C1
- Indicador fenolftaleína.
- Alcohol Etílico de 96 G.L.

Método y Procedimientos.

Método de Análisis.

Evaluación de la operación de flotación mediante la medición de la concentración en cuanto a su valor de Sólidos suspendidos totales (SST) y porcentaje de grasa presente en el agua de este efluente de salida tratado en la Prueba de Jarras.

Procedimiento Experimental:

Para lograr la optimización en la operación unitaria de flotación desarrollada en la celda de flotación en la planta pesquera se pretende minimizar la concentración de salida en SST y el contenido de grasas en el efluente de salida para lograr este objetivo se tiene que decidir el flujo y concentración de los agentes de flotación que en este caso son el sulfato férrico y el tanino polichem C1.

Por otro lado se tiene otro parámetro no controlable que es la concentración de entrada del efluente a la unidad de la celda de flotación, por lo que se tiene que decidir respecto a la concentración del sulfato férrico y de tanino polichem C1 que se va a adicionar a la celda de flotación y también va a recibir al efluente a una concentración determinada que es la variable SST, todas estas variables que son independientes a unos flujos determinados que se mantienen en valores fijos, esta decisión respecto a la concentración del sulfato férrico (Z_1) y del tanino polichem C1 (Z_2) y del valor incontrolable de la concentración de entrada del efluente (Z_3) se tiene que plantear un diseño factorial 2^k .

A fin de encontrar la significancia estadística de los del efecto de estas variables y asimismo de su interacción entre las variables, respecto a el objetivo de minimizar el valor de la concentración de salida del efluente (Y)

En la Tabla 4, se muestra los rangos de los valores de las variables en escala natural Z_i , que por experiencia se sabe que sus valores de rutina varían en esos rangos.

Tabla 4 Niveles de las variables en escala natural (Z_i) y codificada (-1, +1) para el tratamiento por flotación

Variable	Nivel (-1)	Nivel(+1)
Z_1 , concentración del sulfato férrico (ppm)	1606	3458
Z_2 , Concentración del tanino polichem (ppm)	569	3556
Z_3 , Concentración del efluente a la entrada (ppm)	1250	1800

Fuente: propia

Tabla 5 Diseño experimental 2^k , con replica en el punto central, con 8 experimentos con dos niveles y tres factores aplicado a la flotación del efluente

N	Z_1	Z_2	Z_3
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	1	1	0
5	0	0	1
6	1	0	1
7	0	1	1
8	1	1	1

Fuente: propia

A continuación se presenta los resultados del trabajo experimental donde intervienen los procesos de coagulación y floculación desarrollados con la Prueba

de Jarras, se presentan en la tabla 2, construida a partir de la tabla 1 y con los resultados de la medición del SST, que se observan en la columna Y_i de la Tabla 6.

Tabla 6 Resultados de las 8 pruebas experimentales de flotación, donde se obtiene Y_i

N	Z_1	Z_2	Z_3	Y_i
1	1606	569	1250	670
2	3458	569	1250	560
3	1606	3556	1250	600
4	3458	3556	1250	500
5	1606	569	1800	690
6	3458	569	1800	620
7	1606	3556	1800	650
8	3458	3556	1800	580

Fuente: propia

Estudio de correlaciones para las pruebas centrales según modelo de diseño factorial 2^k entre el SST del efluente de salida y los parámetros que controlan la operación de flotación.

A fin de complementar el diseño factorial 2^k se realizó cuatro pruebas experimentales centrales, para ello se utilizó la información de la Tabla 6 cuyos datos tabulados y resultados se muestran en la Tabla 7 que se muestra a continuación:

Tabla 7 Resultados de las cuatro pruebas centrales de diseño

N	SST (ppm)	Yi
9	530	530
10	570	570
11	530	530
12	570	570

Fuente: propia

4.2 Contratación de hipótesis

Se ha utilizado el diseño experimental factorial 2^k con replica en el punto central del diseño (Palacios, 2002) se ha realizado 8 pruebas principales, más 4 pruebas centrales de acuerdo a la Tabla 6 y la Tabla 7 respectivamente, para la operación por flotación a nivel de Prueba de Jarras.

Las condiciones controlantes de la operación unitaria se planificaron de acuerdo a un diseño experimental factorial que se muestra en la Tabla 5: donde se muestra la planificación del diseño experimental la cual indica el número de experimento (N), los valores de la variable en escala natural (Z_i)

En la Tabla 6, se indica la concentración del coagulante sulfato férrico, la concentración del floculante tanino polichem C1 y la concentración de entrada del efluente a la entrada de la Prueba de Jarras que son las variables de control de la flotación, en este caso la información que se obtiene a nivel de la Prueba de Jarras se escalan para su aplicación en la celda de flotación DAF, que recibe el efluente tratado proveniente del tanque principal de 2000 metros cúbicos

Para complementar el diseño factorial 2^k experimental se realizó cuatro pruebas centrales de diseño experimental en las condiciones de operación que se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8 Condiciones de la flotación para las cuatro pruebas centrales para el diseño factorial 2^k

Tipo de variable de la operación de Flotación	Valor ppm
Z1, Concentración de Fe	2532
Z2, Concentración de tanino polichem	2062
Z3, Concentración del efluente a la entrada	1525

Fuente: propia

Para aplicar el diseño factorial 2^k con pruebas centrales es necesario construir la matriz de variables independientes, la cual se explica sus cálculos en el Anexo B y se muestra en la Tabla 9.

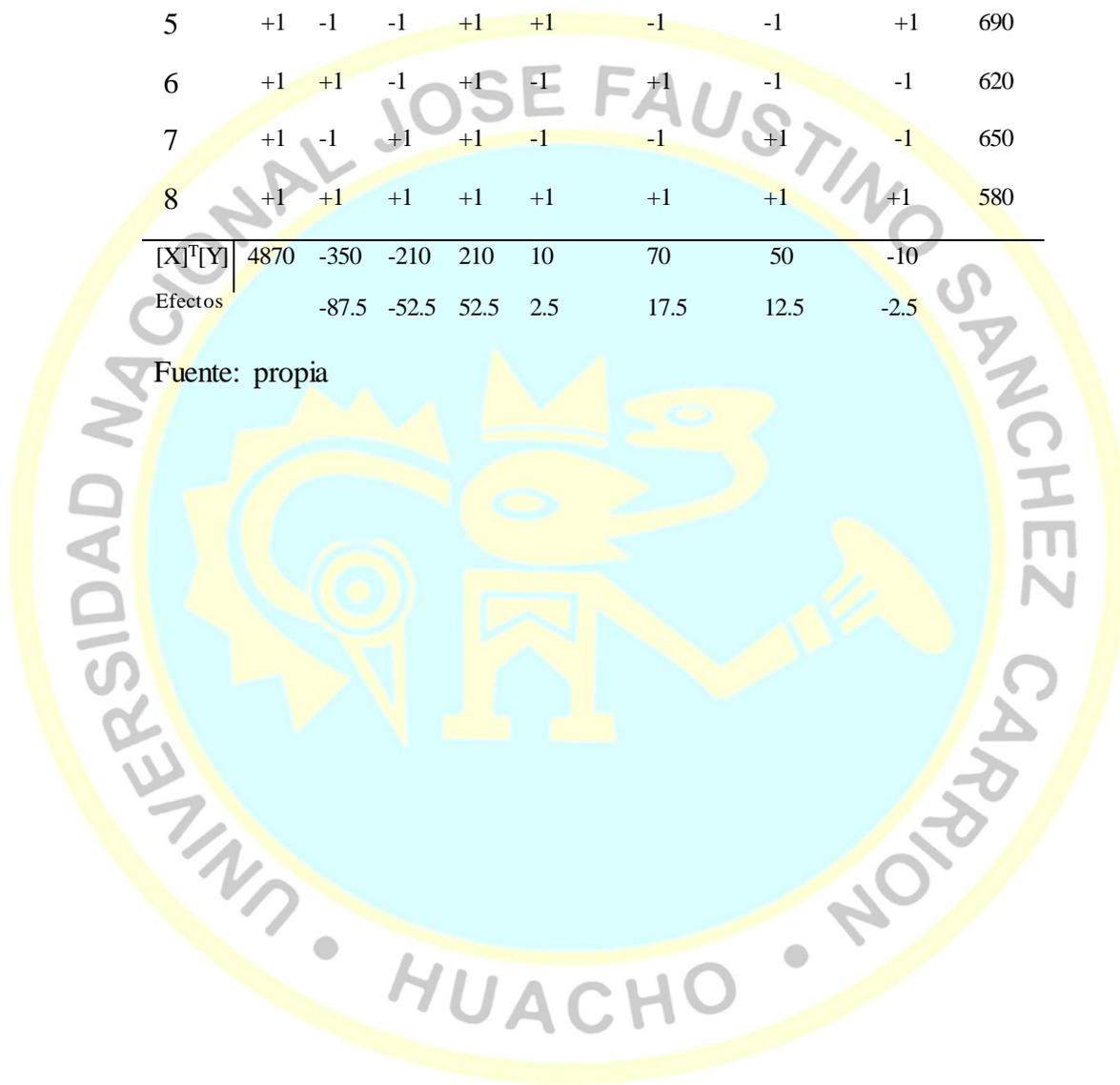
Para saber cuantitativamente cuanto afectan las variables sobre la respuesta (SST a la salida del efluente) se determina el cálculo de los efectos, luego para probar la significancia de los efectos se hace un análisis de variancia.

Una vez determinados los efectos y las influencias significativas se encuentra el modelo matemático que represente la operación unitaria de flotación, con el diseño factorial a dos niveles.

Tabla 9 Matriz de variables independientes

N	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y _i
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	670
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	560
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	600
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	500
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	690
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	620
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	650
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	580
[X] ^T [Y]	4870	-350	-210	210	10	70	50	-10	
Efectos		-87.5	-52.5	52.5	2.5	17.5	12.5	-2.5	

Fuente: propia



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

5.1.1 Estudio de correlaciones según modelo de diseño factorial 2^k entre niveles de SST y parámetros de la operación unitaria de flotación.

En la Tabla 9, se presentan los resultados para las 8 pruebas experimentales, donde se muestra el número de experimentos (N), respecto a la concentración del sulfato férrico (Z1) y del tanino polichem C1 (Z2) y del valor incontrolable de la concentración de entrada del efluente (Z3) y finalmente el valor de Yi (diferencia entre el TDS antes y después del tratamiento de flotación (coagulación y floculación).

El resultado de la primera prueba experimental se muestra en la Tabla 6, donde se experimentó a la concentración de sulfato férrico y la concentración de tanino polichem en su menor nivel y con una concentración de TDS en su menor nivel, en este caso la operación unitaria presentó un buen resultado aceptable si cumpliendo con el límite permisible según la normativa legal, en este caso el valor de SST alcanzó el valor de 670 ppm.

Para la segunda prueba experimental, se utilizó las mismas condiciones que la primera prueba a excepción de la concentración de sulfato férrico que se utiliza en su mayor nivel que es 3458 ppm para la flotación del efluente, para esta prueba se presentan el resultado de TDS en la Tabla 9, el SST tiene el valor de 560 ppm, que es

un valor por debajo del permitido por la normativa legal que es valor de 700 ppm, observándose para esta prueba el mejor valor de SST. También se aprecia que la muestra de efluente toma un color distinto al original debido a la menor turbidez del efluente.

Para la tercera prueba experimental cuyo resultado se presenta en la Tabla 9, es el que registra un buen resultado, que se utilizó la concentración de sulfato férrico a su menor nivel y de tanino polichem en su mayor nivel, la concentración del efluente de ingreso está también en su menor nivel, en esta prueba se registra un valor para SST de 600 que resulta el valor medio de SST de todas las pruebas experimentales por las condiciones de concentración que se le da al proceso de coagulación y floculación.

Para la cuarta prueba experimental cuya información experimental y resultado se presenta en la Tabla 9, en este caso se aprecia un mejoramiento en la performance de remoción de sólidos totales disueltos respecto al valor obtenido en la prueba anterior y con respecto a las dos otras pruebas experimentales, el SST encontrado es bastante aceptable pero no el mejor respecto a las pruebas anteriores.

Para la quinta prueba experimental, se varió la concentración del sulfato férrico en su menor nivel y la concentración del tanino polichem a su menor nivel y del efluente de entrada se encuentran en su mayor nivel de concentración. El resultado se presenta en la Tabla 9 es similar respecto a la tercera prueba experimental.

Para la sexta prueba experimental, la concentración del tanino se prepara en menor nivel mientras que los dos factores se encuentran en su mayor nivel de concentración.

El resultado se presenta en la Tabla 9, se observa que la reacción de coagulación y floculación se desarrolla normalmente, con características de color opaco del efluente con un SST de 620 cumpliendo con la normativa ambiental.

La séptima prueba experimental cuyo resultado se presenta en la Tabla 6, se observó que el resultado es similar a la quinta prueba.

Para la octava prueba experimental se realiza a unas mismas condiciones en que todos los factores de entrada se encuentran en su mayor nivel, el resultado de esta prueba se presenta en la tabla 6, presentando un resultado de SST 580 ppm.

5.1.2 Estudio de correlaciones para las pruebas centrales según modelo de diseño factorial 2^k entre el SST a la salida del efluente y los parámetros que propician la coagulación y floculación.

A fin de complementar el diseño factorial 2^k se realizó cuatro pruebas experimentales centrales, para ello se utilizó la información de la Tabla 6, cuyos datos tabulados y resultados se muestran en la Tabla 8.

En la Tabla 8, donde N es el número de experimento de prueba central, se aprecian los resultados de SST a la salida del efluente para las condiciones centrales de concentración del sulfato férrico, tanino polichem y SST a entrada del efluente, por la muestra a experimentar y el valor de Y_i , (Diferencia aritmética de SST entrada y de salida del efluente en la prueba de Jarras en unidades de concentraron ppm) teniendo en cuenta que el valor recomendado por la autoridad ambiental es de 700 ppm.

5.1.3 Análisis y optimización de correlación de los parámetros de control de la coagulación y floculación en la prueba de Jarras.

En la Tabla 9, se muestran los resultados de cuanto afectan las variables de proceso de coagulación y floculación (de concentración del sulfato férrico, tanino polichem y SST a entrada del efluente) sobre la respuesta o criterio de optimización que en este

caso es la diferencia de SST a la entrada y salida del efluente en la prueba de Jarras y teniendo en cuenta el valor máximo permitido por la normativa legal que es de 700 ppm de SST, analizando los efectos de los parámetros de control se observó que la reducción de la concentración del sulfato férrico y de la concentración del tanino y en el caso de la concentración del efluente de entrada en su menor y mayor nivel de concentración producen los resultados más óptimos de SST a la salida del efluente.

Respecto al incremento de la X_2 se observó en esta Tabla 10, que el efecto es positivo para la coagulación y floculación en una mayor magnitud absoluta respecto a los otros efectos de las demás variables, pues el objetivo que se desea cumplir que es el valor de Y_i se minimice, hasta que derive a un valor igual o menor al SST permitido por la normativa legal.

En la Tabla 10, se presenta el resumen del análisis de variancia, en la última columna de esta tabla se presentan los resultados de aplicar el diseño factorial 2^k con réplica en el punto central de diseño, se observan los efectos de todos los parámetros de control de la reacción de coagulación y floculación e incluso de todas las posibles interacciones entre las variables de control del proceso la mayoría son estadísticamente no significativas, unas menos que otras, siendo las de mayor significancia las variables X_1 , X_2 , X_3 .

Tabla 10 Análisis de varianza para toda la evaluación experimental realizada

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Fo
X ₁	15312.500	1	15312.500	28.710
X ₂	5512.500	1	5512.500	10.336
X ₃	5512.500	1	5512.500	10.336
X ₁ X ₂	12.500	1	12.500	0.023
X ₁ X ₃	612.500	1	612.500	1.148
X ₂ X ₃	312.5	1	312.5	0.58
X ₁ X ₂ X ₃	12.500	1	12.500	0.023
Curvatura	9204.167	1	9204.167	17.258
Error	1600.000	3	533.333	
Total	37857.290	11		

Fuente: propia

Para un nivel de significancia al 95%, 1, y 3 grados de libertad, respectivamente, el valor de $F=10.13\%$, según se explica en Anexo C. Resultando significativas de las variables X_1 , X_2 , X_3 .

En la Tabla 10 se hace notar el efecto particular de cada parámetro controlante de la reacción de coagulación y floculación, por ejemplo se aprecia el importante efecto

beneficioso del incremento de la concentración del sulfato férrico y concentración de tanino (X_1 y X_2) verificado del análisis estadístico se observa que F de tabla de Fischer es mayor que F_0 para la variable X_1 , X_2 y X_3 , y respecto a los efectos de los otros parámetros es mucho menor tanto de la variable X_1X_2 , X_2X_3 y $X_1X_2X_3$.

El efecto de curvatura es significativa, lo que indica que la región óptima del proceso se encuentra en el centro del diseño.

El modelo matemático en escala codificada, que muestra la magnitud de grado de influencia de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente que es la concentración de salida de la prueba de jarras, el modelo referido es el siguiente.

$$Y = 608.75 - 43.75 X_1 - 26.25 X_2 + 26.25 X_3$$

Respecto al impacto económico de reducir el SST del efluente de entrada y de salida de 1525 a 500 ppm como se observa en la cuarta prueba experimental va a producir una utilidad significativa proporcional 5285.11 dólares por tonelada de harina recuperada, teniendo en cuenta los costos y ganancias por tonelada de lodo deshidratado.

Pasamos los datos a escala natural

Tabla 11 Análisis de residuos

N	Y	Yest	Y-Y est	(Y-Y est) ²
1	670	652.50	17.50	306.25
2	560	565.00	-5.00	25.00
3	600	600.00	0.00	0.00
4	500	512.50	-12.50	156.25
5	690	705.00	-15.00	225.00
6	620	617.50	2.50	6.25
7	650	652.50	-2.50	6.25
8	580	565.00	15.00	225.00

Fuente: propia

La suma de cuadrado residual es 950 y la suma de cuadrados de residual del modelo es 237.5.

El F_0 es 0.4453, el f_2 siendo los grados de libertad del error y el f_4 igual a 4, para un nivel de confianza del 95%

El f de tabla es 9.12 valor mayor a 0.4453, por lo que podemos concluir que el modelo matemático si ajusta o representa adecuadamente a los datos experimentales.

Para graficar o aplicar la etapa de optimización, es importante decodificar el modelo matemático hallado a escala natural.

Tenemos las variables Z_1 , Z_2 y Z_3 y sus valores centro de diseño, radio de diseño, relación y obtenemos la ecuación.

$$Y = 619.06 - 0.047Z_1 - 0.018Z_2 + 0.095Z_3$$

La remoción de sólidos en los efluentes de la industria pesquera se adjunta a la harina de pescado aumentando el rendimiento y eficiencia del proceso.

Este experimento explica la interacción de la dosificación de los insumos químicos al proceso, a mayor dosificación de sulfato férrico se observa mayor remoción de sólidos pero se debe controlar el porcentaje de hierro (+3) en el producto terminado, las aguas vertidas al emisor, contaminando nuestro medio ambiente.

Los sólidos húmedos separados del agua de bombeo son reaprovechados a más del 90% e incluidos en el proceso de elaboración de harina de pescado a comparación de la industria textil que solo se remueve el 52% de sólidos y generan residuos que son vertidos al mar.

Este proyecto obtiene buenos resultados en el proceso de coagulación y floculación utilizando el sistema DAF (dissolve air flotation) es un método efectivo para la remoción de grasas, y sólidos aplicando la dosificación de insumos químicos considerando su tiempo de retención del efluente para garantizar su efectividad.

Las plantas pesqueras ahora son auditadas por la institución fiscalizadora, llevándose a controlar las emisiones generadas por la producción, se emplean tecnologías como GNL en equipos de alta presión, tratamiento de efluentes a las aguas de bombeo y de limpieza de equipos, además que se realiza la trazabilidad del elemento Fe^{3+} en el producto terminado para minimizar los impactos negativos al medio ambiente

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Observando la Tabla 9, se encuentra la mejor reducción de contenido de residuos sólidos del efluente (agua de bombeo) de entrada a la celda DAF experimentada a nivel de la Prueba de Jarras se presentó en la cuarta prueba experimental, que fue de 500 ppm de concentración de residuos sólidos, resultando esta prueba la más optimizó el resultado experimental y que corresponde a los siguientes parámetros controlantes de la reacción de coagulación y floculación, 3458 ppm de concentración de sulfato férrico, 3556 ppm de concentración del floculante tanino polichem

Existen otros indicadores que la reacción se desarrolló óptimamente, para el caso específica de la cuarta prueba experimental, ello se reflejó por el cambio importante del color y turbidez de la muestra de efluente de salida y durante la prueba se apreció con nitidez la formación y nucleación de los flóculos sedimentables

En la segunda y octava prueba experimental, se encontraron resultados también óptimos, que se aproximan al resultado de la cuarta prueba experimental, que se utilizó la concentración de sulfato férrico en su valor de concentración en su mayor nivel.

Estadísticamente se verificó que los parámetros controlantes de la reacción de coagulación y floculación son en una magnitud de efecto creciente, observando la tabla 6 de acuerdo al valor de F_0 : a) La concentración del sulfato férrico afecta en un evidente efecto positivo para la reacción (X_1), b) efecto de la concentración del tanino polichem (X_2), c) la concentración del efluente a la entrada a la reacción con efecto positivo X_3 y la curvatura tuvo un buen resultado significativo.

Respecto al impacto económico de reducir el SST del efluente de entrada y de salida de 1525 a 500 ppm como se observa en la cuarta prueba experimental va a producir una utilidad significativa proporcional 5285.11 dólares por tonelada de harina recuperada.

El modelo matemático en escala codificada, que representa la interacción de las variables más significativas para esta reacción de coagulación y floculación es el siguiente:

$$Y = 608.75 - 43.75 X_1 - 26.25 X_2 + 26.25 X_3$$

Se desarrolla el análisis de los residuos y se determina que la ecuación se ajusta a los datos experimentales realizados.

Reemplazando los valores en las formulas, tenemos un modelo matemático a escala natural o decodificada, que es aplicado para la optimización.

$$Y = 619.06 - 0.047Z_1 - 0.018Z_2 + 0.095Z_3$$

Con el experimento se logra determinar la característica del efluente, a menor SST menor es el % de grasa teniéndose una relación directamente proporcional, visualmente presenta opacidad el efluente después de la separación de sólidos

suspendidos totales y cumpliendo la legislación ambiental para su posterior vertimiento.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda repetir la experimentación de diseño factorial 2^k con tres replicas para apreciar la tendencia de los datos y observar si se repite la tendencia de control de la reacción de coagulación y floculación en el resultado por parte de la variable X_1 .

Por otro lado se debería de experimentar rangos de nivel más cortos y próximos a los valores óptimos encontrados para la variable respuesta, sobre todo en el rango de la variable X_1 que resulto la más significativa que dio lugar a valores bajos en la concentración del efluente de salida de la celda DAF.

En la recomendación anterior también se sugiere hacer el balance económico sobre el incremento del valor de la concentración de las variables X_1 y X_2 para que optimice el valor de Y que tanto puede disminuir pero también tener en cuenta el costo del valor del coagulante y del floculante pero a su vez contrastar con los efectos económicos que pueda ocasionar al producir una mayor recuperación de residuos sólidos.

Investigar sobre insumos orgánicos con poder de coagulante y/o floculantes y evaluar su aplicación en el proceso de tratamiento de efluentes.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes bibliográficas

- Alvarez, F. (2003). *La situación crítica de la pesquería industrial del Perú y alternativas de solución*. Lima: Ed.Iberoamericana.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: coagulación-floculación*. Lima: SEDAPAL.
- Ayala, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por Diseños Experimentales con Aplicaciones en Ingeniería*. Lima - Perú: CONCYTEC.
- Brendon, R., & Marshall, B. (1954). *Relation between Chemical Composition and Nutritive Value of Uganda Grasses*. Sudafrica.
- Castro, P. (2004). *Recuperación de la materia orgánica del agua de cola y su aprovechamiento como fuente de nitrógeno en suelos agrícolas*. . Lima: Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina.118p.
- Causa, E., & Pinto, C. (1974). *Investigación sobre procesos de Coagulación - Floculación de Aguas en Plantas de Tratamiento*. Santiago: Universidad de Chile. Ingeniería Sanitaria-CEPIS.
- CEPIS. (1991). *Manual de Disposición de aguas residuales*. Lima: Tomo II.OMS-GTZ.
- Cisneros, A. L. (2006). *Separación de grasas y aceites en aguas residuales mediante el proceso de flotación por aire disuelto*. Quito:Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Del Valle, J., & Aguilera, J. (1990). *Recovery of liquid By-Products from fish meal factories: A Review*. Process Biochemistry International.

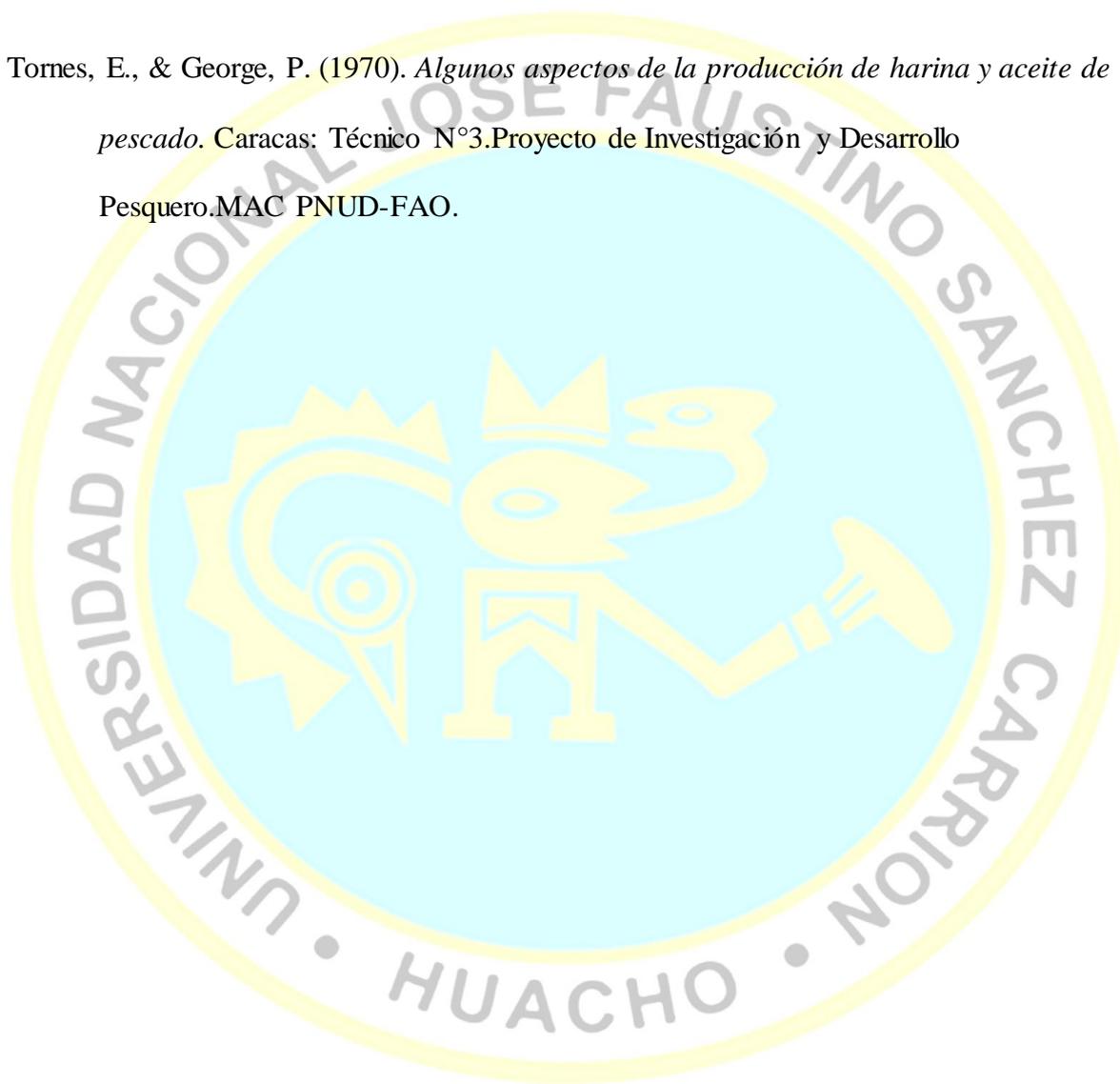
- Díaz, H. S. (2015). *Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico - económico - TESIS ambiental en la ciudad de Iquitos mediante el uso de Super pro Designer V6–2015*. Amazonas: (tesis de grado) Universidad Nacional de La Amazonía Peruana Facultad de Ingeniería Química.
- Espinoza, J. C. (2014). *Gestión de efluentes líquidos generados en la planta de harina y aceite de pescado, de la empresa corporación PFG - Centinela S.A.C*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Graham, H. (1977). *Introduction to Colloid Chemistry*. The A VI Publishing Company INC., Connecticut.
- Guerrero, L. (1992). *Tratamiento integral de las aguas residuales de la fabricación de harina de pescado*. España, España: Universidade de Santiago de Compostela .
- Huaco, M. (2017). *Evaluación del porcentaje de disolución de oro en la lixiviación con SANDIOSS mediante diseños experimentales*. Arequipo: (tesis de grado) Universidad Nacional de San Agustín.
- Kirchmer, C. (1977). *Aspectos Químicos y físicos de la coagulación del agua*. Lima: curso sobre tecnología de tratamiento de agua para países en desarrollo .CEPIS.
- Landeo, G., & Ruiz , A. (1996). *Producción de harina de pescado*.
- Lezama , T., & Rosillo. (2001). *Propuesta de un plan estratégico de gestión ambiental*. Lima: Trabajo de Investigación para optar el Título de Ing. Pesquero, UNALM.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Mexico: Limusa.
- Mysels, S., & Evison, L. (1967). *Introduction to Colloid Chemistry*. New York: Interscience Publishers, INC. .

- Núñez, C. C. (2014). *Recuperación de sólidos del agua de cola por coagulación-floculación y cuantificación de histamina*. Lima: (Tesis de grado) Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Paredes, P. (2014). *Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado*. Lima,Peru: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pérez, J. (1977). *Ensayos sobre Coagulación- Floculación*. La Paz: Manual de Métodos Modernos en el Diseño de Plantas de Tratamiento. Tomo II. Instituto de Ingeniería Sanitaria, UNMSA-CEPIS.
- Pesca Perú. (1995). *Informe de análisis de los efluentes. Composición de sanguaza y agua de bombeo*. Lima: Departamento de Aseguramiento de la Calidad Pesca Peru.U.O.3103.
- Pizardi, C. (1992). *Producción de harinas especiales.Seminario:Tecnologías modernas en la elaboración de harina de pescado*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Ramírez, R. M., Durán, A., Bernal, A., & Orta, T. (1995). *Proceso de Coagulación-Floculación para el Tratamiento de Aguas Residuales: Desarrollo y Utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos*. Mexico: Instituto de Ingeniería, UNAM Coordinación de Ingeniería Ambiental.
- Revelo, A., Proaño, D., & Banchón, C. (2015). *Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa**. Quito: Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Rodriguez, M. (2002). *Recuperación de proteínas del agua de cola empleando polímeros naturales*. Lima: Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional Agraria La Molina.

SERNAPESCA. (2006). *Definiciones de Términos Pesqueros*. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.

Tornes, E. y. (1972). La recuperación de aceite y agua de cola en la elaboración de harina de pescado. *Informe Técnico N°41. Proyecto de Investigación y Desarrollo Pesquero. MAC-PNUD-FAO*, 30. Caracas.

Tornes, E., & George, P. (1970). *Algunos aspectos de la producción de harina y aceite de pescado*. Caracas: Técnico N°3. Proyecto de Investigación y Desarrollo Pesquero. MAC PNUD-FAO.



ANEXOS

ANEXO A: NTP 214.039.2015 Calidad de Agua: Determinación de sólidos de suspensión totales

En el agua que se encuentra en la naturaleza se pueden encontrar varias impurezas de forma suspendida o disuelta. En la cuantificación de los niveles de impurezas, el término sólido en suspensión describe las partículas en suspensión presentes en una muestra de agua.

Prácticamente, estas partículas se definen por su imposibilidad de ser separadas de la muestra de aguas usando un filtro. Las partículas más pequeñas, incluyendo especies conteniendo cargas iónicas, se refieren como sólidos disueltos. En el agua potable es importante tomar en cuenta ambas concentraciones de sólidos disueltos y en suspensión. El contaminante más común del mundo es la tierra en forma de TSS (siglas en inglés de total suspended solids, sólidos en suspensión totales).

Primero, debemos considerar algunas implicaciones de los sólidos en suspensión totales (TSS).

- Altas concentraciones de sólidos en suspensión disminuyen la eficacia de agentes desinfectantes del agua potable; por proveer a los microorganismos de un sitio protector frente la presencia de desinfectantes.

Esta es una de las razones por las que los TSS, también conocido como la turbidez de agua, se filtran en una planta de tratamiento de aguas residuales.

- Hay contaminantes de origen orgánico e inorgánico que son absorbidos en la tierra y que subsiguientemente aumentan la concentración de contaminantes presentes en los sólidos. Es decir que contaminantes absorbidos en sólidos pueden ser

transportados a otros cuerpos de agua, resultando en la exposición de contaminantes a organismos lejos del origen de contaminación.

Procedimientos de laboratorio

Preparación del filtro

1. Se lavan tres .45µm filtros con 20-30 mL de agua deionizada para remover cualquier sólido que haya quedado del proceso de fabricación.
2. Se colocan los filtros en sus propios recipientes de aluminio, secándolos por 30 minutos en un horno de 104 o C. El recipiente y el filtro se ponen en un desecador, y se pesan.
3. Se repite este paso varias veces para obtener el peso promedio del filtro y el recipiente

Obtención de TSS

1. Filtrar una muestra de 100. mL usando el filtro preparado en el paso previo.
2. Poner cada filtro en su propio recipiente de aluminio secar cada uno en un horno por una hora a 104 o C. Enfriar el filtro y el recipiente en un desecador y pesar.
3. Repetir este paso, hasta obtener el peso promedio de TSS.

Cálculo de TSS

SST (mg/l)= (Peso promedio después de filtrar en g - Peso promedio antes de filtrar en g) x (1000mg/g) / Volumen de muestra de agua en L

Es importante mezclar la muestra completamente antes de comenzar la medición.

Las partículas de tierra y sedimentos pueden salir de la suspensión

subsiguientemente dando resultados inexactos si no se mezcla la muestra de agua antes de sacar la alícuota para la medición.

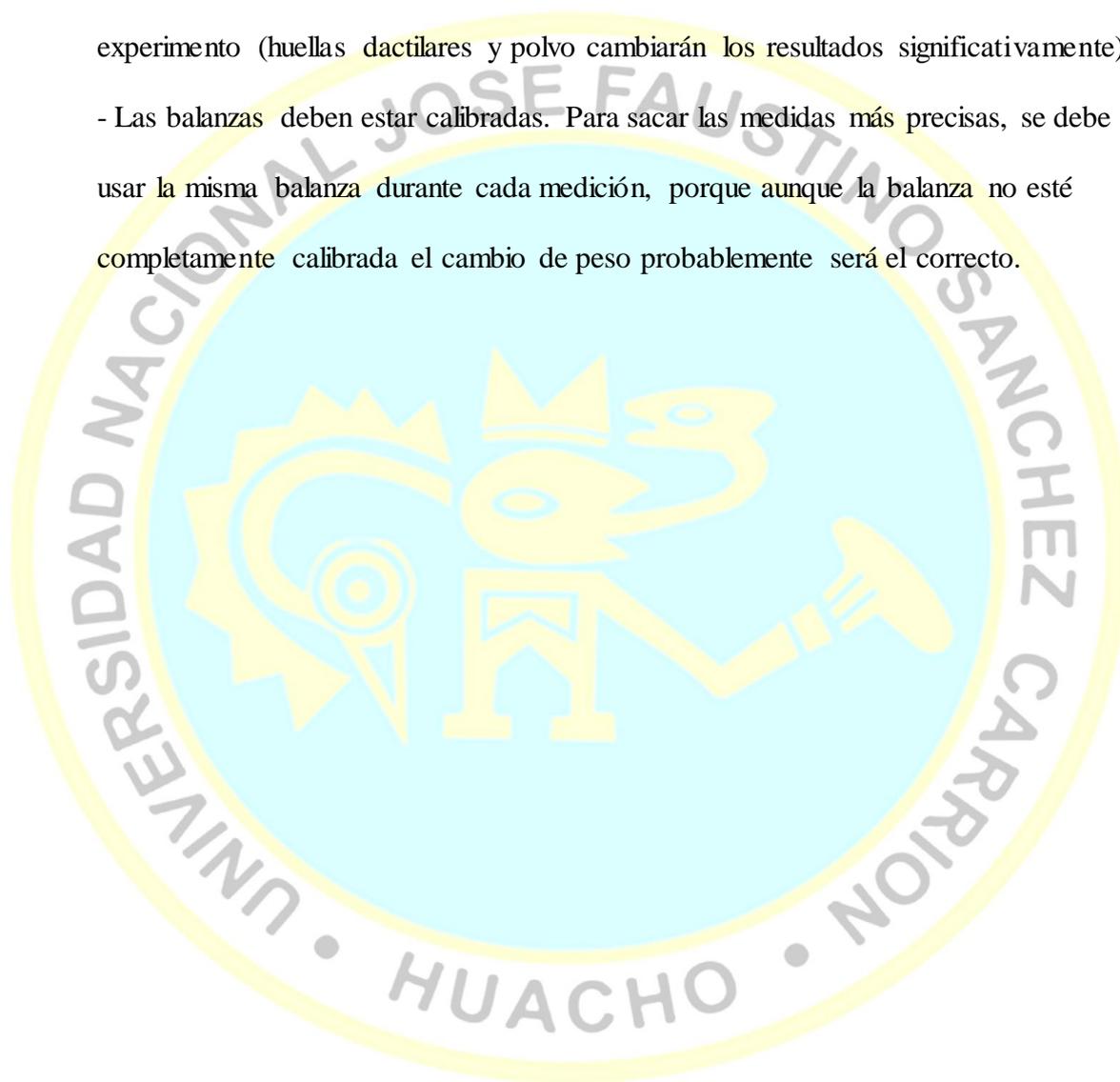
- Se deben realizar todas las medidas en triplica.

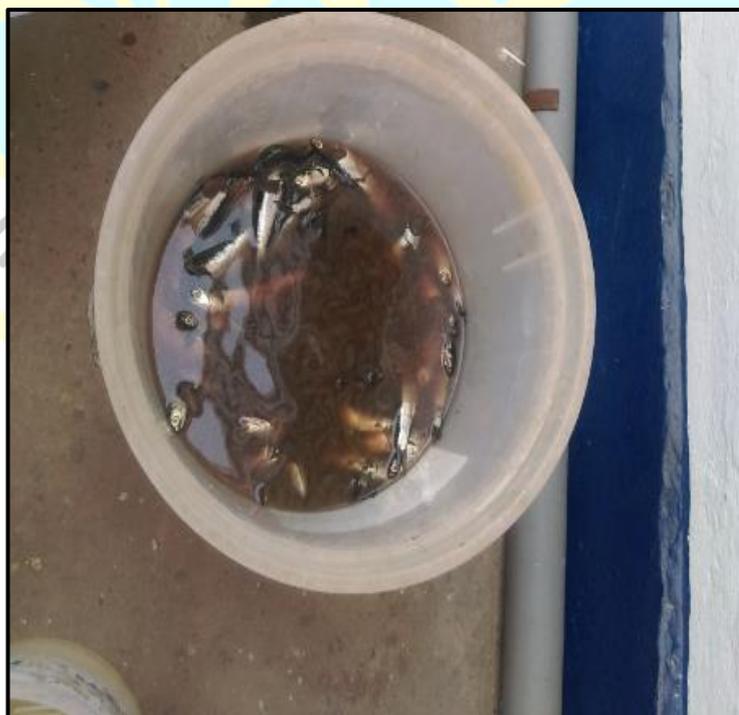
- Antes de comenzar con el experimento, se lavan con cuidado todos los contenedores y los filtros.

Como dice el procedimiento, se tienen que calentar todos los filtros a la temperatura máxima antes de filtrar.

También se tiene que obtener el peso constante (± 5 mg) antes de terminar cada experimento (huellas dactilares y polvo cambiarán los resultados significativamente).

- Las balanzas deben estar calibradas. Para sacar las medidas más precisas, se debe usar la misma balanza durante cada medición, porque aunque la balanza no esté completamente calibrada el cambio de peso probablemente será el correcto.



ANEXO B: Parte Experimental – Prueba de Jarra**Fotografía N° 1 Preparación de la muestra****Fotografía N° 2 Muestra agua de mar y pescado**



Fotografía N° 3 Equipo Test de Jarra



Fotografía N° 4 Equipo medidor de SST



Fotografía N° 5 Determinando el SST de la muestra



Fotografía N° 6 Test de Jarra



Fotografía N° 7 Muestras de Test de Jarra



ANEXO C: Tablas de Fisher

Distribución F 0.01

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha

En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador

En las filas se encuentran los grados de libertad del denominador.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.13	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.62	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.09	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	3.06	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	3.02	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.99	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.96	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.93	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.91	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.73	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.56	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.40	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53

Distribución F 0.05

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha

En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador

En las filas se encuentran los grados de libertad del denominador.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

[Dr. José Antonio Legua Cárdenas]
ASESOR

[Mg. Juan Manuel Ipanaque Roña]
PRESIDENTE

[Mg. Jaqueline Aroni Mejía]
SECRETARIO

[Mg. Fredy Román Paredes Aguirre]
VOCAL

